

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**



**Spojování tenkých plechů**

Diplomová práce

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

**Autor práce:** Bc. Martin Fišer

Praha 2020

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Martin Fišer

Technika a technologie v dopravě a spojích  
Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Spojování tenkých plechů

Název anglicky

Joining thin sheet metals

---

Cíle práce

- shromáždit informace o metodách používaných pro spojování tenkých plechů,
- na základě výsledků provedeného experimentu zhodnotit vybrané metody spojování tenkých plechů, včetně technicko-ekonomického zhodnocení.

Metodika

- současný stav řešeného problému (literární rešerše),
- cíl práce a metody jejího zpracování,
- výsledky experimentů a jejich diskuse,
- závěry a přínos práce.

### Doporučený rozsah práce

cca 60 stran

### Klíčová slova

lepení; pájení; svařování; nýtování; technicko-ekonomické zhodnocení

---

### Doporučené zdroje informací

- BROCKMANN, W. et al.: Adhesive bonding: materials, applications and technology. Weinheim, Wiley-VCH 2009.
- BROŽEK, M.: Working variables optimization of resistance spot welding. Manufacturing Technology. 2014. 14 (4), 522-527.
- DANĚK, O., GORBATOV, N. M.: Nýtování v letectví a v podobné výrobě. Praha, Práce 1951.
- EBNESAJJAD, S.: Adhesives technology handbook. 2nd Edition. Norwich, William Andrew 2008.
- PETERKA, J.: Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství. Praha, Nakladatelství technické literatury 1980.
- ROBERTS, P.: Industrial brazing practice. Boca Raton, CRC Press 2004.
- RUŽA, V.: Pájení. 2. uprav. a dopl. vyd. Praha, NTL 1988.
- STEDFELD, R. L.: Metals handbook. Vol. 6., Welding, brazing, and soldering. 9th Edition. Metals Park, Oh., American Society for Metals 1983.
- WEMAN, K.: Welding processes handbook. Cambridge, Woodhead 2003.
- ZHANG, H., SENKARA, J.: Resistance welding: fundamentals and applications. 2nd Edition. Boca Raton, CRC Press 2012.
- 

### Předběžný termín obhajoby

2019/2020 LS – TF

### Vedoucí práce

prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

### Garantující pracoviště

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Elektronicky schváleno dne 24. 1. 2018

prof. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 30. 1. 2018

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 24. 03. 2020

---

## **Prohlášení**

„Prohlašuji, že na své diplomové práci na téma Spojování tenkých plechů jsem pracoval samostatně pod dozorem vedoucího diplomové práce prof. Ing. Milana Brožka, CSc. a že jsem využil pouze literárních pramenů a podkladů uvedených v seznamu použité literatury.“

V Praze dne 31.3.2020

---

Bc. Martin Fišer

## **Poděkování**

„Rád bych tímto poděkoval vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Milanu Brožkovi, CSc. za odbornou pomoc při přípravě a zpracování diplomové práce, a také paní Alexandře Novákové za pomoc při přípravě a měření vzorků. Dále bych rád poděkoval Ing. Miroslavu Hozovi ze společnosti Böllhoff za zhotovení vzorků metodou clinching a České zemědělské univerzitě za poskytnutí zázemí pro tvorbu diplomové práce.“

## **Abstrakt:**

Cílem diplomové práce bylo shromáždit informace o metodách používaných při spojování tenkých plechů a na základě výsledku provedeného experimentu zhodnotit vybrané metody spojování tenkých plechů. V teoretické části práce jsou popsány vybrané metody spojování tenkých plechů, jejich výhody a nevýhody a jejich využití. Experimentální část je zaměřena z větší části na metodu lepení, kde jsou hodnoceny teplotní vlivy a uplynutí doby expirace na lepený spoj. Vlastnosti jednotlivých lepidel jsou mezi sebou vzájemně porovnávány. Součástí experimentální části jsou další vybrané technologie spojování tenkých plechů a jejich vzájemné porovnání. V závěru jsou vyhodnoceny výsledky experimentu a je zde taktéž uvedeno technicko-ekonomické zhodnocení lepených spojů.

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

## **Summary:**

The aim of the thesis was to gather information about methods used in joining thin sheets and on the base of the result of the performed experiment to evaluate selected methods of joining thin sheets. The theoretical part describes selected methods of joining thin sheets, their advantages and disadvantages and their use. The experimental part focuses mostly on the method of gluing, where the temperature effects and the expiry date on the glued joint are evaluated. The properties of the individual adhesives are compared with each other. The part of the experimental part consists of other selected technologies of joining thin sheets and their mutual comparison. In conclusion, the results of the experiment are evaluated and there is also a technical and economic evaluation of the glued joints.

**Keywords:** bonding, brazing, welding, riveting

# Obsah

<b>1 Úvod .....</b>	<b>9</b>
<b>2 Cíl práce a metodika .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Cíl práce.....</b>	<b>10</b>
<b>2.2 Metodika.....</b>	<b>10</b>
<b>3 Současný stav .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1 Lepení .....</b>	<b>11</b>
3.1.1 Výhody technologie lepení.....	11
3.1.2 Nevýhody technologie lepení .....	11
3.1.3 Adheze, koheze a smáčivost.....	12
3.1.3.1 Adheze.....	12
3.1.3.2 Koheze.....	13
3.1.3.3 Smáčivost.....	13
3.1.4 Úprava povrchu lepených materiálů .....	14
3.1.5 Konstrukce lepeného spoje.....	15
<b>3.2 Technologie svařování.....</b>	<b>16</b>
3.2.1 Svařování elektrickým obloukem v ochranných plynech .....	17
3.2.1.1 Metoda WIG (TIG) .....	18
3.2.1.2 Metoda MIG/MAG .....	19
3.2.2 Laserové svařování.....	21
3.2.3 Odporové svařování .....	22
3.2.3.1 Bodové odporové svařování .....	23
3.2.3.2 Švové odporové svařování.....	23
3.2.3.3 Měkký a tvrdý svařovací režim.....	24
<b>3.3 Pájení.....</b>	<b>25</b>
3.3.1 Tvrdé a měkké pájení .....	26
<b>3.4 Nýtování.....</b>	<b>27</b>
3.4.1 Nýtování za studena a za tepla.....	27
3.4.2 Nýtování za pomoci trhacích nýtů .....	28
3.4.3 Samoděrovací nýtování .....	28
<b>3.5 Clinching.....</b>	<b>29</b>
<b>4 Praktická část diplomové práce.....</b>	<b>31</b>
<b>4.1 Zkušební vzorky .....</b>	<b>31</b>
4.1.1 Materiál.....	32
<b>4.2 Použité přístroje a přípravky.....</b>	<b>33</b>
<b>4.3 Použitá lepidla .....</b>	<b>34</b>
<b>4.4 Příprava a výroba zkušebních vzorků.....</b>	<b>35</b>
4.4.1 Metoda lepení .....	35

4.4.2	Nýtování .....	36
4.4.3	Clinching .....	36
4.4.4	Svařování MAG .....	37
4.4.5	Bodové odporové svařování .....	37
4.4.6	Tvrdé a měkké pájení .....	38
<b>4.5</b>	<b>Metodika zkoušení.....</b>	<b>38</b>
4.5.1	Zkouška lepeného spoje .....	39
4.5.2	Zkoušky ostatních metod.....	43
<b>5</b>	<b>Výsledky a jejich hodnocení .....</b>	<b>44</b>
<b>5.1</b>	<b>Lepené spoje .....</b>	<b>45</b>
5.1.1	Lepidlo Den Braven Super Glue.....	45
5.1.2	Lepidlo Ceys epoxi .....	46
5.1.3	Porovnání lepidla Den Braven a Den Braven po datu expirace .....	47
5.1.4	Lepidlo Bison super glue.....	48
5.1.5	Lepidlo Samson super glue extra.....	49
5.1.6	Porovnání všech lepidel.....	50
<b>5.2</b>	<b>Nýtování.....</b>	<b>52</b>
<b>5.3</b>	<b>Clinching.....</b>	<b>53</b>
<b>5.4</b>	<b>Porovnání metod nýtování a clinching .....</b>	<b>54</b>
<b>5.5</b>	<b>Srovnání nýtování, clinchingu a bodového odporového svařování .....</b>	<b>55</b>
<b>5.6</b>	<b>Porovnání svařování MAG s bodovým odporovým svařováním a s tvrdým a měkkým pájením .....</b>	<b>56</b>
<b>5.7</b>	<b>Technicko-ekonomické zhodnocení lepeného spoje .....</b>	<b>57</b>
5.7.1	Shrnutí technicko-ekonomického zhodnocení.....	58
<b>6</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>60</b>
<b>7</b>	<b>Seznam použitých zdrojů.....</b>	<b>62</b>
<b>8</b>	<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>65</b>
<b>9</b>	<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>67</b>



# 1 Úvod

Diplomová práce se zabývá technologií spojování tenkých plechů vybranými metodami jako je lepení, nýtování, clinching, konvenční svařování, odporové svařování a pájení. Jednotlivé metody se odlišují vlastnostmi spojení i mechanismem vzniku spoje. Níže popisované metody zaznamenaly v posledních desetiletích jistý vývoj vzhledem k rozvoji nových technologií. Všechny z nich jsou více či méně využitelné jak v průmyslové výrobě, tak při domácím použití. Každá z metod má své výhody a nevýhody s ohledem na rozdílnou využitelnost, technickou a ekonomickou náročnost.

V teoretické části jsou stručně shrnuty vybrané metody spojování tenkých plechů, zahrnující základní dělení a charakteristiky, popis principu, zhodnocení výhod a nevýhod a využití jednotlivých metod.

V praktické části práce jsou testovány metody rozebírané v teoretické části s větším zaměřením na technologii lepení a vlastnosti lepeného spoje. Lepený spoj byl podroben teplotní zkoušce při současném namáhání smykem na univerzálním zkušebním stroji. Dále bylo hodnoceno ovlivnění kvality spoje v důsledku uplynutí doby použitelnosti lepidla. Vyjma testování lepených spojů byly zkoumány také vlastnosti nýtovaných, clinchovaných, svařovaných a pájených spojů a jednotlivé metody byly mezi sebou porovnávány.

Na závěr bylo do práce zahrnuto technicko-ekonomické zhodnocení metody lepení.

## **2 Cíl práce a metodika**

V následujících kapitolách bude řešen cíl práce a metodika.

### **2.1 Cíl práce**

Cílem této diplomové práce je shromáždění informací o metodách používaných pro spojování tenkých plechů a popis těchto metod. Cílem je též vyhodnocení vybraných metod spojování tenkých plechů na základě výsledků provedeného experimentu a zhodnocení jejich výhod a nevýhod, včetně technicko-ekonomické stránky.

### **2.2 Metodika**

První část práce zahrnuje analýzu některých metod spojování tenkých plechů, které se běžně používají v průmyslu. K tomu byla použita doporučená literatura, publikace a ostatní zdroje. V druhé části práce je řešen experiment, který zahrnuje vybrané metody, jako je lepení, svařování, pájení, nýtování, clinching apod. Tyto metody jsou mezi sebou porovnány a výsledky experimentu zhodnoceny.

## **3 Současný stav**

V této kapitole jsou popsány některé metody spojování tenkých plechů, které se využívají v současné době, jak v průmyslu, tak i v domácnostech. Tyto metody, a také související tematika, jsou shrnuty v následujících kapitolách.

### **3.1 Lepení**

Technika spojování materiálů lepením je v dnešní době hojně využívaná v mnoha odvětvích průmyslu. Technologie lepení se používá pro spojování kovových i nekovových materiálů, avšak je nutné znát vlastnosti lepidel, lepených materiálů a typ namáhání lepeného spoje. Pro dosažení optimálního lepeného spoje je zapotřebí dodržet správný technologický postup, pokud daný postup není dodržen, má to negativní vliv na lepený spoj. Lepení přináší mnoho výhod při spojování materiálu, ale je také omezeno řadou limitujících faktorů, ke kterým je nutno přihlížet. [1] [2]

#### **3.1.1 Výhody technologie lepení**

Tato technologie umožňuje spojovat stejné nebo různorodé materiály bez ohledu na jejich tloušťku. Snadno lze tímto způsobem spojovat i velmi tenké materiály, jako jsou například fólie. Ve většině případů lepidlo nereaguje se spojovanými materiály, avšak na tento fakt se musí brát ohled a prostudovat řádně návod k danému lepidlu. Při použití lepeného spoje lze zabránit pronikání prachu, vody, chemikálií, světla, větru, tepla a podobně. Není rovněž narušen ani estetický vzhled lepeného celku. Lepený spoj zabraňuje vzniku elektrolytické koroze kovových materiálů. Spoj zpravidla bývá průhledný, ale lze jej i barevně přizpůsobit dle potřeby. Spojování materiálu lepením se téměř nezvyšuje hmotnost lepeného souboru, přičemž je dosaženo vysoké pevnosti spoje, a to hlavně při namáhání ve smyku a rázové pevnosti. V domácím prostředí je využití technologie lepení pro spojení materiálů nenáročné, rychlé, levné a není zapotřebí mnoha pomůcek. [3] [4]

#### **3.1.2 Nevýhody technologie lepení**

Jednou z hlavních nevýhod lepeného spoje jsou vysoké nároky na rovinnost a čistotu povrchu lepených materiálů (adherendů), proto jsou nutné úpravy povrchu před lepením.

Pokud není provedena úprava povrchu před lepením adherendů, dochází zpravidla k negativním vlivům na lepený spoj. V případě namáhání odlupováním je lepený spoj velmi citlivý k tomuto druhu namáhání, totéž lze říci o vlivu vyšších teplot na vlastnosti lepeného spoje. Další nevýhodou technologie lepení je expirace lepicích směsí nebo i čas, který je nutný k dosažení maximální pevnosti spoje. Lepený spoj má též omezenou rozpojitelnost. Použití technologie lepení v průmyslovém měřítku je náročnější na vybavení pracoviště. [3] [4]

### **3.1.3 Adheze, koheze a smáčivost**

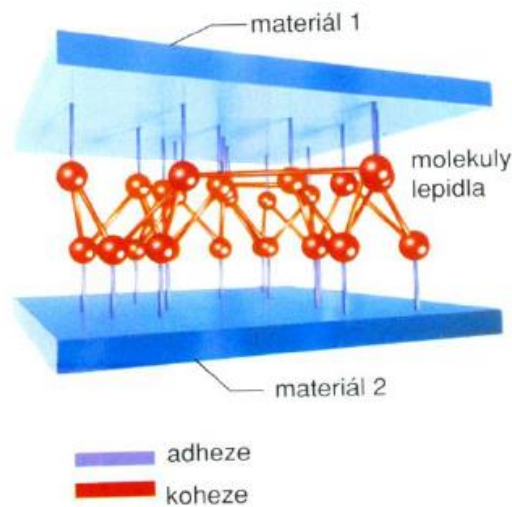
Tyto základní pojmy jsou nedílnou součástí technologie lepení a jsou blíže objasněny níže.

#### **3.1.3.1 Adheze**

Tento pojem lze jednoduše vysvětlit jako přilnavost. V celku tvoří adheze (obr. 1) souhrn chemických a fyzikálních sil, které poutají částice povrchu lepených materiálů a lepidla. Vzniklé síly vytvářejí soudržnost mezi jednotlivými povrchy lepeného materiálu a směsí lepidla. Pokud je lepený povrch nedostatečně připraven pro lepení, může dojít k nepřilnutí nebo jen částečnému přilnutí směsi lepidla k ploše adherendu. V tomto případě je velká pravděpodobnost, že dojde k porušení spoje na rozhraní lepidla a lepeného materiálu. Mezi lepidlem a materiálem se vytváří adhezní síly, které vznikají díky mechanické a chemické vazbě.

Mechanická vazba má velký vliv u lepených materiálů, které jsou porézní a členité. V tomto případě dochází k průniku lepidla do otevřených pórů, štěrbin či dutin a vzniká mechanická vazba, kdy zatuhlé lepidlo tvoří klín. Jednoduše lze říci, že mechanická adheze využívá nerovnosti povrchu. Rozdílná je situace u hladkých lepených ploch, kde nedochází k této reakci, protože směs nemá možnost zatéci do porézního povrchu a mechanická vazba je tak zanedbatelná.

Chemická vazba naopak vzniká jak u povrchů s členitou, porézní strukturou, tak u hladkých ploch, kde je velmi významná. Tato vazba je založena na reakci mezi lepeným materiálem a lepidlem. K vytvoření chemické vazby může dojít za pomoci kovalentní a iontové vazby. [4] [5]



*Obr. 1 Adheze a koheze [6]*

### 3.1.3.2 Koheze

Pod pojmem koheze si můžeme představit vlastní pevnost vrstvy lepidla, která se nachází mezi lepenými materiály. Jinými slovy jde o síly mezi molekulami, které drží částice hmoty ve vazbě. Složeny jsou z molekulárních přitažlivých sil a současně vzájemného propojení polymerovaných molekul. Pokud dojde k destrukci lepeného spoje v místě lepené vrstvy, znamená to, že pevnost materiálu a adheze je vyšší. Pevnost lepeného spoje je dána mnoha faktory, například kohezní silou, jak již bylo zmiňováno, ale také vytvrzováním, teplotou, počtem a rozmístěním vzduchových bublin, čistotou apod. Pokud jsou v lepeném spoji bubliny uzavřeného vzduchu, mohou být tyto prázdné prostory mohou centrem, z něhož může vycházet tvorba trhlin při mechanickém namáhání spoje. Obecně by mělo platit, že koheze neboli pevnost lepidla, by měla být srovnatelná s adhezí. [4] [5]

### 3.1.3.3 Smáčivost

Důležitým parametrem lepeného materiálu je povrchové napětí, které je charakterizováno tzv. smáčivostí. Smáčivost materiálu můžeme otestovat pomocí kapkové metody (obr. 2), jejíž podstatou je nanesení malé kapky lepidla či vody na připravený podklad. Podle úhlu, který svírá okraj kapky lepidla se základním materiálem, můžeme poměrně přesně určit, zda je materiál vhodný k lepení. Podstatou je docílení co nejmenšího

úhlu  $\alpha$ . Různé zdroje uvádějí rozmezí tohoto úhlu mezi 15 až 25 stupňů pro optimální kvalitu lepeného spoje. V praxi je kapková zkouška dobře použitelná například při práci s kyanakrylátovými neboli vteřinovými či sekundovými lepidly, avšak ani tato metoda nedává stoprocentní jistotu kvality výsledného spoje. [7]



Obr.2 Kapková metoda [8]

### 3.1.4 Úprava povrchu lepených materiálů

Před každým lepením materiálu je vždy nutno připravit daný povrch materiálu, aby výsledný lepený spoj měl co nejvyšší kvalitu. V praxi mohou úpravy zahrnovat:

- omytí povrchu,
- zdrsnění povrchu,
- odstranění povrchové vrstvy,
- chemická a fyzikálně-chemická úprava povrchu,
- nanesení mezivrstvy s přilnavostí k ploše adherendu a lepidla.

Při praktickém lepení se většinou používá kombinace více způsobů ošetření a přípravy daného povrchu materiálu. [5]

Omývání je nejčastější formou úpravy povrchu, kdy povrch zbavujeme mechanických nečistot, olejů, mastnoty a mnoha dalších nečistot, které lze omytím odstranit. K omytí povrchů se nejčastěji používají organická rozpouštědla, avšak je vhodné vybrat správný charakter rozpouštědla k danému povrchu materiálu. V některých případech mohou rozpouštědla rozrušit lepený povrch, a tím snížit pevnost lepeného spoje. Proto je v některých případech využíváno méně časté omytí lepeného povrchu vodným roztokem povrchově

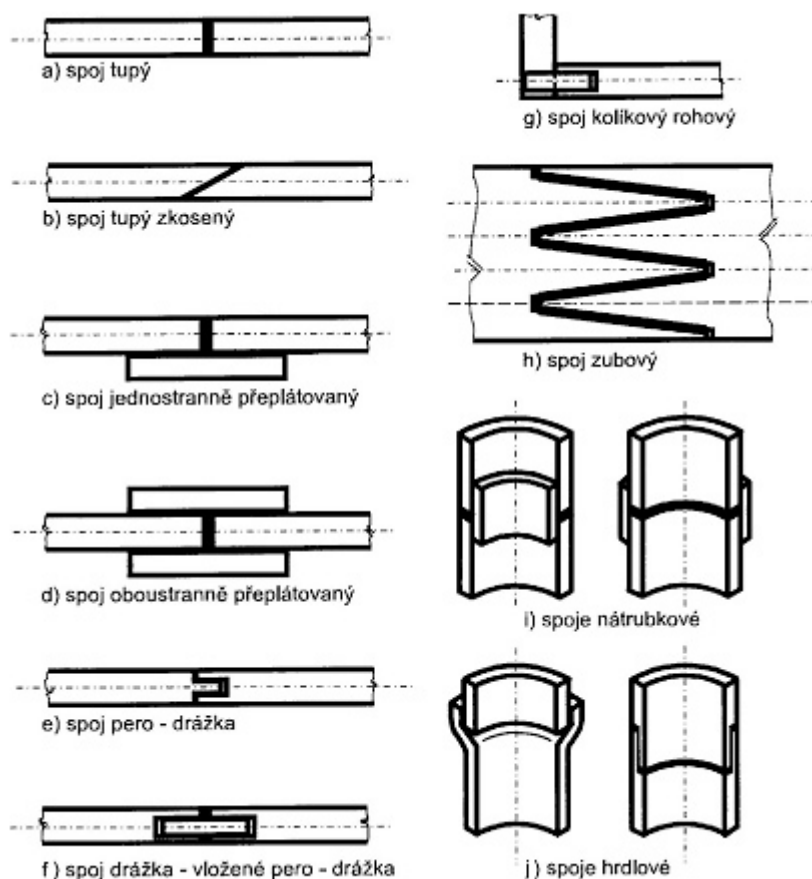
aktivních látek, bohužel však může dojít ke kontaminaci lepeného povrchu, avšak existují příklady, kdy je tomu opačně a pevnost spoje je zvýšena. Tento způsob je využit tam, kde je materiál citlivý vůči rozpouštědlům nebo při snižování rizik požární bezpečnosti.

Jak bylo zmíněno, většinou se jedná o kombinovanou formu úpravy povrchu před lepením, a to například zdrsnění povrchu s následným omytím. Mechanická úprava povrchu je nejběžnější přípravou lepeného materiálu. Mechanickou úpravou, jako je otryskávání, broušení, smirkování apod., docílíme odstranění povrchové vrstvy materiálu, ale i zvětšení povrchové plochy lepeného subjektu. V případě dobré smáčivosti lepidla může dojít ke zvýšení pevnosti lepeného spoje, kdy směs lepidla vyplní nerovnosti povrchu materiálu.

Chemická neboli fyzikálně-chemická úprava povrchu by měla zajistit snížení povrchového napětí lepeného povrchu. U povrchové úpravy plastů ve většině případů dochází jak k fyzikálně-chemické změně struktury, tak i ke změně chemického složení povrchové vrstvy. Při úpravě povrchu kovů leptáním můžeme říci, že se jedná o čistě chemickou úpravu. Látky k tomu určené odstraní pouze povrchovou vrstvu a odkryje povrch čistého kovu. Úprava povrchu leptáním je dokonalejší než příprava povrchu mechanickou cestou, jako je například obrušování, tryskání apod. Na obdobném principu je založena i úprava povrchu skla leptáním, kde se využívá kyselá fluorovodíková.[5] [9]

### **3.1.5 Konstrukce lepeného spoje**

Konstrukce lepeného spoje je velmi zásadní pro dlouhodobě spolehlivý a trvanlivý spoj. Proto je důležité, abychom se při lepení drželi určitých zásad. Například mechanické namáhání by mělo být rozděleno rovnoměrně a nemělo by se soustředit pouze v místě spoje. Spoj by neměl být namáhán v odlupování a převážné namáhání by mělo být směřováno do tahu a smyku. Plocha spoje by měla být dostatečně velká a napětí být v celém lepeném spoji rovnoměrně rozloženo. Další ze zásad je teplotní roztažnost, proto by lepené materiály měly mít stejné či obdobné koeficienty teplotní roztažnosti. Na obr. 3 jsou znázorněny konstrukce lepených spojů. [7]



Obr. 3 Příklady konstrukčních provedení spojů [10]

### 3.2 Technologie svařování

Technologie svařování je proces, kdy dochází ke spojení jednoho či více dílů za pomoci určitého množství energie dodávané do místa styku materiálů. Tyto spoje jsou trvalé a nerozebíratelné. Historicky se svařování, které známe z dnešní doby, začalo rozvíjet až v 19. století s rozvojem elektrického oblouku. Před rozvojem svařování tak, jak ho známe dnes, bylo považováno za jedinou metodu tohoto typu svařování kovářské. Postupem času a rozvojem technologií se technologie svařování rozrůstala a zdokonalovala, proto existuje v současné době mnoho způsobů spojení materiálů. [12]

Všechny běžné metody svařování lze rozdělit na dvě velké skupiny, a to metody tavného svařování a metody tlakového svařování, kdy u tavného svařování je spojení dosaženo za pomoci přívodu tepelné energie do oblasti svaru a poté krystalizací roztaveného svarového kovu. Tlakové metody svařování jsou založeny na působení mechanické energie,



kteřá formou mikro či makro deformace přiblíží spojované povrchy na vzdálenost meziatomových sil, přičemž vznikne vlastní spoj. Tavné svařování se dále dělí dle ČSN EN ISO 4063 na:

- svařování elektrickým obloukem,
- elektrostruskové svařování,
- svařování plazmové,
- svařování plazmové MIG svařování,
- svařování magneticky ovládaným obloukem,
- elektronové svařování,
- plamenové svařování,
- svařování světelným zářením,
- laserové svařování,
- aluminotermické svařování,
- indukční svařování.

Druhá skupina, tlakové svařování se dělí dle normy na:

- tlakové svařování za studena,
- odporové svařování,
- svařování indukční,
- svařování v ohni,
- třecí svařování,
- ultrazvukové svařování,
- výbuchové svařování. [11] [12]

V dalších kapitolách si představíme některé zástupce tavného a tlakového svařování, které se využívají v praxi či v průmyslu.

### **3.2.1 Svařování elektrickým obloukem v ochranných plynech**

Při této metodě hoří oblouk obklopen ochranným plynem, který chrání elektrodu, oblouk, odtavující se kapky přídavného materiálu a tavnou lázeň proti účinkům okolního

prostředí. Základní technologie svařování elektrickým obloukem v ochranných plynech se rozlišují podle druhu elektrody a ochranného plynu. Jsou to:

- WIG (svařování wolframovou netavicí elektrodou v inertním plynu),
- MIG (svařování kovovou tavicí elektrodou v inertním plynu),
- MAG (svařování kovovou tavicí elektrodou v aktivním plynu). [11]

### 3.2.1.1 Metoda WIG (TIG)

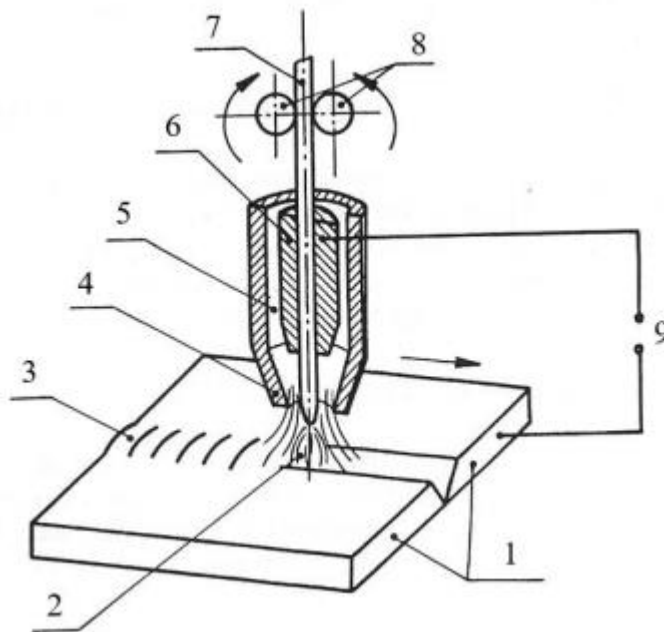
Jedná se o tavnou metodu svařování elektrickým obloukem, při kterém se využívá elektroda z čistého wolframu či z wolframu v kombinaci s oxidy prvků vzácných zemin, která se neodtavuje při svařování. Ochranu elektrody, tavné lázně a nejbližšího okolí vznikajícího svaru před okolní atmosférou zajišťuje netečný neboli inertní plyn o vysoké čistotě, a to minimálně 99,995 %. Využívaný plyn je argon, helium nebo jejich směsi, které vychází z konce hubice, kde rovněž vyčnívá wolframová elektroda. Dle potřeby je také využíván přídatný materiál ve formě drátu, a to ručním způsobem či automatickým svařováním s podavačem drátu s proměnnou rychlostí podávání v závislosti na rychlosti svařování.

Zkratka WIG a TIG znamenají stejnou technologii svařování, jedná se pouze o rozdíl v jazykovém překladu, kdy zkratka WIG pochází z německého překladu „Wolfram Inert Gas“. Zkratka TIG pochází z anglického překladu „Tungsten Inert Gas“

Výhody této metody spočívají v tom, že lze spojovat materiály jako je hliník, hořčík a jejich sloučeniny, kde se používá střídavý proud ke svařování. Stejnoseměrný proud se používá pro středně a vysokolegované oceli, měď, zirkon, titan, molybden a podobné materiály. Například titan a zirkon, které jsou obtížně svařitelné z důvodu vysoké afinity ke kyslíku lze spojit metodou WIG nebo lze spojovat i různorodé materiály. Metoda WIG se méně často používá ke spojování uhlíkové oceli z důvodu rizika vzniku porů ve svaru či z ekonomického hlediska. Další výhodou je menší tepelné ovlivnění spoje oproti MIG/MAG a minimální deformace nebo také vzhled a kvalita svaru. Do nevýhod lze zařadit používání ochranných plynů či pomalejší proces oproti MIG/MAG. [12]

### 3.2.1.2 Metoda MIG/MAG

Jednou z nejrozšířenějších metod svařování je metoda MIG/MAG pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí, hliníku, mědi, niklu a jejich slitin. Tato technologie je založena na hoření oblouku mezi tavící se elektrodou ve formě drátu a základním materiálem, který je obklopen ochrannou atmosférou inertního či aktivního plynu. Napájení drátu elektrickým proudem je zajištěno pomocí třecího kontaktu, který se nachází v ústí hořáku. A to z důvodu, aby elektricky zatížená délka drátu byla co nejmenší. Drát neboli přídatný materiál, který je navinutý na cívce, je podáván podávacími kladkami. Princip svařování je znázorněn na obr. 4. [11][13]



1 - svařovaný materiál 2 - elektrický oblouk 3 - svar 4 - plynová hubice 5 - ochranný plyn 6 - kontaktní průvlek 7 - přídatný drát 8 - podávací kladky 9 - zdroj proudu

Obr.4 Princip svařování metodou MIG/MAG [12]

Zkratka MIG z anglického překladu „Metal Inert Gas“ znamená technologii svařování kovů v ochranné atmosféře inertního plynu. Jedná se o technologii svařování, kdy elektrický oblouk hoří mezi kovovou tavnou elektrodou a svařovaným materiálem v proudu inertního neboli netečného plynu. Netečný plyn má pouze ochrannou funkci pro zamezení přístupu vzduchu k roztavenému kovu, aby atmosferický vzduch neovlivnil svar. V případě inertního plynu nedochází k žádným chemickým reakcím ve svarové lázni. Tyto plyny se využívají pro svařování lehkých kovů a v současné době se nejvíce používá argon (Ar) a helium (He) či

jejich směsi. Jak bylo zmíněno, plyny nereagují s materiálem, a proto se rovněž hodí pro svařování mědi, hliníku, titanu a dalších neželezných kovů. [14]

Zkratka MAG z anglického překladu „Metal Active Gas“ znamená technologii svařování v ochranné atmosféře aktivního plyn. Opět se jedná o metodu svařování, kdy elektrický oblouk hoří mezi kovovou tavnou elektrodou a svařovaným materiálem v ochranném plynu. S tím rozdílem, že plyn není inertní, ale aktivní. To znamená, že plyn se aktivně podílí na chemických procesech ve svarové lázni, ale také plní ochrannou funkci před vzduchem. Jako aktivní plyn se dříve používal oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ), dnes se častěji využívají směsi plynů jako např. směs argonu (Ar) s oxidem uhličitým ( $\text{CO}_2$ ) či směs argonu (Ar) s kyslíkem ( $\text{O}_2$ ) a další. Metalurgické reakce, které se uskutečňují při metodě MAG jsou oxidační a desoxidační pochody. Tyto pochody probíhají v kapkách tavicího se materiálu a v roztaveném svarovém kovu. Reakce mají velký vliv na povrch svarové housenky, přechod svarové housenky do základního materiálu a vnitřní čistotu svaru. [12] [14]

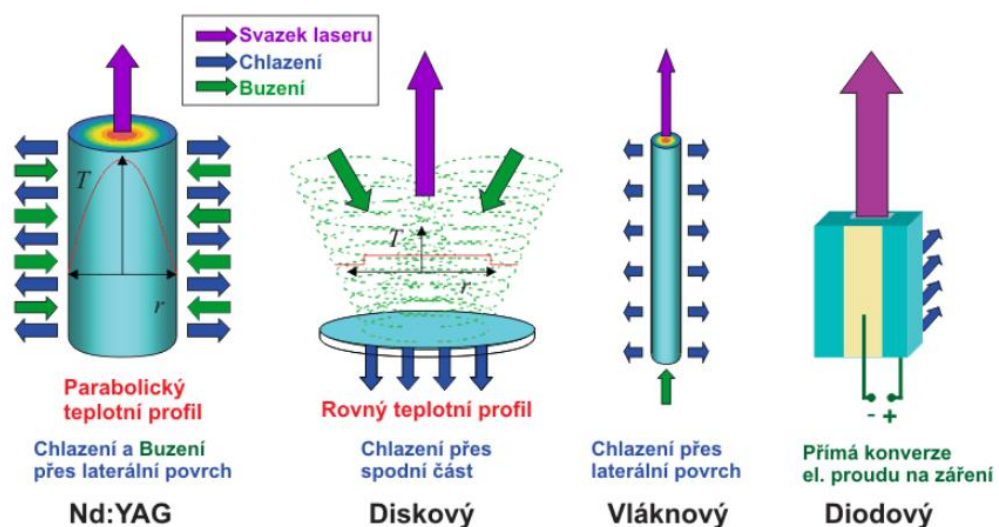
Jako přídavný materiál neboli tavicí elektroda se nejčastěji používá kovový drát, který je holý a je navinut na cívce. Dráty bývají ocelové o průměru 0,6 – 2,4 mm, také cívky, kde je ocelový drát navinut, ty mohou vážit od několika kilogramů až po stovky kilogramů. Další používaný přídavný materiál je bronzový drát, zde se ale nejedná o klasickou metodu MIG/MAG sváření, nýbrž metodu zvanou MIG pájení. MIG z důvodu, že k tavení drátu je používána standardní MIG/MAG svářečka a název pájení, protože u této metody nedochází k natavení základního materiálu, ale pouze materiálu přídavného. Tato metoda nahrazuje svařování pozinkovaných plechů metodou MAG, jelikož se neukázala jako optimální, nastávaly problémy jako například nestabilita hoření oblouku, pórovitost, zplodiny, velký rozstřík apod. [15]

Výhod metody MIG pájení je celá řada, například menší deformace díky nižšímu vnesenému teplu do spoje. Spoj je odolný vůči korozi bez následných úprav. Zinková vrstva u této metody je méně vypálená, také lze spojovat velmi tenké plechy a obsah zplodin je velmi nízký. Pokud se zaměříme na výhody metody MIG/MAG, zahrňme mezi ně především vysokou svařovací rychlost, snadnost robotizace procesu a kvalitní svar. Avšak má i své nevýhody mezi nimiž lze uvést zejména větší tepelné ovlivnění oproti jiným typům svařování, potřebu použít ochranné plyny a nezbytnost použití přídavného materiálu. [12][15]

### 3.2.2 Laserové svařování

Další metoda, která spadá do skupiny tavného svařování, je svařování laserem. Tato technologie se v současné době hojně uplatňuje v průmyslu a je stále na vzestupu díky svým vlastnostem. Název LASER vznikl z počátečních písmen anglického pojmenování samotného principu konání, a to je „Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation“. Překlad lze vyložit jako zesílení světla stimulovanou emisí záření.

Lasery rozdělujeme na pevnolátkové, plynové, diodové, vláknové a diskové. V minulosti byl používán plynový laser, který s novými technologiemi laserového svařování byl nahrazen laserem pevnolátkovým. Principem pevnolátkového laseru je zesílení iontů nebo molekul excitací neboli vybuzením daných částic. Proces zesílení má charakter řetězové reakce a je dále zvyšován průchody rezonátorem, to jest aktivním prostředím laseru, které je uzavřeno dvěma zrcadly se vzdáleností rovnající se násobku vlnové délky emitovaného záření. Jedno zrcadlo se 100 % odrazivostí posílá všechny fotony zpět do aktivního prostředí, kdežto druhé polopropustné zrcadlo s 80 – 90 % odrazivostí propustí po dosažení kritického množství fotonů část záření ve formě krátkého vysokoenergetického pulsu. Tento princip u pevnolátkových laserů se opakuje s frekvencí mezi 1 a 500 Hz a s celkovou energií pulsu mezi 0,1 a 200 J. Hlavními odlišnostmi mezi druhy laseru je rozdílná geometrie aktivního prostředí. Geometrie prostředí na obr. 5 a typ buzení mají zásadní vliv na účinnost zdroje, který je jeden ze základních parametrů.[12] [16]

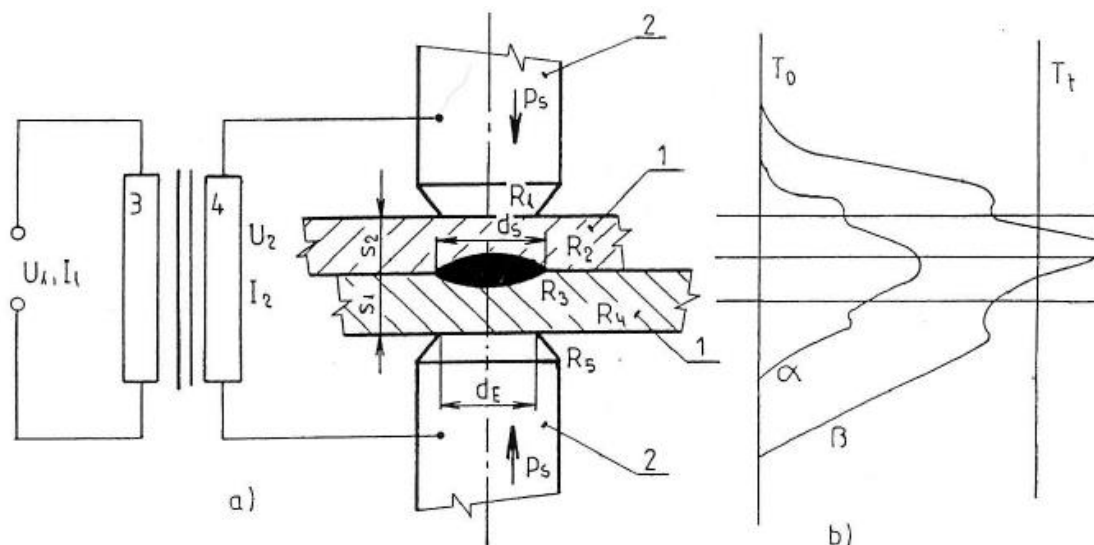


Obr.5 Geometrie aktivního prostředí [17]

Do výhod této metody lze řadit vznik menší tepelně ovlivněné oblasti spoje, kvalitní svar a snadná možnost robotizace. Metoda umožňuje vytvořit hluboký průvar a má vyšší produktivitu. Oproti tomu stojí vyšší pořizovací cena a cenově náročnější provozní náklady, rovněž je zapotřebí zaručit dobrou kvalitu materiálu. [16]

### 3.2.3 Odporové svařování

Tuto metodu lze zařadit do skupiny tlakového svařování. Principem je vznik spoje v důsledku silového působení při přiblížení kontaktních ploch a průchodu proudu. Zdrojem tepla je zde vznikající elektrický odpor v místě styku svařovaných materiálů. Mezi elektrodami, které svírají materiál, je tedy veden elektrický proud, kde vznikem odporu vzniká i teplo, a tím dochází k natavení spojovaných materiálů. Po následném vypnutí přívodu elektrického proudu roztavený kov ztuhne a tímto vznikne takzvaná svarová čočka. Princip odporového svařování je znázorněn na obr. 6. [12]



- a) Schéma uspořádání – 1 - svařové materiály, 2 - svařovací elektrody, 3 - primární vinutí transformátoru, 4 - sekundární vinutí transformátoru  
 b) Průběh teplot při časových rozdílech –  $\alpha$ -po době 0,02 s,  $\beta$ -po době 0,1 s

Obr.6 Princip odporového svařování [11]

Odporové svařování lze dále rozdělit na čtyři podskupiny, jimiž jsou:

- bodové odporové svařování,
- švové odporové svařování,
- výstupkové odporové svařování,
- stlačovací a odtavovací odporové svařování.

Tyto metody se vznikem svaru v zásadě neliší, jejich rozdíl spočívá v rozdílných parametrech svařování, konstrukcích apod. Například při švovém odporovém svařování se jedná o rychlost vzniku svaru, o modulaci neboli přerušování svařovacího proudu. [11]

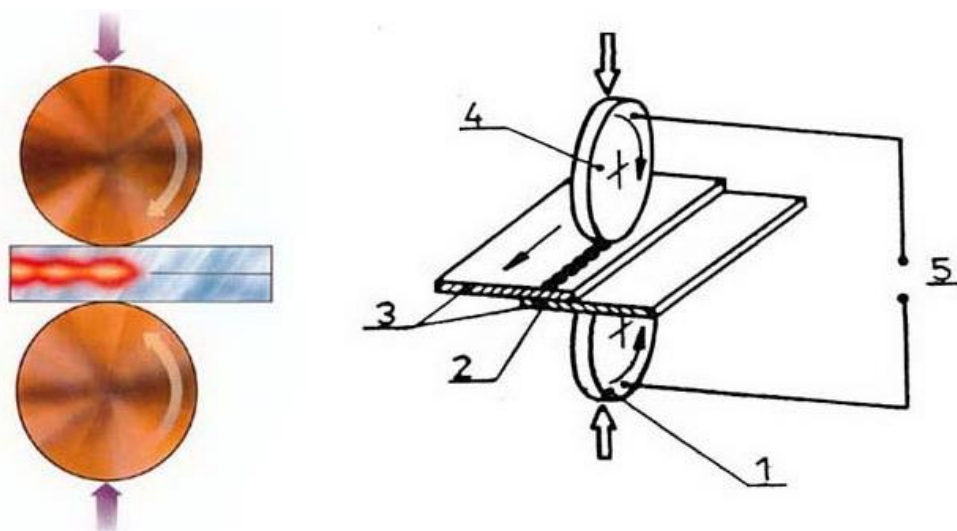
### **3.2.3.1 Bodové odporové svařování**

Tento druh svařování se využívá ke spojení přelátovaných kusů kovového materiálu. Z časového hlediska je tato metoda velice efektivní, jelikož tvorba jediného bodového svaru je zhotovena řádově v setinách či desetinách sekund. Převážné využití tohoto typu svařování nalezneme v automobilovém průmyslu při výrobě karoserií automobilů. Jak bylo zmíněno výše, proces spojení tenkých plechů vzniká za pomoci elektrod, které musí mít dobrý vodivý efekt a odolnost vůči opotřebení. Abychom zajistili životnost elektrod a kvalitu svaru, musí být přechodové odpory mezi elektrodami a svařovaným materiálem sníženy na minimum, to závisí na velikosti, čistotě a rovinnosti povrchu dotkových ploch, na svařovacím režimu či účinnosti chlazení. Přes tyto elektrody prochází vysoký proud, který nataví spojovaný materiál, po jehož vypnutí vznikne svarový spoj. Tento vzniká na společném rozhraní spojovaných materiálů, ale nemělo by dojít k natavení materiálu v celé jeho tloušťce. Náležitě zhotovený spoj má v řezu oválný tvar v podobě svarové čočky. [11][19]

### **3.2.3.2 Švové odporové svařování**

Metoda je založena na stejném principu jako bodové svařování s tím rozdílem, že se odlišuje tvar elektrod přivádějících svařovací proud do místa svaru. U kotoučových elektrod, jež se při švovém svařování využívají, je přívod svařovacího proudu komplikovanější, stejně tak i elektrické a mechanické poměry, pokud se jedná o otočné mechanismy elektrod. Tímto typem svařování lze provádět podélné i příčné svary a také s ohledem na způsob zapínání svařovacího proudu je možno rozdělit přístroje na švové odporové svářečky pro průběžné a

přerušované svařování. Pro přerušování svařovacího proudu musí být odporová svářečka vybavena modulátory proudu, které slouží pro jeho zapínání a vypínání. Podle rychlosti svařování nastavujeme přerušování svařovacího proudu dle potřeby pětkrát až dvacetkrát za sekundu. Bod svaru má tedy ve výsledku podlouhlý tvar. Obr. 7 znázorňuje princip švového odporového svařování. [11]



1 - Spodní elektrodový kotouč, 2 - Spoj, 3 - Spojovaný materiál, 4 - Horní elektrodový kotouč, 5 -Zdroj

Obr.7 Princip švového odporového svařování se dvěma elektrodovými kotouči[18]

### 3.2.3.3 Měkký a tvrdý svařovací režim

Při odporovém svařování lze nastavit svařovací režimy. Rozlišujeme dva základní, měkký a tvrdý.

Měkký svařovací režim se vyznačuje nižší produktivitou, tedy je zapotřebí delší čas svařování při nižším svařovacím proudu. Čočka má malý průměr a velkou výšku. Výhodou je například použití strojů menšího příkonu, možnost použití menších průřezů elektrických vodičů, nízká cena zařízení atd. Mezi nevýhodami lze uvést delší strojové časy, vznikající větší deformaci a napětí ve svarových spojkách a také menší pevnost spoje, jež je dána hrubozrnnou strukturou.

Tvrdý svařovací režim lze charakterizovat větším průměrem čocky současně s její nižší výškou. Produktivita svařování je vyšší, výhodou jsou tedy krátké strojní časy, dále též nižší spotřeba elektrické energie a opotřebení elektrod. Svarové spoje jsou jemnozrnné struktury



z důvodu působení svařovací teploty v krátkém časovém úseku. Přitom vzniká minimální napětí a deformace. Mechanické vlastnosti jsou při tvrdém režimu vyšší oproti měkkému režimu a díky tomu lze snížit počet bodů na svarku. Naproti tomu stojí vyšší pořizovací ceny strojů z důvodu vyšších příkonů a masivnějších konstrukcí. [12] [19]

### 3.3 Pájení

Při technologii pájením vzniká nerozebíratelný spoj stejně jako při sváření, avšak tato metoda se liší od svařování tím, že je roztaven pouze přídavný materiál, aniž by docházelo k natavení spojovaného materiálu. Proto by měl mít spojovaný materiál větší teplotu tání než materiál přídavný neboli pájka. Fyzikální podstatou pájení je difuze. Při rozpouštění a difuzi atomů základního materiálu a pájky vzniká pájený spoj. Ten zpravidla vznikne za spolupůsobení tří materiálů, a to základního materiálu, pájky a tavidla, které slouží k očištění spojovaných materiálů a k odstranění oxidů z pájeného povrchu a zabránění jejich opětovnému vzniku.

Důležitými vlastnostmi pájky jsou:

- smáčivost,
- vzlínavost,
- roztékavost.

Smáčivost je jednou z nejdůležitějších vlastností pájky. Jedná se o schopnost tekuté pájky přilnout k čistému povrchu pájeného spojovaného materiálu při pracovní teplotě. Povrchové napětí má zásadní vliv na smáčivost pájky, kterou lze hodnotit dle velikosti stykového úhlu  $\alpha$ .

Další vlastností pájky je vzlínavost (kapilarita), což je schopnost tekuté pájky vyplňovat při pracovní teplotě úzkou mezeru mezi pájenými spojovanými materiály působením kapilárních sil. Pro stanovení vzlínavosti se stanovuje výška ( $h$ ), do které pájka vyvzlíná.

Poslední z vlastností je roztékavost pájky, kdy je podstatou zaujetí co největší plochy základního materiálu. Roztékavost pájky lze hodnotit jako velikost smáčené plochy v  $\text{mm}^2$ .

Takto je možno porovnávat několik druhů pájek a nebo povrchů základních pájených materiálů.

Mezi výhody je možné zahrnout možnost spojení téměř jakéhokoliv kovového materiálu bez ohledu na jeho tloušťku. Pájky mají nižší teplotu tavení než spojovaný materiál, proto nedochází k narušení struktury spojovaného materiálu, ani k jeho vnitřnímu pnutí. Další z výhod je například snadná automatizace procesu pájení. Naproti tomu nevýhodou metody pájení je nižší pevnost spojů, především u měkkého pájení, a nutnost připravit povrch spojovaného materiálu použitím tavidel. [11] [20]

### 3.3.1 Tvrdé a měkké pájení

Dle teploty tavení pájky rozdělujeme technologii pájení na dvě velké skupiny, a to pájení měkké a pájení tvrdé.

Pro měkké pájení je typické využití pájek s pracovní teplotou do 450 °C. Tato skupina se vyznačuje nižší pevností zhotovených spojů, které nachází využití v těsných a vodivých spojích. Základní materiály pájky jsou především slitiny cínu a olova, dále jsou používány v kombinaci se zinkem, stříbrem, mědí apod. V současné době jsou pájky na bázi olova omezovány pro svou toxicitu, zejména při použití v elektronických a elektrických zařízeních. V případě měkkých pájek se jako tavidla využívají látky s leptavým i látky bez leptavého účinku. U podskupiny tavidel bez leptavých účinků se jedná zejména o tavidla na bázi pryskyřic, které ovšem mají nižší účinnost. Naproti tomu stojí druhá podskupina leptavých tavidel na bázi chloridu, kde je zpravidla využíván roztok chloridu zinečnatého ( $ZnCl_2$ ). Tato tavidla mají čisticí funkci pájeného spoje od zoxidovaných kovů, dále zajišťují dobré smáčení základního materiálu pájkou.

Druhá skupina, tedy tvrdé pájky, je, co se týká výběru podstatně bohatší z důvodu četnějšího uplatnění v praxi. Jedná se například o pájky na bázi hliníku, mědi a stříbra, dále jsou využívány tvrdé pájky obsahující drahé kovy, nikl, paladium atd. Technologie tvrdého pájení je vhodná pro spojování za využití teploty tavení pájky nad 450 °C. Takto vzniklý spoj je výrazně pevnější oproti využití metody měkkého pájení. Nejpoužívanějším tavidlem pro pájení natvrdo je borax. Do této kategorie spadá rovněž technologie MIG pájení v ochranné atmosféře, která byla již zmíněna výše (kapitola 3.2.1.2). [11]

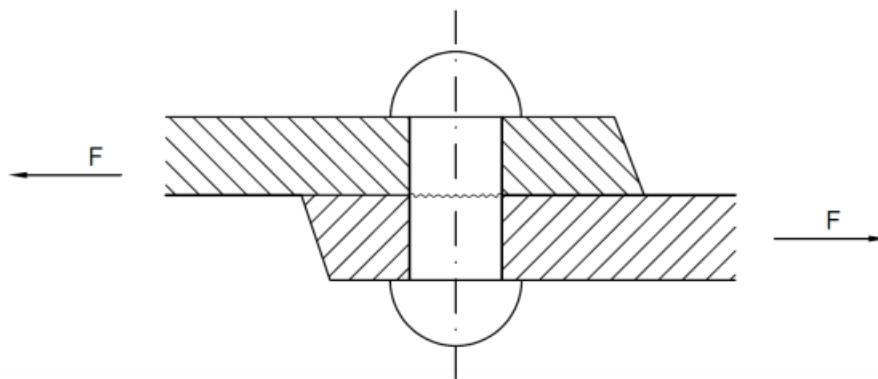
### 3.4 Nýtování

Nýtování je jednou z nejstarších metod spojování materiálů za pomoci tváření, kdy vzniká nerozebíratelné spojení dvou nebo více materiálů. Kovářské nýtování lze považovat za nejstarší použití nýtovaných spojů. V současnosti nachází nýtování nejvýraznější uplatnění ve strojírenství a v leteckém průmyslu.

Nýtování můžeme rozdělit dle spoje na pevné, těsné a na kombinaci obou předchozích, přičemž vzniká pevno-těsný spoj. Pevný spoj má za úkol přenášet velké síly. V případě těsného spoje je zapotřebí důkladné utěsnění spojovaných materiálů. U posledního typu jsou kladeny nároky jak na těsnost, tak i pevnost vzniklého spoje.

Nýt je tvořen třemi částmi, a to opěrnou hlavou, dříkem a závěrnou hlavou, kdy závěrná hlava vzniká tvářením konce dříku. Existuje řada materiálů, z nichž lze nýty vyrobit, jako například nýty ocelové a hliníkové, které jsou v praxi jedny z nejpoužívanějších, dále nýty z neželezných kovů, zejména mosazi a mědi.

Základním principem této metody je spojení dvou či více materiálů s již předem vytvořenou dírou, do níž se vkládá samotný nýt, který se za pomoci působící síly přetváří, vyplňuje díry a spojuje tak daný materiál. Viz obr. 8. [21] [22]



Obr. 8 Princip nýtovaného spoje [21]

#### 3.4.1 Nýtování za studena a za tepla

Nýty do průměru 8 mm se tváří za studena, tedy při běžné teplotě okolí. Nýty od průměru 8 mm výše se tváří za tepla, kdy teploty dosahují až hodnot okolo 1000 °C, a to

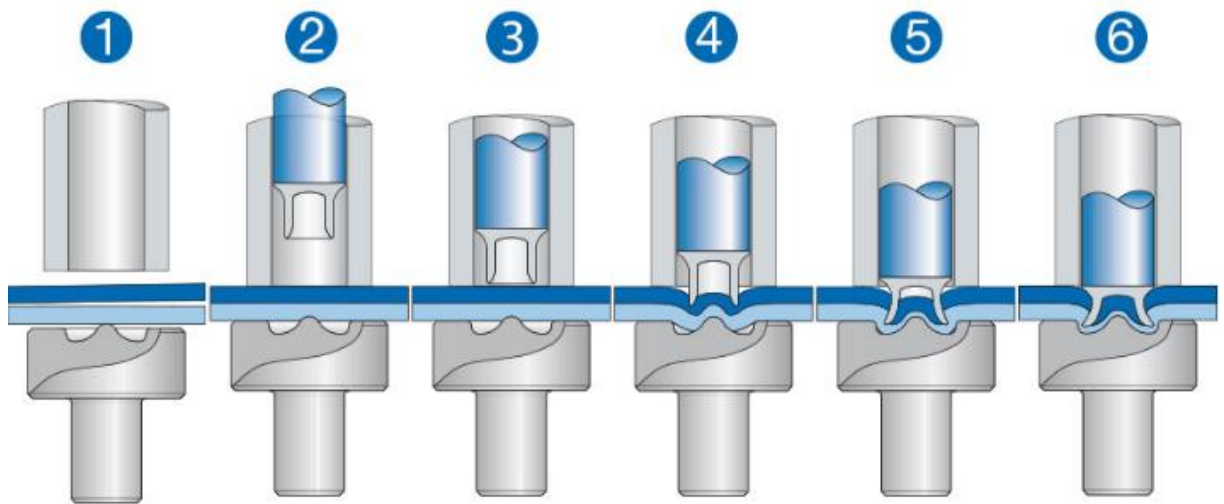
z důvodu snazšího tváření a následných vlastností, z nichž se jedná například o smrštění materiálu po ochlazení, čímž dojde k pevnějšímu sevření vzniklého spoje. [21]

### **3.4.2 Nýtování za pomoci trhacích nýtů**

Tento typ nýtování je principiálně obdobný jako běžné nýtování, je zde však použit odlišný druh nýtu, který se skládá z dutého těla a z pevného trnu v něm vsunutém. Není zde vyžadován přístup z obou stran, stačí pouze nastrčit trhací nýt a za pomoci nýtovacího nástroje stáhnout trn, který deformuje tělo nýtu. Po dosažení požadovaného sevření materiálu můžeme trn sami odlomit nebo při dosažení maximálního sevření dojde k samovolnému přetržení trnu nýtu.

### **3.4.3 Samoděrovací nýtování**

Modernější metoda využívající se zejména v automobilovém průmyslu, ale i v dalších odvětvích, je samoděrovací nýtování nebo tzv. RIVSET (společnost Böllhoff). Technologie spadá do skupiny spojování materiálů tvářením za studena. Hlavní výhodou je zde spojení bez nutnosti předvrtání či předděrování, není tudíž zapotřebí přesné polohování. Další výhodou je i spojování různých druhů materiálu bez nutnosti předchozí úpravy povrchů očištěním. Rychlost spojování materiálů je zde obdobná jako u bodového odporového svařování, jelikož nevyžaduje předvrtání otvorů a je takto velkým konkurentem zmiňované metody. Samoděrovací nýtování probíhá za pomoci razníku a matrice, kdy polodutý nýt je razníkem za působení síly vtlačěn do spojovaných materiálů a dle matrice dojde k vytvarování finálního spoje. Princip je znázorněn na obr. 9. [23]



1- umístění, 2 – upevnění, 3 – vniknutí, 4 – lisování, 5 – tváření, 6 - dokončení

Obr. 9 Princip samoděrovacího nýtování [23]

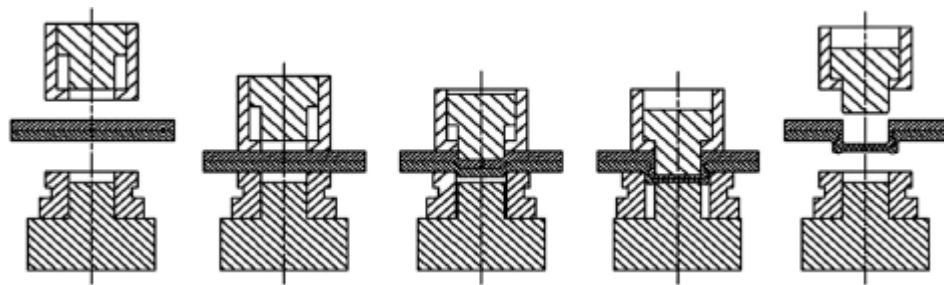
### 3.5 Clinching

Metoda clinching neboli metal joining či nýtování bez nýtů je obdobou samoděrovacího nýtování s tím rozdílem, že u této metody není použit žádný přídavný materiál, tedy nýt. Opět se jedná o technologii spojování za studena, kde není zapotřebí předvrtávat či děrovat materiál. První použití metody je zaznamenáno již v devatenáctém století, avšak masivnější rozvoj a použití jsou patrné až v posledních desetiletích. Je tedy považována za jednu z modernějších technologií.

Mezi výhody bezesporu patří spojování více druhů materiálu různých tloušťek. Také lze mezi jednotlivé vrstvy kovových materiálů vkládat folie, lepidla apod. a není zde nutná úprava povrchu spojovaného materiálu. Během spojování nevzniká nadbytečné teplo, jiskry či odpad, jedná se tedy o metodu čistou. Další velkou výhodou je ekonomická efektivita, úspora energie a šetrnost k životnímu prostředí. Hojně využití metal joining nachází v automobilovém průmyslu či v chladičství.

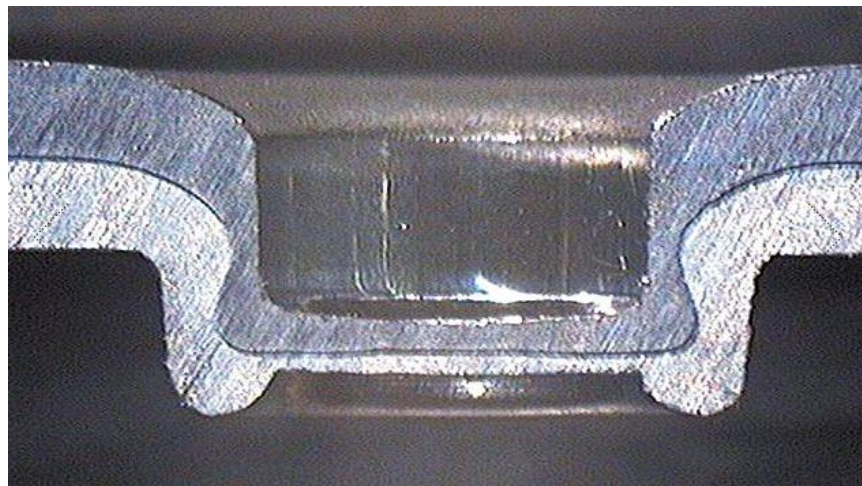
Matrice a razník jsou dva základní komponenty klinčovacího přístroje. Matrice mohou být pevné nebo mohou mít pohyblivé elementy, toto jsou dva základní druhy. Technologie

spočívá v tom, že razník protlačuje materiály do matrice, která má požadovaný tvar. Tento může být velmi variabilní a závisí na požadovaném tvaru finálního produktu. Charakteristickými znaky klinčovaného spoje je přítomnost výrůstku na straně matrice a přítomnost prohlubně na straně razníku, současně dochází ke vzniku tzv. krčku, díky kterému spoj drží pohromadě. Mechanismus vzniku spoje je znázorněn na obr. 10. [24] [25] [25]



*Obr. 10 Princip vzniku spoje metodou clinching [24]*

Při nesprávném nastavení lisovacích parametrů hrozí vadné spojení materiálů v důsledku nedokonalého vzniku krčku, ať už vlivem jeho ztenčení při prolisu materiálu nebo naopak při působení nízkého tlaku v místě spoje. Lisovací parametry se volí dle typu a tloušťky materiálu a podle průměru klinčovacího nástroje. Na obr. 11 je znázorněn řez spoje. [24] [25] [26]



*Obr. 11 Řez spoje metodou clinching [25]*

## 4 Praktická část diplomové práce

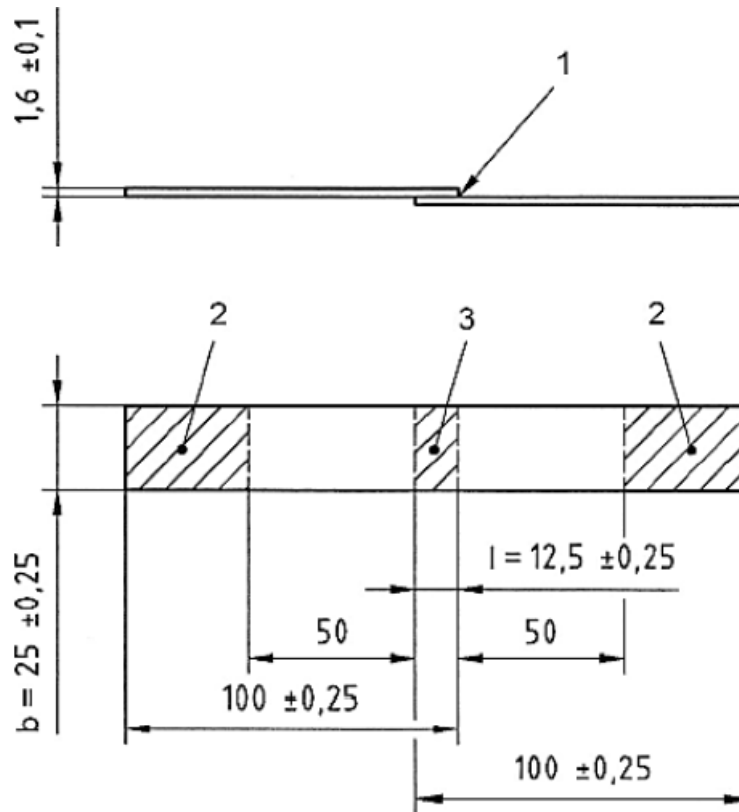
V praktické části diplomové práce jsou hodnoceny vzorky spojované za pomoci různých metod pro spojování tenkých plechů. Konkrétně byla použita metoda lepení, nýtování, clinching, pájení, bodové svařování a konvenční svařování. Zkoumána byla mez pevnosti spoje v tahu. Jednotlivé metody jsou v experimentální části porovnávány a vyhodnoceny.

Blíže je práce zaměřena na metodu lepení a ovlivnění vlastností lepeného spoje za působení různých teplot. Také je v práci podrobněji porovnávána metoda nýtování s metodou clinching.

Před samotným testováním bylo zhotoveno 312 vzorků. U části vzorků, která byla použita pro metodu lepení, bylo nutné upravit jejich povrch pro lepený spoj. Tyto úpravy zahrnovaly mechanickou úpravu tryskáním s následným chemickým ošetřením. Pro metodu lepení bylo využito pět druhů lepidel, čtyři lepidla kyanoakrylátová (sekundová), z nichž dvě byly od stejného výrobce, avšak jedno s uběhlou dobou expirace a jedno dvousložkové epoxidové lepidlo.

### 4.1 Zkušební vzorky

Výroba zkušebních vzorků pro lepení se řídila normou ČSN EN 1465, která přesně definuje, za jakých podmínek mají být vzorky testovány a jak mají samotné zkušební vzorky vypadat či jakým standardům má odpovídat univerzální zkušební stroj, konkrétně třídě přesnosti 1. Na obr. 12 níže jsou zobrazeny rozměry a přeplátování zkušebního vzorku dle normy.



1 – spoj s lepidlem, 2 – plocha uchycení vzorků, 3 – plocha smyku

Obr. 12 Schéma zkušební vzorku dle ČSN EN 1465 [27]

#### 4.1.1 Materiál

Pro výrobu vzorků byla zvolena ocel, přesněji se jednalo o plechy tloušťky 1 mm a 1,5 mm. Nastříhané plechy o tloušťce 1 mm, poskytnuté panem prof. Brožkem, byly využity pro kombinaci tlouštěk materiálu při metodě nýtování a clinching.

Pro všechny ostatní metody byly použity plechy o tloušťce 1,5 mm typu DC01 z tabule 1000 x 2000 mm. Jedná se o ocelový, za studena válcovaný plech s obsahem uhlíku do 0,12 %. Tento plech byl podroben zkoušce pro stanovení meze pevnosti na dvou zkušebních vzorcích A a B, oba s identickými rozměry 100 x 25 mm. Vzorek A dosahoval maximální síly při přetržení 11 884,5 N a pevnosti v tahu 316,9 MPa a vzorek B vykazoval 11 739,4 N a pevnosti v tahu 313,1 MPa, což odpovídá mechanickým vlastnostem daného materiálu, kde je mez pevnosti uváděna v rozmezí 270-410 MPa.



## 4.2 Použité přístroje a přípravky

V této kapitole jsou shrnuty přístroje použité pro výrobu vzorku a využívané pro následné pokusy.

Jako první zmiňme přístroje a přípravky použité pro přípravu vzorků. Použity byly:

- **tabulové nůžky značky NTC** – sloužící k dělení tabule plechu na menší kusy o požadovaných rozměrech,
- **tryskací kabina ITB** – umožňující mechanickou úpravu povrchu očištěním od nečistot, například rzi, barvy apod. nebo úpravu drsnosti dle použitého tryskacího materiálu,
- **aceton** – zajišťující chemické očištění povrchu materiálu.

Dále byly využity přípravky a přístroje pro výrobu samotných zkušebních vzorků:

- **lepidla** – ke spojení materiálu za vzniku lepeného spoje (podrobněji viz níže v kapitole 4.3),
- **svařovací zařízení MAG** – ke spojení za pomoci natavení spojovaných materiálů,
- **odporové svařovací kleště** – vznik spoje za pomoci tlakového svařování,
- **stojanová vrtačka,**
- **klinčovací stroj značky Böllhoff** – pro spojení tenkých plechů metodou clinching,
- **souprava na plamenové svařování („autogen“)** – sloužící k přípravě vzorků metodou tvrdého pájení,
- **pájecí souprava s propanbutanovou nádobou** – pro přípravu vzorku metodou měkkého pájení.

Poté byly použity přístroje a přípravky pro testování zkušebních vzorků:

- **univerzální zkušební stroj LabTest 5.50ST** (více viz kapitola 4.5),
- **horkovzdušná pistole Steinel** – k ohřátí vzorků,
- **chladičí sprej Granit** – k ochlazení materiálu vzorků,
- **termokamera Flir,**
- **dotykový teploměr Therm 2220-13.**

### 4.3 Použitá lepidla

**Den Braven super glue** je sekundové lepidlo na bázi kyanoakrylátu, lepidlo se využívá k lepení PVC, pryžového těsnění, kovů, skla či jejich kombinací. Před použitím lepidla musí být lepený povrch očištěn a odmaštěn, aby bylo dosaženo optimálních vlastností lepeného spoje. Při dodržení podmínek výrobce garantuje vysokou pevnost spoje, uvádí až  $230 \text{ kg/cm}^2$ , což je  $22,56 \text{ MPa}$ . Pro experiment je podstatné znát teplotní odolnost lepidla. Tato hodnota, uvedená v technickém listu, se pohybuje od  $-60$  do  $+80 \text{ }^\circ\text{C}$ . [30]

**Den Braven super glue - lepidlo po uplynutí doby expirace** – jedná se o totožné lepidlo jako první zmiňované s tím rozdílem, že lepidlo mělo již propadlou dobu expirace a to o 26 měsíců.

Dalším testovaným bylo sekundové lepidlo **Bison super glue**, opět na bázi kyanoakrylátu použitelné pro lepení plastů, kovů, porcelánu, keramiky, dřeva a jiných materiálů. Není však dle výrobce vhodné pro lepení polypropylenu, polyethylenu, textilních a kožených oděvů. Před nanesením lepidla musí být lepený povrch očištěn, suchý a musí přesně přiléhat. I zde byla zásadní informace o teplotní odolnosti lepidla a dle technického listu se tato pohybuje mezi  $-40$  a  $+80 \text{ }^\circ\text{C}$ . [31] [32]

**Samson super glue extra** též spadá do kyanoakrylátových sekundových lepidel. Využitelné je k lepení dřeva, kovů, papíru, kůže, plastů a keramiky. Výrobce uvádí v technickém listu podmínky, za nichž není možné dosáhnout optimálních vlastností lepeného spoje, a to konkrétně působení teploty nad  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ , působení vlhkosti a zásaditých látek na lepený materiál. Sníženou odolnost spoje za výrazně nižších teplot výrobce neuvádí. [31] [33]

**Ceys epoxi** je rychletvrdnoucí epoxidové dvousložkové lepidlo, tvořené epoxidovou pryskyřicí a tvrdidlem, vhodné pro rychlé spojení v podstatě jakéhokoliv materiálu s výjimkou polyethylenu, polypropylenu, teflonu a silikonu. Výrobce uvádí odolnost vůči teplotám od  $-60$  do  $+65 \text{ }^\circ\text{C}$ , vůči zátěži do  $320 \text{ kg/cm}^2$ , což je  $31,38 \text{ MPa}$ , odolnost vůči většině organických i anorganických rozpouštědel a rovněž i odolnost vůči nárazům a vibracím. Plocha lepeného materiálu v místě budoucího lepeného spoje musí být důkladně očištěna od mastnoty, prachu a jiných nečistot, povrch také musí být suchý. Pro použití je zapotřebí smísit obě složky 1:1 pomocí přiložené špachtle a pečlivě promíchat, poté lze již lepit materiál. [31]

## 4.4 Příprava a výroba zkušebních vzorků

### 4.4.1 Metoda lepení

Nejprve bylo zapotřebí nastříhání plechů za účelem tvorby vzorků. Pro jejich nastříhání z tabule plechu byly použity tabulové nůžky značky NTC v laboratoři katedry. Za pomoci tohoto stroje byly z tabule plechu zhotoveny menší plechy o rozměrech 100 x 25 mm. Po nastříhání plechů, se pokračovalo jejich mechanickou úpravou v tryskací kabině. Toto zařízení slouží ke zdrsňení povrchu, odstranění rzi, starých nátěrů a jiných nečistot z povrchu tryskaného materiálu. Ke zdrsňení povrchu nastříhaných plechů bylo použito tryskací abrazivo Granát M80. Po otryskání byla měřena drsnost povrchu na drsnoměru ve směru delšího rozměru a ve směru kratšího rozměru. Výsledky jsou zobrazeny v tab. 1. Po dokončení mechanické přípravy následovala chemická úprava povrchu acetonem. Tento proces je klíčový z důvodu nutnosti oplachu od zbytků abraziva. Po těchto přípravách bylo již zahájeno lepení zkušebních vzorků.

Tab. 1 Naměřené hodnoty drsnosti povrchu vzorků

Otryskané plechy - měřená drsnost povrchu				
	Ra [ $\mu\text{m}$ ] podélně	Ra [ $\mu\text{m}$ ] příčně	Rz [ $\mu\text{m}$ ] podélně	Rz [ $\mu\text{m}$ ] příčně
Aritmetický průměr	1,99	1,97	15,56	15,63
Směrodatná odchylka	0,16	0,21	2,28	2,89

Při metodě spojování lepením bylo použito 5 druhů lepidel, z toho jedno epoxidové a čtyři kyanakrylátová. Slepno bylo celkem 180 vzorků, 36 vzorků od každého z použitých lepidel. Před prvním lepením a po slepení každých dvanácti vzorků se hmotnost lepidla vážila na váze, abychom znali jeho spotřebu. Jednotlivé plechy jsme si rozložili na pracovní desku se šablonou, která měla zajistit co nejpřesnější přeplátování lepených vzorků. Po následném slepení byl každý vzorek zatížen a ponechán minimálně 24 hodin v tomto stavu, aby došlo k vytvrnutí lepidla. V případě epoxidových lepidel je zapotřebí delší doba pro vytvrnutí. U použitého rychletvrdnoucího lepidla Ceys epoxi je výrobcem uváděno 48 hodin.

#### 4.4.2 Nýtování

Touto metodou bylo zhotoveno celkem 36 vzorků za použití třech kombinací a to 1 + 1 mm, 1 + 1,5 mm a 1,5 + 1,5 mm. Tedy 12 vzorků na jednu kombinaci. Při využití kombinace 1 + 1 mm byly použity hliníkové nýty, u ostatních kombinací byly použity nýty ocelové. Průměr dřívku nýtů byl 4 mm.

Všech 36 vzorků bylo zhotoveno v domácích podmínkách. Dvojice spojovaných plechů byly upraveny za pomoci důlčíku pro přesné navrtání díry. Díry byly vrtány stojanovou vrtačkou a poté se již pokračovalo k samotnému nýtování. Přeplátování bylo zvoleno dle šířky vzorku, tedy 25 mm, za vzniku čtvercové plochy. Nýty byly vloženy do předvrtaných děr a za pomoci přítažníku docházelo k tváření nýtů, kdy z konce dřívku postupně vznikla závěrná hlava, tímto způsobem bylo dosaženo požadovaného spojení materiálů.

#### 4.4.3 Clinching

Tato spojovací metoda byla zajištěna firmou Böllhoff, kam byly doručeny plechy na výrobu vzorků. Jednalo se o plechy o dvou tloušťkách 1 mm a 1,5 mm, které byly navzájem kombinovány. Každý plech měl naznačené přeplátování 25 mm. Vzorky byly zhotoveny na samostatně stojícím clinchovacím zařízení (viz obr. 13). Jelikož cílem bylo porovnání nýtovaného spoje a clinchingu, byl zvolen průměr razníku clinchovacího nástroje 5 mm a pevná matrice o průměru 8 mm, což odpovídá nýtu s průměrem dřívku 4 mm, jež byl použit při výrobě vzorků metodou nýtování.



*Obr.13 Clinchovací stroj [29]*

#### 4.4.4 Svařování MAG

Svařování plechů probíhalo opět v domácích podmínkách za využití svařovacího zdroje KIT 2200 (viz obr. 14). Přepřátování vzorků bylo totožné jako při využití předchozích metod, nýtování a clinchingu, tedy 25 mm, korespondující se šířkou zkušebních vzorků. Poté po fixaci vzorku byly plechy svařeny. Při tomto typu svařování byl použit ochranný plyn ve směsi CO<sub>2</sub> a Ar a standardní ocelový poměděný drát Kovax G3Si1 o průměru 0,8 mm.



Obr. 14 Svařovací zdroj KIT 2200 [28]

#### 4.4.5 Bodové odporové svařování

Touto metodou byly svařovány plechy o tloušťce 1,5 mm za pomoci svařovacích kleští BV 2.5.21 (Obr. 15). Toto svařovací zařízení se nachází v laboratoři katedry, kde také byly vzorky zhotovovány. Vytvořeno bylo 12 vzorků. Dle doporučení výrobce byl nastaven svařovací čas na 0,6 sekundy, přitlačná síla 1,5 kN a svařovací proud 6,4 kA, který je pevně stanoven a není možné ho regulovat. Prakticky byly vzorky zhotoveny ze dvou plechů s přepřátováním 25 mm, vzorek byl vždy ve svařovacích kleštích uchycen ve středu přepřátované plochy a následně došlo k provedení svaru v tomto bodě.



Obr. 15 Odporové svařovací kleště [28]

#### **4.4.6 Tvrdé a měkké pájení**

Spojování plechu za pomoci tvrdého pájení probíhalo opět v domácích podmínkách, pájení měkké poté v laboratořích katedry.

Tvrdé pájení bylo prováděno za použití technologie svařování plamenem (autogenem), kdy dochází k hoření acetylenu s kyslíkem, jako přídatný materiál byl použit mosazný drát a jako tavidlo borax. Vzorky byly rozprostřeny na pracovní plochu, opět přeplátovány, do míst budoucích spojů bylo nanášeno tavidlo a poté byl za pomoci plamene taven borax a mosazný drát.

Měkké pájení probíhalo obdobně. Rozdíl byl v použití jiného tavidla, chloridu zinečnatého, typického pro tuto metodu. Za pomoci plamene byl nahříván vzorek a současně docházelo k tavení cínové pájky.

#### **4.5 Metodika zkoušení**

Obsahem kapitoly je popis praktického provedení experimentu na zhotovených zkušebních vzorcích. Všechny zkoušky probíhaly na univerzitním zkušebním zařízení LabTest 5.50ST (Obr. 16). Na tomto stroji lze provádět mechanické zkoušky v tahu, tlaku, ohybu apod., vzorky se upínají za pomoci samosvorných čelistí. Zařízení dokáže vyvinout maximální sílu 50 kN. Stroj je propojen s počítačovým programem Test&Motion, kde lze nastavovat parametry testování, zobrazovat výsledky, které je možné dále exportovat.



*Obr.16 Univerzitní zkušební zařízení LabTest 5.50ST [28]*

#### **4.5.1 Zkouška lepeného spoje**

Testy lepených spojů probíhaly za různých podmínek, za běžné teploty, za zvýšené teploty a při podchlazení. Dle normy ČSN EN 1465 má dojít k porušení testovaného spoje za  $60 \pm 20$  s, dle toho se také měnila rychlost zatěžování.

První skupina vzorků testována za běžné pokojové teploty  $22 \pm 2$  °C. Tyto vzorky byly vystaveny standardnímu namáhání v tahu. Zkušební vzorky byly upnuty do čelistí univerzálního zkušebního stroje a zatěžovány do chvíle porušení spoje, kdy v tento okamžik stroj zastavil probíhající zkoušku z důvodu poklesu síly. Maximální síla byla zaznamenána

jako výsledek měření a byla následně k dispozici ve výše zmíněném počítačovém programu. Takto bylo testováno 12 vzorků od každého lepidla.

Druhá část byla testována za zvýšené teploty vzorků (12 od každého lepidla), to znamená že daný vzorek se ohřál horkovzdušnou pistolí na požadovanou teplotu a až poté byl spoj zatížen, požadovaná teplota byla dodržena po celou dobu zkoušky. Zkušební teplota byla volena dle parametrů teplotní odolnosti lepidel. Všechna testovaná sekundová lepidla mají totožnou teplotní odolnost, která by neměla přesáhnout + 80 °C dle technických parametrů, jak udává výrobce. Pro naše testování jsme tuto teplotu snížili o 25 %, což odpovídalo teplotě + 60 °C. Těchto teplot lze v běžném životě za určitých podmínek dosáhnout, například uvnitř automobilu stojícího na prudkém slunci nebo u předmětů, které jsou vystavovány vyšším teplotám. Zkušební vzorky byly po upnutí do čelistí univerzálního zkušebního zařízení ohřívány ze vzdálenosti cca 30 mm po dobu 1,5 minuty do dosažení požadovaných  $60 \pm 3$  °C. Teplota byla průběžně kontrolována za pomoci termokamery a kontaktního teploměru. Po ohřátí vzorku na požadovanou teplotu byl spuštěn samotný test. V případě epoxidového lepidla značky Ceys byl lepený spoj testován při teplotě 50 °C, a to z důvodu opětového snížení o 25 % oproti výrobcem uváděné maximální teplotě 65 °C, což přesně odpovídá 49 °C, kterou byla zaokrouhlena na výše zmíněných 50 °C s tolerancí  $\pm 3$  °C. Dále u epoxidového lepidla Ceys byly testovány vlastnosti lepeného spoje i při teplotě 60 °C stejně jako u sekundových lepidel, avšak pouze u souboru 6 vzorků. Princip metody znázorňuje obr. 17.





*Obr. 17 Způsob ohřívání vzorků pomocí horkovzdušné pistole [28]*

Poslední třetí část vzorků byla testována za snížených teplot, principiálně stejně jako při testování za zvýšených teplot, avšak s tím rozdílem, že vzorky byly podchlazovány za pomoci chladicího spreje na bázi stlačeného CO<sub>2</sub>. V plánu bylo otestování všech lepidel po 12 vzorcích, ale spotřeba chladicího média pro dosažení požadované teploty byla tak vysoká, že jeden sprej o objemu 400 ml vystačil pouze na 6 vzorků. Jelikož byly k dispozici pouze 2 spreje, byla provedena zkouška u dvou lepidel po 6 vzorcích. Poté byl test za snížené teploty ukončen z důvodu vysoké finanční nákladnosti této části experimentu. Během zkoušky byly vzorky opět upnuty do univerzálního zkušebního stroje a za pomoci výše zmíněného spreje podchlazovány na teplotu -40 °C. Termokamerou a kontaktním teploměrem bylo kontrolováno udržení požadované teploty po celou dobu testování. Nejprve se vzorek rychle podchládl na požadovanou teplotu a po zahájení testu se teplota udržovala pomocí přerušovaného vstřikování spreje na povrch vzorku. Provedení metody je zobrazeno na obr. 18 a 19.



*Obr. 18 Princip podchlazování vzorků pomocí chladícího spreje [28]*



*Obr. 19 Podchlazený vzorek v čelistech univerzálního zkušebního stroje [28]*

Po otestování vzorků byly výsledné hodnoty sil dále vyhodnoceny a porovnány.

#### **4.5.2 Zkoušky ostatních metod**

Do této kapitoly spadají metody nýtování, clinching, konvenční svařování, bodové odporové svařování, měkké a tvrdé pájení. Všechny vzorky spojované uvedenými metodami byly testovány na univerzálním zkušebním stroji ke zjištění maximální síly potřebné pro porušení spoje. Výsledné hodnoty byly zaznamenány v programu Test&Motion a následně exportovány a vyhodnoceny.

## 5 Výsledky a jejich hodnocení

V této kapitole jsou uvedeny výsledky měření. K jejich hodnocení byl použit statistický software Minitab 19, a to jak pro analýzu dat, tak i pro grafické vyhodnocení. Tento program byl zvolen z důvodu jeho jednoduchosti, oblíbenosti a z důvodu dobrých osobních zkušeností.

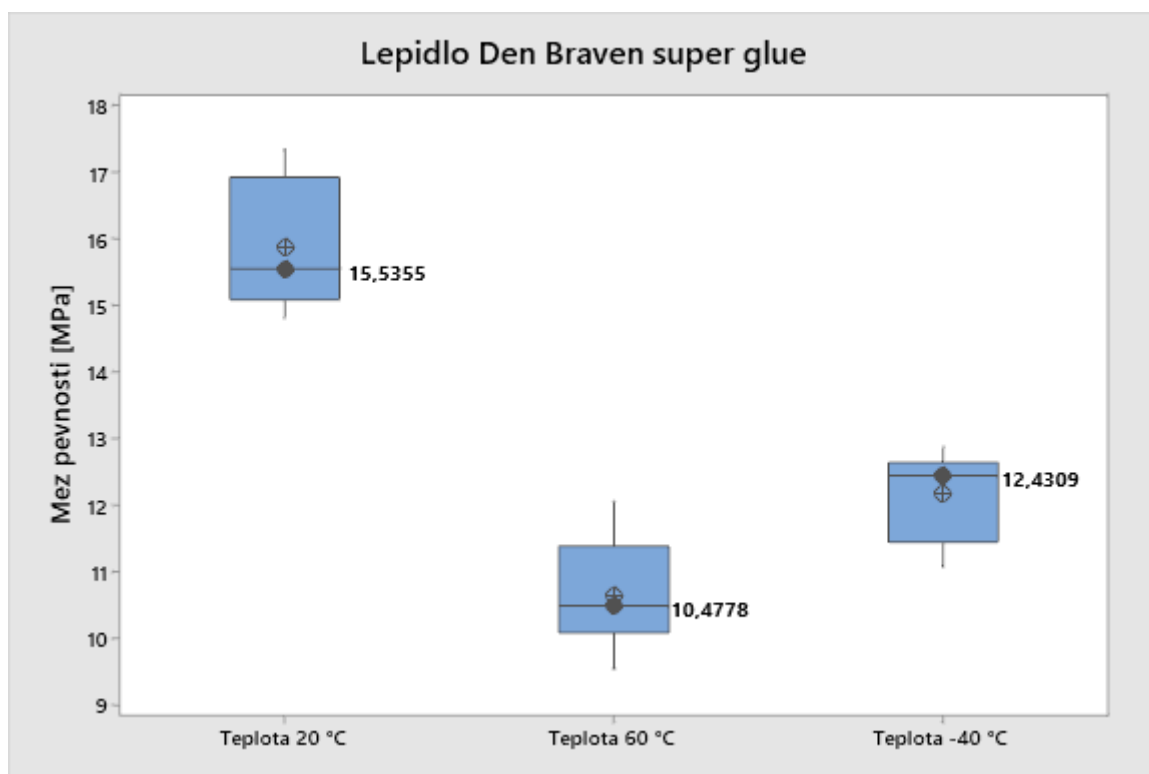
Před samotnou analýzou dat musely být síly potřebné k porušení lepeného spoje přepočítány na mez pevnosti ve smyku, jelikož spoj nezahrnuje rozměry překlátování. K tomuto přepočtu byl použit jednoduchý vzorec, kde je mez pevnosti  $\tau$  [MPa] definována jako podíl síly  $F$  [N] a plochy  $S$  [mm<sup>2</sup>]. Plocha je dána součinem délky  $a$  [mm] a šířky  $b$  [mm] překlátování.

## 5.1 Lepené spoje

Podkapitola zahrnuje grafické vyhodnocení a porovnání použitých metod lepení.

### 5.1.1 Lepidlo Den Braven Super Glue

U tohoto lepidla byly provedeny zkoušky za zvýšené i snížené teploty. Sekundové lepidlo vykazuje vysokou pevnost spoje za běžných teplotních podmínek. Dle výrobce je lepidlo určeno pro využití v rozmezí teplot  $-60$  až  $+80$  °C. Dle výsledků je však patrné, že při teplotě  $60$  stupňů se mez pevnosti snižuje o třetinu z původních  $15,5$  MPa na  $10,5$  MPa, tedy  $33\%$ , avšak můžeme říci, že tento výsledek je velmi uspokojivý vzhledem k poklesu meze pevnosti u ostatních druhů sekundových lepidel (podrobněji viz níže). V případě podchlazení vykazuje lepený spoj menší pokles meze pevnosti než při zahřátí vzorku.



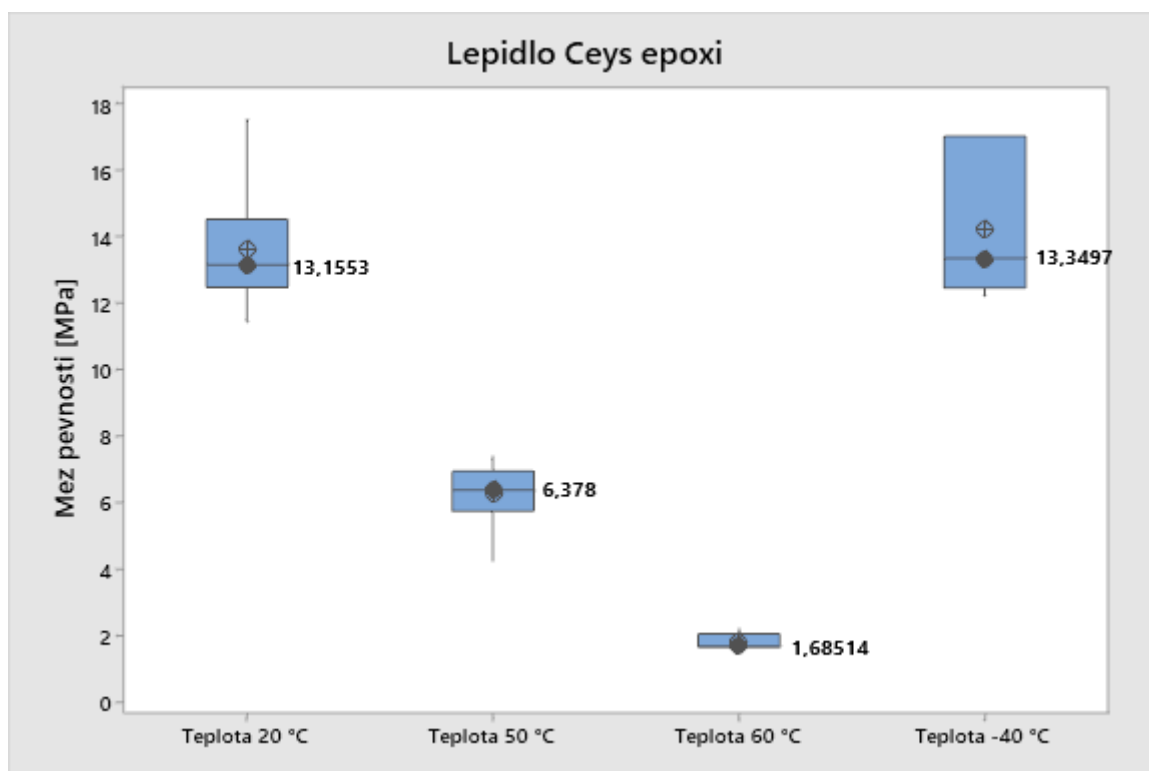
#### Statistics

Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Median	Maximum
Teplota 20 °C	12	15,868	0,939	14,799	15,536	17,323
Teplota 60 °C	12	10,635	0,803	9,531	10,478	12,040
Teplota -40 °C	6	12,150	0,684	11,071	12,431	12,856

Obr. 20 Graf a statistické hodnocení vlastností lepidla Den Braven super glue

### 5.1.2 Lepidlo Ceys epoxi

I zde byly provedeny všechny teplotní zkoušky, navíc bylo zahrnuto i testování při teplotě 60 °C. Epoxidové lepidlo dosahuje za běžné teploty 20 °C mediánu hodnot meze pevnosti 13,2 MPa, což je hodnota téměř identická s hodnotou mediánu při teplotě – 40 °C. Naopak při vzrůstu teploty působící na lepený spoj na 50 °C (odpovídá 75% hodnoty maximální teplotní odolnosti uváděné výrobcem) je mez pevnosti o polovinu menší oproti běžným 20 °C. Při dalším nárůstu teploty na 60 °C, tedy o pouhých 10 stupňů, se dále velice dramaticky snižuje mez pevnosti spoje až na 1,7 MPa.



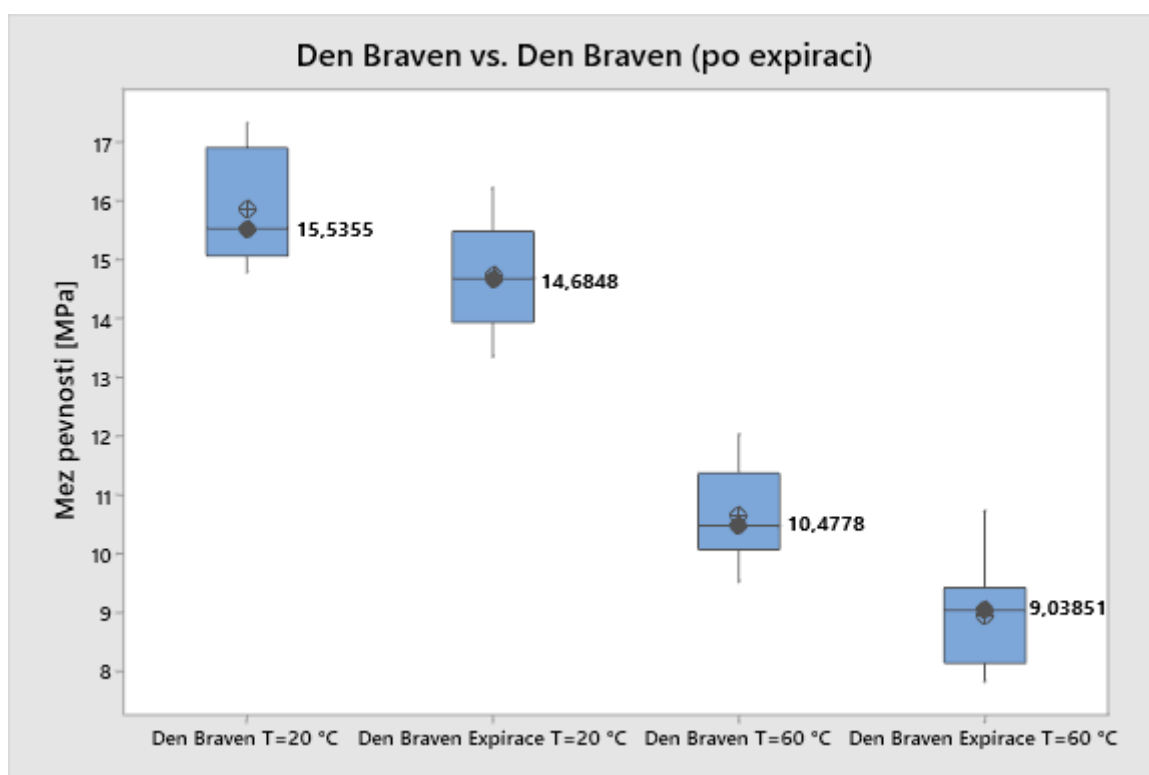
#### Statistics

Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Median	Maximum
Teplota 20 °C	12	13,622	1,686	11,463	13,155	17,519
Teplota 50 °C	12	6,241	0,902	4,268	6,378	7,363
Teplota 60 °C	6	1,8045	0,2376	1,5817	1,6851	2,1794
Teplota -40 °C	6	14,259	2,200	12,237	13,350	17,072

Obr. 21 Graf a statistické hodnocení vlastností lepidla Ceys epoxi

### 5.1.3 Porovnání lepidla Den Braven a Den Braven po datu expirace

Vlastnosti lepidla Den Braven Super Glue byly již popsány výše v kapitole 5.1.1. Nyní se zaměříme na porovnání stejného lepidla v datu a po datu expirace. Uběhlá doba použitelnosti byla přesně 26 měsíců. Překvapivě však vzhledem k relativně dlouhé době uplynutí expirace nedošlo k tak markantnímu ovlivnění vlastností lepidla jak při běžné, tak i při zvýšené teplotě. Z grafu na obr. 22 je patrné, že se mez pevnosti snížila o pouhý 1 MPa, tedy o 5,5 %, při běžné i při zvýšené teplotě lepidla po expiraci, z čehož lze usuzovat, že uplynutí doby použitelnosti nemá zásadní vliv na vlastnosti lepeného spoje. Obě lepidla mají stejný trend poklesu meze pevnosti v závislosti na zvýšené teplotě.



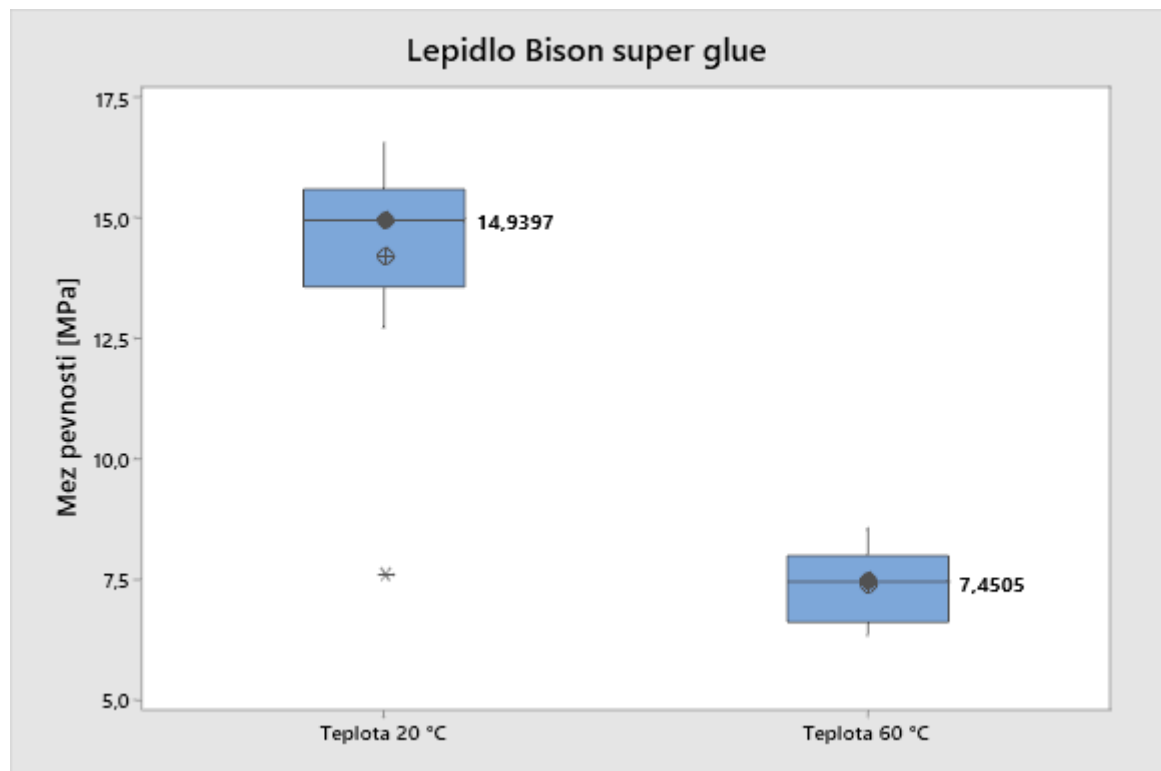
#### Statistics

Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Median	Maximum
Den Braven T=20 °C	12	15,868	0,939	14,799	15,536	17,323
Den Braven Expirace T=20 °C	12	14,735	0,934	13,350	14,685	16,232
Den Braven T=60 °C	12	10,635	0,803	9,531	10,478	12,040
Den Braven Expirace T=60 °C	12	8,952	0,838	7,829	9,039	10,731

Obr. 22 Graf a statistické hodnocení vlastností lepidla Den Braven super glue při srovnání v datu a po datu expirace

### 5.1.4 Lepidlo Bison super glue

U tohoto sekundového lepidla je patrný větší pokles meze pevnosti, která zde klesá o polovinu. V souboru je jedna odlehlá hodnota, která odpovídá souboru hodnot zaznamenaných při zvýšené teplotě. Na tomto případu lze vysvětlit důvod využití mediánu, který zamezuje zkreslení hodnot, na rozdíl od aritmetického průměru.



#### Statistics

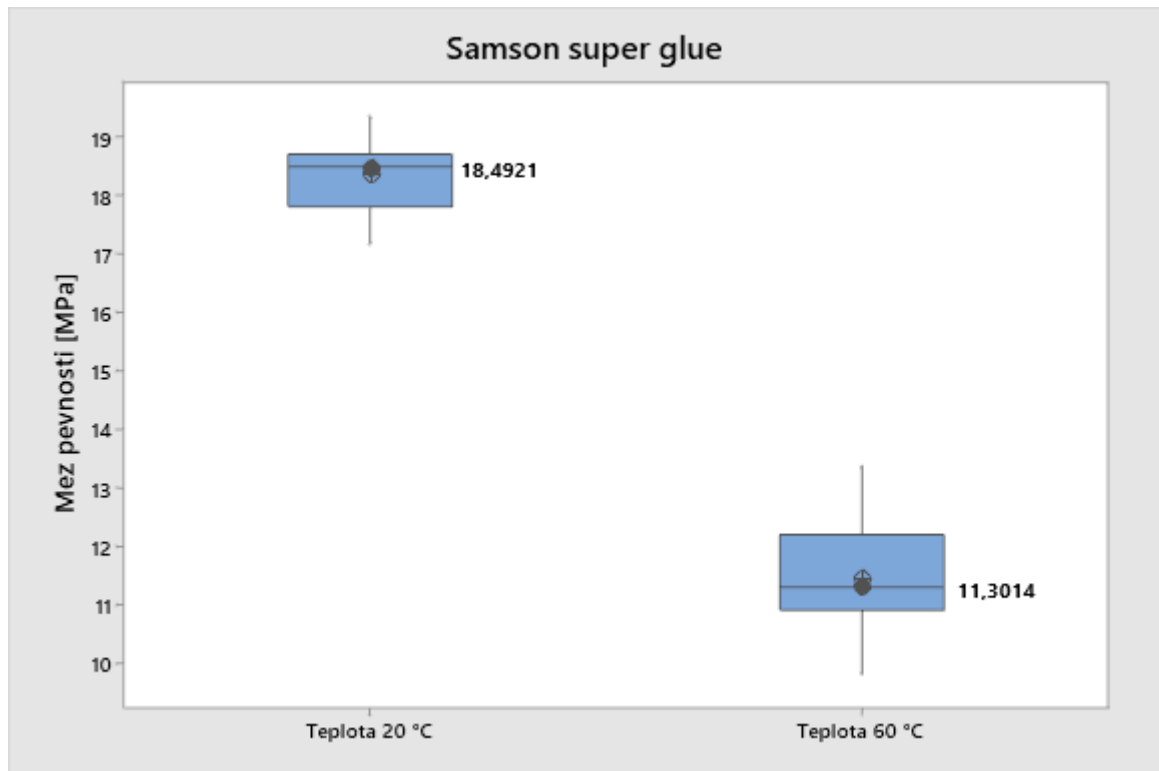
Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Median	Maximum
Teplota 20 °C	12	14,224	2,354	7,602	14,940	16,537
Teplota 60 °C	12	7,363	0,780	6,351	7,450	8,547

Obr.23 Graf a statistické hodnocení lepidla Bison super glue



### 5.1.5 Lepidlo Samson super glue extra

Toto sekundové lepidlo dosahuje nevyšších hodnot meze pevnosti. Zvýšením teploty o 40 °C se pevnost spoje snížila o 7 MPa, to znamená o 39 %, tedy o méně než polovinu.



#### Statistics

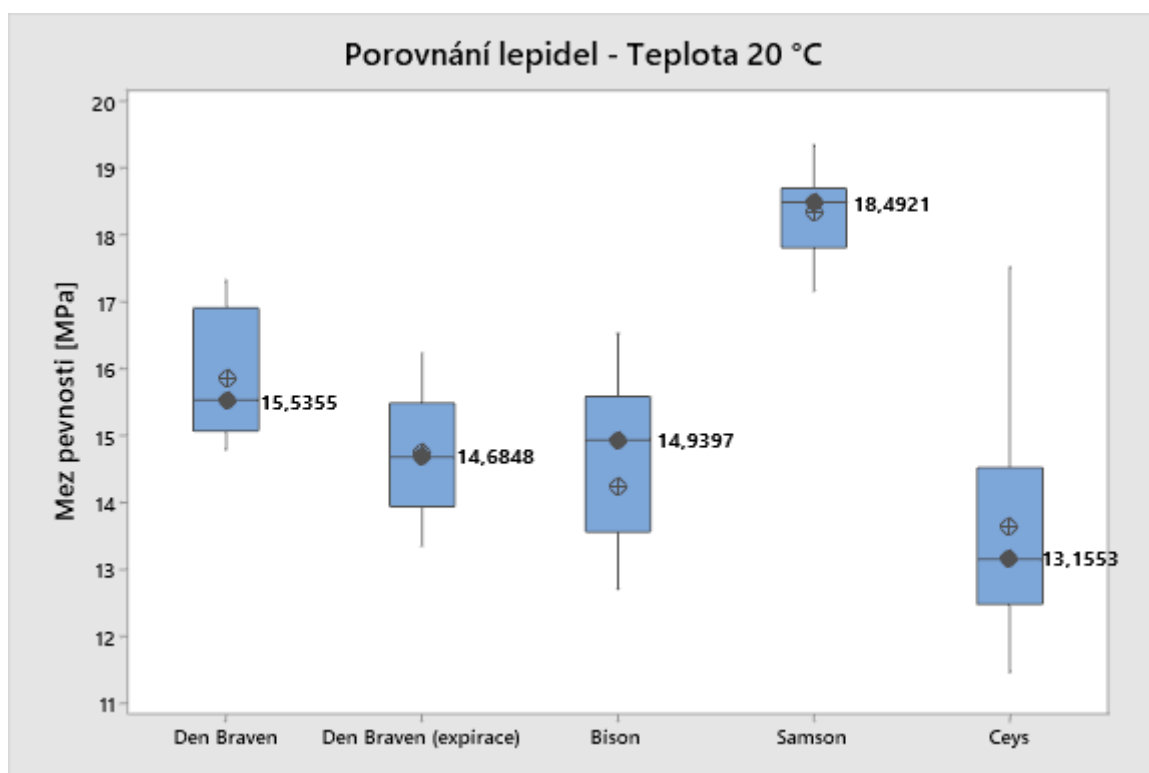
Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Median	Maximum
Teplota 20 °C	12	18,362	0,613	17,175	18,492	19,352
Teplota 60 °C	12	11,450	1,054	9,813	11,301	13,363

Obr.24 Graf a statistické hodnocení lepidla Samson super glue extra

### 5.1.6 Porovnání všech lepidel

Z obr. 25 je patrné, že nejvyšších hodnot mezi pevností za teploty 20 °C dosahuje lepidlo Samson super glue extra s hodnotou mediánu 18,5 MPa. U třech ostatních sekundových lepidel se tato hodnota pohybuje v rozmezí 14,7 a 15,5 MPa. Lepidlo Den Braven po expiraci vykazuje obdobný výsledek jako lepidlo Bison super glue a dokonce je pevnost lepeného spoje vyšší než při použití epoxidového lepidla značky Ceys, u něhož mez pevnosti dosahuje 13,2 MPa.

Souhrnně, za běžné teploty vychází jako lepidlo s nejhorsími vlastnostmi, v porovnání se sekundovými lepidly, při spojování tenkých plechů dvousložkové epoxidové lepidlo Ceys epoxi.

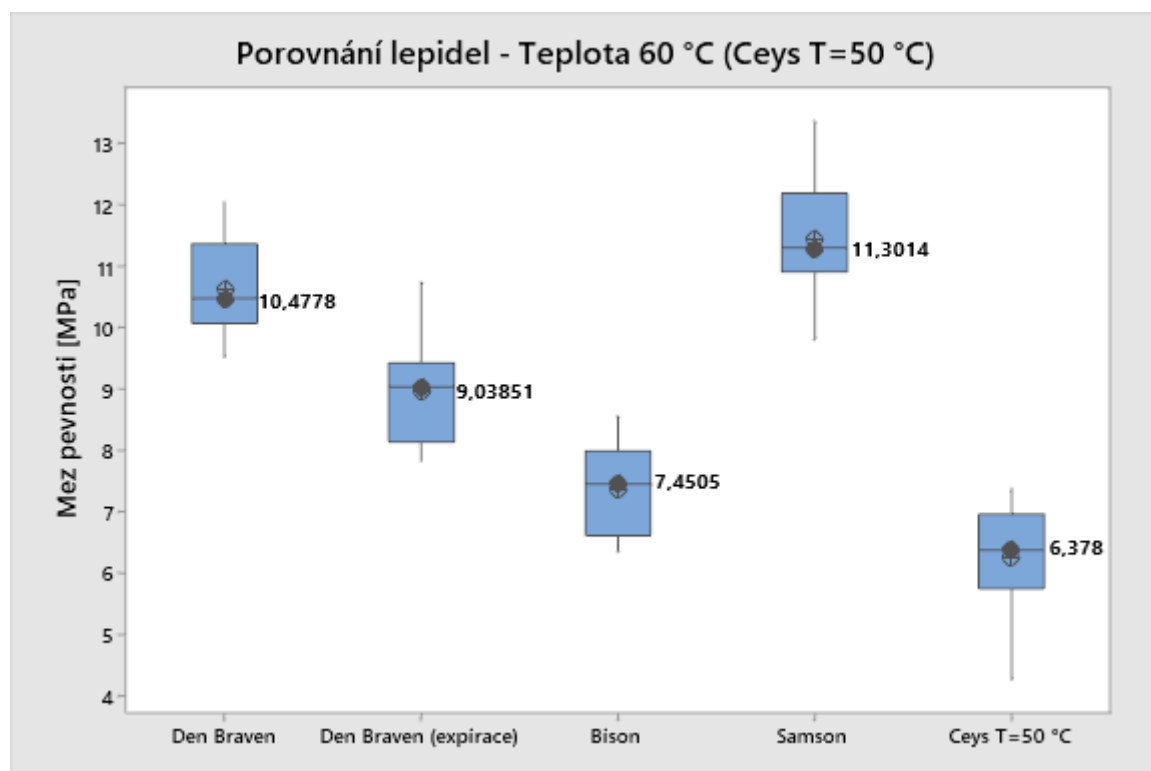


#### Statistics

Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Median	Maximum
Den Braven	12	15,868	0,939	14,799	15,536	17,323
Den Braven (expirace)	12	14,735	0,934	13,350	14,685	16,232
Bison	12	14,224	2,354	7,602	14,940	16,537
Samson	12	18,362	0,613	17,175	18,492	19,352
Ceys	12	13,622	1,686	11,463	13,155	17,519

Obr.25 Graf a statistické hodnocení při porovnání všech lepidel při teplotě 20 °C

Při porovnání všech lepidel při zvýšené teplotě pozorujeme obdobný vývoj hodnot, kdy Samson super glue vychází jako nejlépe hodnocené s mezí pevnosti 11,3 MPa, poté následují ostatní sekundová lepidla s mezemi pevnosti v rozmezí 7,5 a 10,5 MPa. Při porovnání sekundových lepidel Bison super glue a Den Braven po expiraci má zde, při vyšší teplotě, lepší výsledky Den Braven, avšak při teplotě 20 stupňů tomu bylo naopak (viz výše). I zde je nejnižší mez pevnosti patrná u epoxidového lepidla značky Ceys.



### Statistics

Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Median	Maximum
Den Braven	12	10,635	0,803	9,531	10,478	12,040
Den Braven (expirace)	12	8,952	0,838	7,829	9,039	10,731
Bison	12	7,363	0,780	6,351	7,450	8,547
Samson	12	11,450	1,054	9,813	11,301	13,363
Ceys T=50 °C	12	6,241	0,902	4,268	6,378	7,363
Ceys T=60 °C	6	1,8045	0,2376	1,5817	1,6851	2,1794

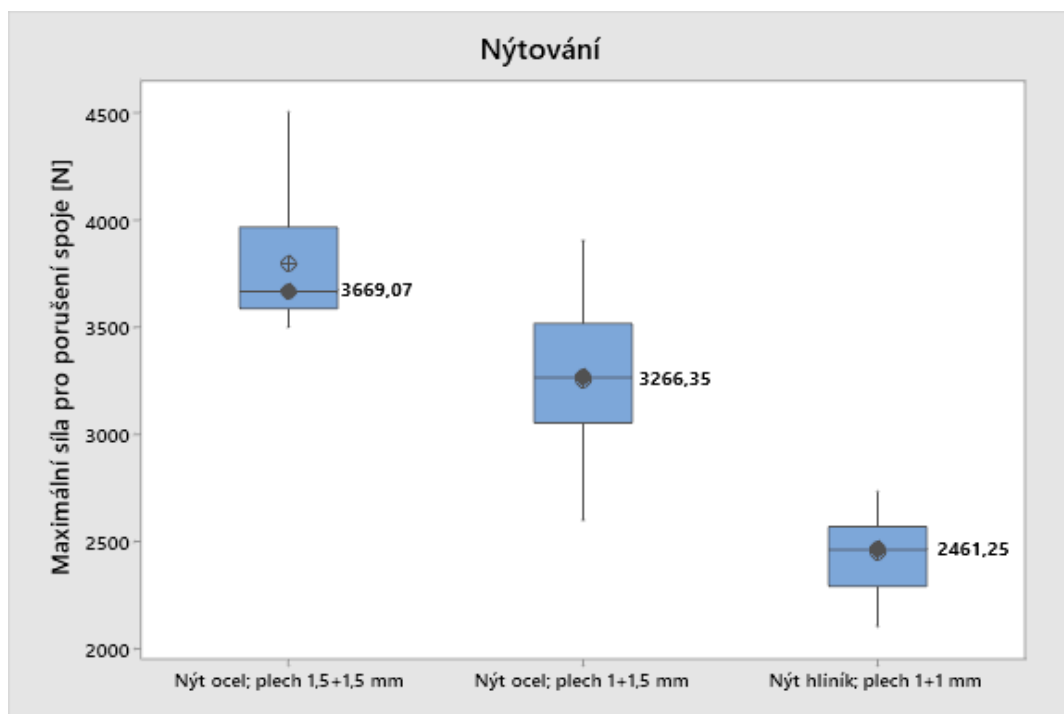
Obr.26 Graf a statistické hodnocení při porovnání všech lepidel při teplotě 60 °C

Závěrem porovnávání vlastností lepených spojů při spojování tenkých plechů lze říci, že v případě hodnocení vlastností lepidel při teplotě 20 °C by bylo nejvhodnější zvolit lepidlo Samson super glue extra, které vykazovalo bezesporu nejvyšší hodnotu mediánu meze pevnosti. Stejně tak by tomu bylo v případě hodnocení vlastností lepidel při teplotě 60 °C.

Avšak pokud bychom hodnotili vlastnosti lepidel odlišně, a to z pohledu změny meze pevnosti při zvýšení teploty působící na lepený spoj z 20 °C na 60 °C, pak by jednoznačně nejlepší výsledky vykazovalo sekundové lepidlo Den Braven super glue, kde nebyl patrný tak markantní rozdíl v poklesu pevnosti v porovnání s ostatními sekundovými lepidly.

## 5.2 Nýtování

Dle předpokladu vychází spojení dvou plechů o tloušťce 1,5 mm jako nejpevnější. K porušení spoje došlo stříhem nýtu za působení síly 3670 N. Při kombinaci plechů 1 mm a 1,5 mm byla pro porušení spoje dostačující menší působící síla, přičemž došlo k porušení spoje vytržením nýtu z plechu o tloušťce 1 mm a nedocházelo tedy ke stříhu nýtu. Při zkombinování dvou plechů tlouštěk 1 mm s hliníkovým nýtem, byl spoj opět porušen stříhem nýtu jako u ocelových nýtů spojujících stejně tlusté plechy.



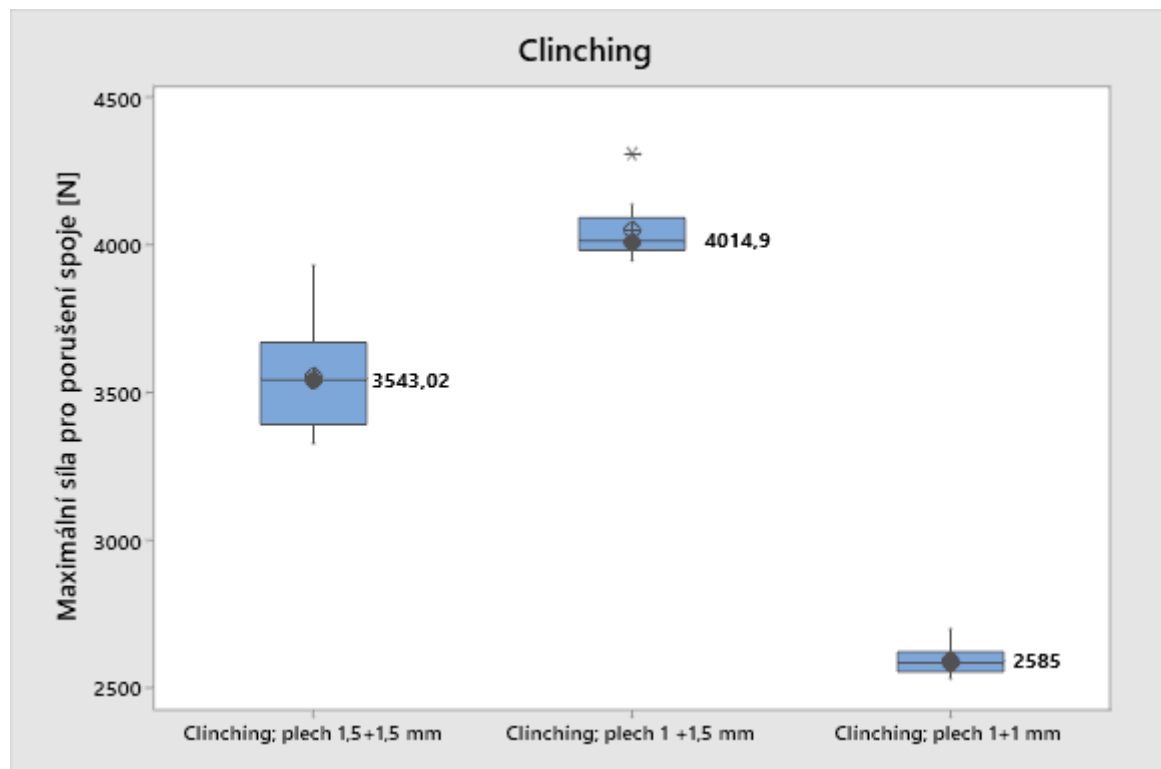
### Statistics

Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Median	Maximum
Nýt ocel; plech 1,5+1,5 mm	12	3801,4	297,7	3501,9	3669,1	4506,0
Nýt ocel; plech 1+1,5 mm	12	3253	360	2600	3266	3908
Nýt hliník; plech 1+1 mm	13	2446,9	191,2	2105,2	2461,3	2733,2

Obr. 27 Graf a statistické hodnocení u metody nýtování

### 5.3 Clinching

Zde je zajímavá skutečnost, že spojování dvou plechů různé tloušťky (1 mm a 1,5 mm) vykazuje větší sílu potřebnou pro porušení spoje, a to 4015 N, oproti spojení dvou plechů s toutéž tloušťkou 1,5 mm. Rapidní pokles síly potřebné k porušení spoje nastává u plechů s nižší tloušťkou 1 mm v porovnání s kombinací plechů 1 mm a 1,5 mm. Dle směrodatné odchylky (StDev) u kombinace plechů tlustých 1 + 1 mm soubor vykazuje velice malý rozptyl hodnot.



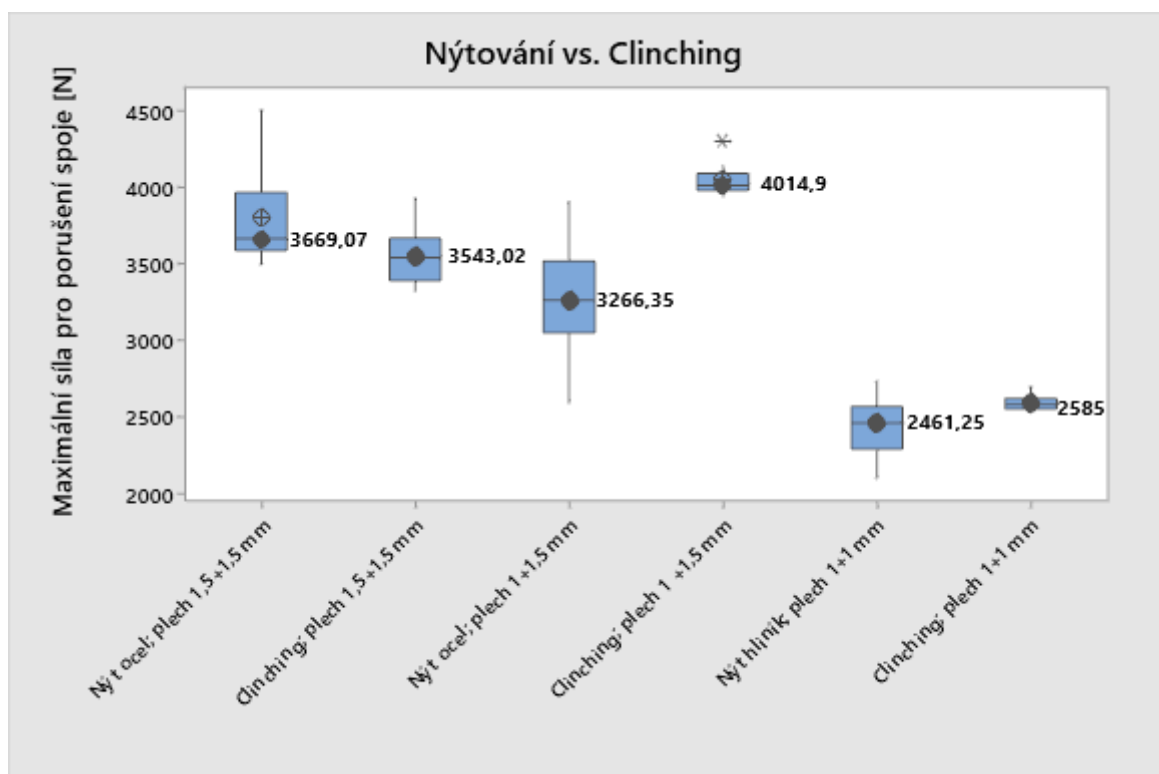
#### Statistics

Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Median	Maximum
Clinching; plech 1,5+1,5 mm	12	3554,0	180,7	3328,0	3543,0	3931,4
Clinching; plech 1 +1,5 mm	12	4053,4	100,0	3948,3	4014,9	4308,3
Clinching; plech 1+1 mm	12	2591,4	46,0	2532,4	2585,0	2699,1

Obr. 28 Graf a statistické hodnocení u metody clinching

## 5.4 Porovnání metod nýtování a clinching

Z grafu na obr. 29 je jasně vidět, že nejvyšší potenciál má clinchovaný spoj o tloušťce spojovaných plechů 1 a 1,5 mm, který vykazuje největší hodnoty sil pro porušení spoje. Při použití plechů o tloušťkách 1,5 mm je vhodnější a spolehlivější metoda nýtování, nicméně rozdíl v hodnotách sil potřebných pro porušení takového spoje, jak u nýtování, tak u clinchingu, není významný. V případě spojování plechů tlustých 1 mm, má clinchovaný spoj lepší vlastnosti než spojení pomocí nýtu.



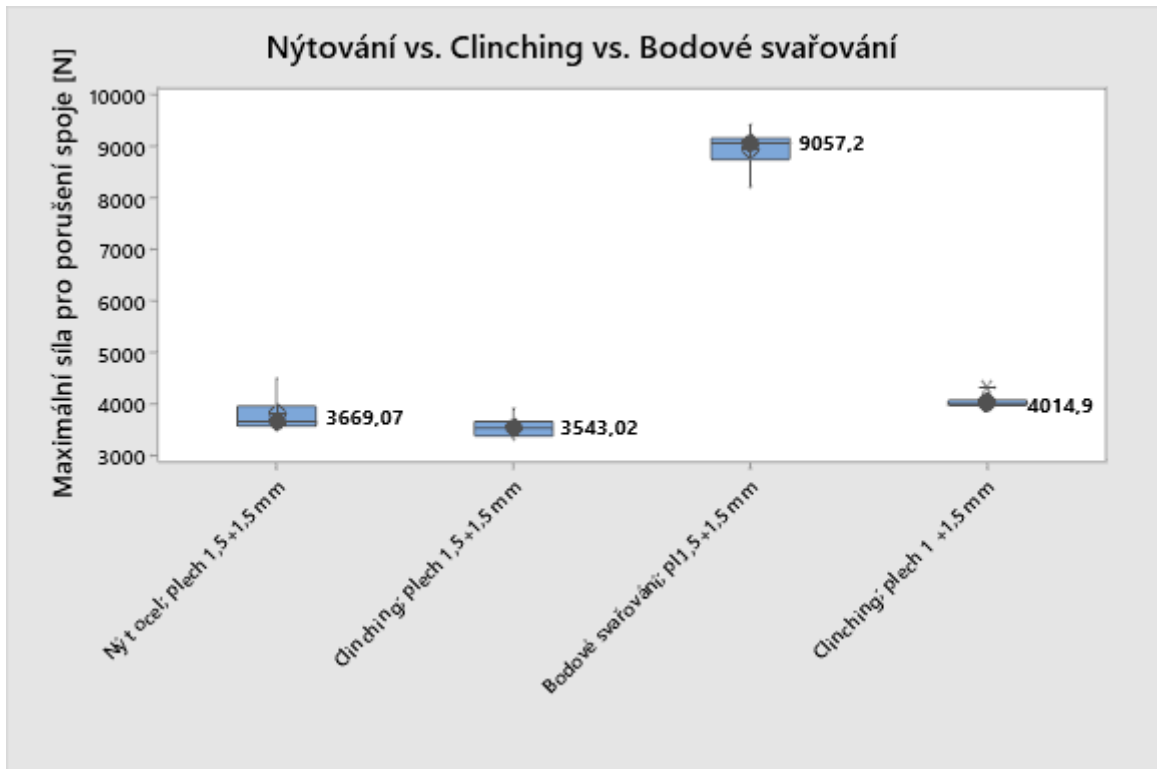
### Statistics

Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Median	Maximum
Nýt ocel; plech 1,5+1,5 mm	12	3801,4	297,7	3501,9	3669,1	4506,0
Clinching; plech 1,5+1,5 mm	12	3554,0	180,7	3328,0	3543,0	3931,4
Nýt ocel; plech 1+1,5 mm	12	3253	360	2600	3266	3908
Clinching; plech 1 +1,5 mm	12	4053,4	100,0	3948,3	4014,9	4308,3
Nýt hliník; plech 1+1 mm	13	2446,9	191,2	2105,2	2461,3	2733,2
Clinching; plech 1+1 mm	12	2591,4	46,0	2532,4	2585,0	2699,1

Obr. 29 Graf a statistické hodnocení při porovnání metody clinchingu a nýtování

## 5.5 Srovnání nýtování, clinchingu a bodového odporového svařování

Porovnání bylo provedeno z důvodu konkurence clinchingu a bodového svařování. Z grafu na obr. 30 je patrné, že bodový svar je téměř třikrát pevnější než ostatní, zde srovnávané, metody spojování. V grafu je také zahrnuto klinčování plechů o tloušťkách 1 + 1,5 mm, které vykazuje větší pevnost spoje i přes spojení dvou tloušťek plechů v porovnání se spojením plechů o tloušťce 1,5 mm, ať už metodou clinchování nebo nýtováním.



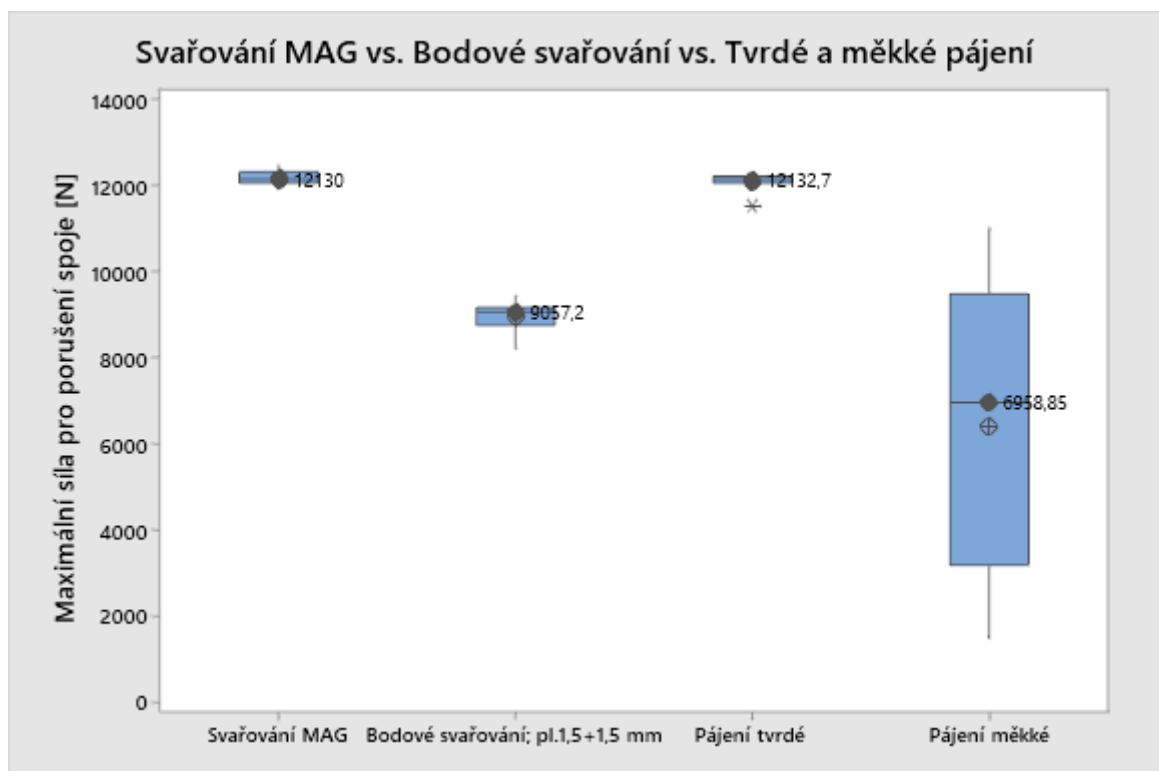
### Statistics

Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Median	Maximum
Nýt ocel; plech 1,5+1,5 mm	12	3801,4	297,7	3501,9	3669,1	4506,0
Clinching; plech 1,5+1,5 mm	12	3554,0	180,7	3328,0	3543,0	3931,4
Bodové svařování; pl. 1,5+1,5 mm	13	8954,5	315,2	8209,3	9057,2	9410,8
Clinching; plech 1 +1,5 mm	12	4053,4	100,0	3948,3	4014,9	4308,3

Obr. 30 Graf a statistické hodnocení při porovnání clinchingu, nýtování a bodového svařování

## 5.6 Porovnání svařování MAG s bodovým odporovým svařováním a s tvrdým a měkkým pájením

Téměř identické hodnoty pevnosti můžeme pozorovat v obr. 31 u metod svařování MAG a tvrdého pájení, což je dáno tím, že nedošlo k porušení spoje, nýbrž k přetržení plechu zkušebního vzorku. Vytvořený spoj je tedy pevnější než samotný materiál. U bodového odporového svařování dojde k porušení spoje při dosažení mediánu síly 9057 N, to je přibližně o 3 kN nižší hodnota, než vydrží samotný materiál plechu. Měkké pájení dosahuje hodnot mediánu sil 6958 N, avšak dosahuje velké diverzity hodnot, což znamená vysokou variabilitu souboru vzorků a to je z hlediska praktické aplikace nevýhodné.



### Statistics

Variable	N	Mean	StDev	Minimum	Median	Maximum
Svařování MAG	13	12164	158	11912	12130	12448
Bodové svařování; pl.1,5+1,5 mm	13	8954,5	315,2	8209,3	9057,2	9410,8
Pájení tvrdé	13	12086	192	11505	12133	12257
Pájení měkké	12	6381	3323	1497	6959	10985

Obr. 31 Graf a statistické hodnocení při porovnání svařování MAG, bodového svařování a tvrdého a měkkého pájení



## 5.7 Technicko-ekonomické zhodnocení lepeného spoje

Zhodnocení slouží k porovnání nákladů na jeden lepený spoj a pevnosti lepeného spoje, proto byl po každých 12 vzorcích vážen úbytek lepidla. Z úbytku lepidla se dopočítávaly náklady na jeden lepený spoj. K propočtům se využívala cena lepidel od různých obchodníků dle internetu a skutečná cena lepidel použitých při experimentu, z nichž se poté vypočetla průměrná cena. Výsledky jsou shrnuty v tabulkách níže. V tabulce 3 není vyobrazen počáteční a konečný stav lepidla, jelikož bylo zapotřebí smísit dvousložkové epoxidové lepidlo ze dvou různých tub externě, a to pro každých 12 zhotovených vzorků. Spotřeba lepidla se vypočítala na základě zvážení lepidla se všemi potřebnými pomůckami (mísicí špachtle), před i po lepení, na nichž po lepení ulpívaly také zbytky lepidla.

Tab. 2 Spotřeba sekundových lepidel a náklady na jeden spoj

Lepidlo	Počáteční stav [g]	Konečný stav [g]	Celková spotřeba lepidla [g]	Spotřeba na jeden lepený spoj [g]	Průměrná cena lepidla o hmotnosti 3 g	Náklady na jeden lepený spoj [Kč]
Den Braven	16,607	15,121	1,486	0,041	11,0	0,151
Den Braven (expirace)	15,168	15,427	1,741	0,048	11,0	0,177
Bison	13,058	11,727	1,331	0,037	25,4	0,313
Samson	12,006	10,230	1,776	0,049	10,8	0,178

Tab. 3 Spotřeba epoxidového lepidla a náklady na jeden spoj

	Spotřeba lepidla (vzorky 1-12) [g]	Spotřeba lepidla (vzorky 13-24) [g]	Spotřeba lepidla (vzorky 25-36) [g]	Celková spotřeba lepidla [g]	Spotřeba na jeden lepený spoj [g]	Průměrná cena lepidla o hmotnosti 15+15 g	Náklady na jeden lepený spoj [Kč]
Ceys epoxi	2,214	1,834	1,814	5,861	0,163	207,4	1,126

Tab. 4 Ceny obchodníků a vypočtené průměrné ceny lepidel

Lepidlo Den braven ceny na trhu - balení 3 g		Lepidlo Samson ceny na trhu - balení 3 g	
Obchodníci	Cena [Kč]	Obchodníci	Cena [Kč]
BM moto	7	Barvy-laky.cz	13
Autorohože.cz	8	Colour Centrum	9
AT obchod	14	RC-auta.eu	10
M.J. s.r.o	14	Z-trade	10
Použité lepidlo	12	Použité lepidlo	12
<b>Průměrná cena</b>	<b>11</b>	<b>Průměrná cena</b>	<b>10,8</b>
<b>Směrodatná odchylka</b>	<b>3,3</b>	<b>Směrodatná odchylka</b>	<b>1,6</b>

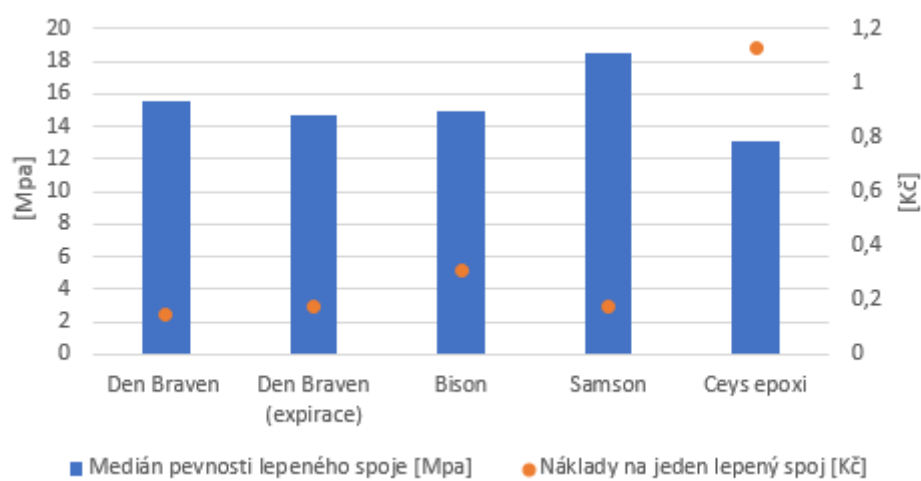
Lepidlo Bison ceny na trhu - balení 3 g		Lepidlo Ceys ceny na trhu - balení 15+15 g	
Obchodníci	Cena [Kč]	Obchodníci	Cena [Kč]
Auto-doplňky	25	Alza.cz	199
Garant-K	28	Balshop.cz	195
AGS	28	Praktis	182
Drostra	24	E-colour	222
Použité lepidlo	22	Použité lepidlo	239
<b>Průměrná cena</b>	<b>25,4</b>	<b>Průměrná cena</b>	<b>207,4</b>
<b>Směrodatná odchylka</b>	<b>2,6</b>	<b>Směrodatná odchylka</b>	<b>22,8</b>

### 5.7.1 Shrnutí technicko-ekonomického zhodnocení

Sekundová lepidla Den Braven super glue a Samson super glue extra mají velmi podobné náklady na jeden lepený spoj. Lepidlo Samson super glue extra však vykazuje vyšší mez pevnosti, což vzhledem k ceně jednoho spoje vychází jako nejvýhodnější volba. Lepidlo Bison super glue je hodnotami meze pevnosti velmi blízký hodnotám lepidla Den Braven super glue, nicméně cena jednoho lepeného spoje je již dvojnásobná. Epoxidové lepidlo Ceys epoxi je, jak je patrné z tab. 4, nejméně výhodné, jelikož cena jednoho lepeného spoje je v porovnání s ostatními lepidly výrazně vyšší a to 1,13 Kč na jeden lepený spoj. Současně vykazuje nejnižší hodnoty meze pevnosti. Z výše uvedeného vyplývá, že sekundové lepidlo Samson super glue extra, vychází z technicko-ekonomického hlediska nejlépe, ať už pro jeho vlastnosti, tak i pro ekonomickou výhodnost.

Tab.5 Medián mezi pevnosti a nákladu na jeden lepený spoj

	Den Braven	Den Braven (expirace)	Bison	Samson	Ceys epoxi
Medián pevnosti lepeného spoje [Mpa]	15,54	14,68	14,94	18,49	13,15
Náklady na jeden lepený spoj [Kč]	0,15	0,18	0,31	0,18	1,13



Obr.32 Náklady na zhotovení jednoho lepeného spoje

## 6 Závěr

V teoretické části diplomové práce byly shrnuty informace o spojování tenkých plechů vybranými metodami, které jsou využívány v průmyslu či v domácích podmínkách. Zvoleny byly metody lepení, nýtování, clinching, tvrdé a měkké pájení a svařování. To bylo dále rozděleno a popsáno v podkapitolách pojednávajících o svařovacích technologiích MIG, MAG, WIG/TIG a o laserovém svařování což jsou zástupci svařování tavného. Další podkapitoly byly věnovány metodě tlakového svařování se zahrnutím odporového bodového a švového svařování. Také byly rozebrány základní pojmy související s metodou nýtování, na níž navazovaly metody RIVSET a clinching.

Experimentální část práce je převážně zaměřena na testování lepeného spoje za různých podmínek. K tomuto experimentu byla zvolena čtyři sekundová lepidla Den Braven super glue, Den Braven super glue po expiraci, Bison super glue, Samson super glue extra a jedno epoxidové dvousložkové lepidlo Ceys epoxi. Testována byla mez pevnosti lepeného spoje za třech různých teplotních podmínek, za teploty pokojové, tedy 20 °C, poté za zvýšené teploty, po ohřátí vzorku na 60 °C, a nakonec za snížené teploty, při podchlazení vzorku na – 40 °C. Po celou dobu měření sil nutných k porušení lepeného spoje bylo nezbytné udržení požadovaných teplot za pomoci různých zařízení (horkovzdušná pistole a chladicí sprej). Zkoumáno bylo také ovlivnění vlastností lepeného spoje po uplynutí doby použitelnosti sekundového lepidla značky Den Braven.

Zjištěno bylo, že uplynutí doby expirace zvoleného sekundového lepidla nemá konkrétně u tohoto testovaného lepidla zásadní vliv na zhoršení vlastností lepeného spoje, zatímco změny teplot ovlivňují kvalitu lepeného spoje podstatně výrazněji. Zkušební vzorky ve většině případů vykazovaly až poloviční pokles meze pevnosti lepeného spoje při zvýšení teploty vzorku. Sekundové lepidlo Den Braven super glue a epoxidové lepidlo Ceys epoxi bylo podrobena zkoušce podchlazením. Předpokladem zde bylo snížení meze pevnosti, což se však nepotvrdilo u lepidla značky Ceys, které vykazovalo ještě větší mez pevnosti než při běžných teplotních podmínkách. U lepidla Den Braven se předpoklad potvrdil, nicméně pokles meze pevnosti při podchlazení nebyl tak razantní.

Vzhledem k zadání diplomové práce bylo žádoucí zaměřit se i na jinou metodu spojování tenkých plechů než metodou lepení. K porovnání byly vybrány následující metody,

nýtování, clinching, svařování MAG, bodové odporové svařování a tvrdé a měkké pájení. Porovnávány byly příbuzné technologie nýtování a clinching. Pro možnost porovnání byly zhotoveny oběma metodami vzorky o stejných parametrech tloušťky materiálu a velikosti spoje. Síla pro porušení spoje se u obou metod zásadně nelišila, pokud byly spojovány dva plechy o stejných tloušťkách. Ve chvíli, kdy došlo ke spojení dvou plechů o různých tloušťkách, byla síla potřebná pro porušení clinchovaného spoje vyšší než u nýtovaného spoje. U clinchingu byla tato potřebná síla vyšší i u spojení tenčího a tlustšího plechu než při spojení dvou tlustších plechů. Dle získaných výsledků je tedy metoda clinching výhodnější při spojování plechů o různých tloušťkách oproti metodě nýtování. Při porovnání nýtování, clinchingu a bodového svařování za použití stejné tloušťky plechu jednoznačně nejvyšší sílu pro porušení spoje vykazuje bodové odporové svařování.

Poslední část práce je věnována technicko-ekonomickému zhodnocení se zaměřením na lepené spoje. Pro spojování tenkých plechů lepením bylo v experimentu bezesporu nejvýhodnější volbou sekundové lepidlo Samson super glue extra, jak pro jeho dobrou odolnost při zvýšených teplotách, tak i pro jeho ekonomickou výhodnost. Volba epoxidového lepidla Ceys epoxi by stála za úvahu ve chvíli, kdy bychom požadovali dobrou kvalitu lepeného spoje za záporných teplot, kdy lepidlo vykazuje vyšší meze pevnosti.

V diplomové práci bylo testováno pouze jedno epoxidové lepidlo, tudíž není možné potvrdit výhodnost použití epoxidových lepidel celkově při lepení v záporných teplotách. V budoucnu by však jistě bylo možné a zajímavé ověřit tuto skutečnost.

## 7 Seznam použitých zdrojů

- [1] PETERKA, Jindřich. *Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství techn. lit, 1980.
- [2] POKORNÝ, Jiří. *Lepení a tmelení v dílně i domácnosti*. 1. vyd. Praha: Grada, 2000. ISBN 8071698571;9788071698579;.
- [3] LANGMAIER, Ferdinand. *Adhese a adhesiva*. 1. vyd. Zlín : FT VUT, 1999. 106 s. ISBN 8021413735.
- [4] BRIŠ, Petr, Jiří KUBĚNA a Jan ŠTRKAŇ. *Lepení v praxi*. První vydání. Praha: Grada Publishing, 2017. ISBN 8027102472;9788027102471;.
- [5] FALTOVÁ, Zuzana. *Lepení kovových materiálů*. Praha, 2017. Diplomová práce (ing.). Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, Katedra materiálu a strojírenské technologie, 2019-03-05
- [6] MRŇA L., *Lepení materiálu* [online]. 2014 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory\\_soubory/hsv\\_\\_specialni\\_metody\\_svarovani\\_\\_lepeni\\_materialu\\_\\_mrna.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/hsv__specialni_metody_svarovani__lepeni_materialu__mrna.pdf)
- [7] POKORNÝ, Jiří. *Lepení a tmelení v dílně i domácnosti*. 1. vyd. Praha: Grada, 2000. ISBN 8071698571;9788071698579;.
- [8] Drobný., *Lepidla.cz* [online]. [cit. 2020-01-21]. Dostupné z: <https://www.lepidla.cz/cs/a/lepeni-plastu.html>
- [9] OSTEN, Miloš. *Práce s lepidly a tmely*. 3. přeprac. a zkrác. vyd. Praha: Grada, 1996. ISBN 8071693383;9788071693383;.
- [10] LEPIDLA.CZ, *Technologie a technika lepení*. [online]. 2016 [cit. 2020-01-21]. Dostupné z: <http://www.lepidla.cz/cs/a/technologie-a-technika-lepeni--zakladni-informace.html>
- [11] Česká svářečská společnost ANB. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 1. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001. ISBN 9788085771817;8085771810;
- [12] Ústav strojírenské technologie, *Technologie svařování* [online]. [cit. 2020-02-27]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/technologie\\_svarovani\\_5te\\_etv\\_etv-k\\_kubicek.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/technologie_svarovani_5te_etv_etv-k_kubicek.pdf)
- [13] LANCASTER, J. F. *Metallurgy of welding*. 6. Cambridge: Abington, 1999. ISBN 9781855734289;1855734281;.
- [14] MIG nebo MAG, *Svarinfo.cz* [online]. 2007, [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: <http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocianku=2007101501>.

- [15] PAŘÍZEK, P., MIG pájení, *Svarinfo.cz* [online]. 2007, [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: <http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2007101201>.
- [16] KOŘÁN, Pavel. Laserové svařování. *Mmspektrum.com* [online]. [cit. 2020-03-04]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/laserove-svarovani.html>
- [17] NOVÁK, Miroslav. Základní přehled průmyslových laserů. *Lao.cz* [online]. [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---hlavni-typy-laseru-pouzivanych-v-prumyslu-128>
- [18] Švové svařování. *Rockweld.cz* [online]. [cit. 2020-03-07]. Dostupné z: <https://www.rockweld.cz/svove-svarovani/>
- [19] BROŽEK, Milan a Česká zemědělská univerzita v Praze. Katedra materiálu a strojírenské technologie. *Strojírenská technologie I: návody ke cvičením*. Vyd. 2., přeprac., rozš. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2008. ISBN 9788021317802;8021317809;.
- [20] BROŽEK, Milan. Soldering sheets using soft solders. *Acta Universitatis Agriculturae Et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2013, vol. 61, no. 6, s. 1597-1604. ISSN 1211-8516.
- [21] FISCHER, Ulrich. *Základy strojírenství*. Vyd. 1. Praha: Europa-Sobotáles, 2004. ISBN 8086706095;9788086706092;.
- [22] DANĚK, Otakar a Nikolaj M. GORBATOV. *Nýtování v letectví a v podobné výrobě*. 1. vyd. Praha: Práce, 1951.
- [23] Lisovací nýtovací systémy RIVSET. *Boellhoff.com* [online]. [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: <https://www.boellhoff.com/cz-cs/vyrobky-a-sluzby/montazni-technika/nytovaci-systemy-rivset.php>
- [24] HE, X. Clinching for Sheet Materials. *Science and Technology of Advanced Materials*, 12, 2017, vol. 18, no. 1 ProQuest Central. ISSN 14686996. DOI <http://dx.doi.org.ezproxy.techlib.cz/10.1080/14686996.2017.1320930>.
- [25] Clinching a spojování plechů. *Cz.tox-pressotechnik.com* [online]. [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: <https://cz.tox-pressotechnik.com/aplikace/klincovani/spojovani-technologie-tox/>
- [26] Clinching a spojování plechů. *Www.mmspektrum.com* [online]. [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/clinching-prinasi-moznosti-spojovani-plechu-za-studena.html>
- [27] ČSN EN 1465. (2009): Lepidla - Stanovení pevnosti ve smyku při tahovém namáhání přeplátovaných lepených sestav. Praha: ČNI.
- [28] Vlastní zdroj
- [29] Standard machines for clinching. *Bollhoff-attexor.com* [online]. [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: <https://bollhoff-attexor.com/en/products/portable-standalone>

[30] Den Braven sekundové lepidlo-technický list. *Denbraven.cz* [online]. [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: <https://www.denbraven.cz/produkt/sekundove-lepidlo-super-glue/>

[31] Informace z obalu lepidel

[32] Bison super glue - technický list. *Www.lepidla.cz* [online]. [cit. 2020-03-26]. Dostupné z: [https://www.lepidla.cz/upload/files/17960\\_bison-super-glue-gel-3-ml\\_17960.pdf](https://www.lepidla.cz/upload/files/17960_bison-super-glue-gel-3-ml_17960.pdf)

[33] Samson super glue extra-technický list. *Www.olejeimaziva.cz* [online]. [cit.2020-03-26]. Dostupné z: [https://www.olejeimaziva.cz/fotky69283/fotov/\\_ps\\_7476699\\_13\\_samson-super-glue-extra\\_cz-6699.pdf](https://www.olejeimaziva.cz/fotky69283/fotov/_ps_7476699_13_samson-super-glue-extra_cz-6699.pdf)



## 8 Seznam obrázků

<i>Obr. 1 Adheze a koheze [6]</i> .....	14
<i>Obr.2 Kapková metoda [8]</i> .....	15
<i>Obr. 3 Příklady konstrukčních provedení spojů [10]</i> .....	17
<i>Obr.4 Princip svařování metodou MIG/MAG [12]</i> .....	20
<i>Obr.5 Geometrie aktivního prostředí [17]</i> .....	22
<i>Obr.6 Princip odporového svařování [11]</i> .....	23
<i>Obr.7 Princip švového odporového svařování se dvěma elektrodovými kotouči [18]</i> .....	25
<i>Obr. 8 Princip nýtovaného spoje [21]</i> .....	28
<i>Obr. 9 Princip samoděrovacího nýtování [23]</i> .....	30
<i>Obr. 10 Princip vzniku spoje metodou clinching [24]</i> .....	31
<i>Obr. 11 Řez spoje metodou clinching [25]</i> .....	31
<i>Obr. 12 Schéma zkušební vzorku dle ČSN EN 1465 [27]</i> .....	33
<i>Obr.13 Clinchovací stroj [29]</i> .....	37
<i>Obr. 14 Svařovací zdroj KIT 2200 [28]</i> .....	38
<i>Obr. 15 Odporové svařovací kleště [28]</i> .....	38
<i>Obr.16 Univerzitní zkušební trhací zařízení LabTest 5.50ST [28]</i> .....	40
<i>Obr. 17 Způsob ohřívání vzorků pomocí horkovzdušné pistole [28]</i> .....	42
<i>Obr. 18 Princip podchlazování vzorků pomocí chladicího spreje [28]</i> .....	43
<i>Obr. 19 Podchlazený vzorek v čelistech trhacího stroje [28]</i> .....	44
<i>Obr. 20 Graf a statistické hodnocení vlastností lepidla Den Braven super glue</i> .....	46
<i>Obr. 21 Graf a statistické hodnocení vlastností lepidla Ceys epoxi</i> .....	47
<i>Obr. 22 Graf a statistické hodnocení vlastností lepidla Den Braven super glue při srovnání v datu a po datu expirace</i> .....	48
<i>Obr.23 Graf a statistické hodnocení lepidla Bison super glue</i> .....	49
<i>Obr.24 Graf a statistické hodnocení lepidla Samson super glue extra</i> .....	50
<i>Obr.25 Graf a statistické hodnocení při porovnání všech lepidel při teplotě 20 °C</i> .....	51
<i>Obr.26 Graf a statistické hodnocení při porovnání všech lepidel při teplotě 60 °C</i> .....	52
<i>Obr. 27 Graf a statistické hodnocení u metody nýtování</i> .....	53
<i>Obr. 28 Graf a statistické hodnocení u metody clinching</i> .....	54
<i>Obr. 29 Graf a statistické hodnocení při porovnání metody clinchingu a nýtování</i> .....	55
<i>Obr. 30 Graf a statistické hodnocení při porovnání clinchingu, nýtování a bodového svařování</i> .....	56

<i>Obr. 31 Graf a statistické hodnocení při porovnání svařování MAG, bodového svařování a tvrdého a měkkého pájení .....</i>	<i>57</i>
<i>Obr.32 Náklady na zhotovení jednoho lepeného spoje .....</i>	<i>60</i>

## 9 Seznam tabulek

<i>Tab. 1 Naměřené hodnoty drsnosti povrchu vzorků .....</i>	<i>36</i>
<i>Tab. 2 Spotřeba sekundových lepidel a náklady na jeden spoj .....</i>	<i>58</i>
<i>Tab. 3 Spotřeba epoxidového lepidla a náklady na jeden spoj .....</i>	<i>58</i>
<i>Tab. 4 Ceny obchodníků a vypočtené průměrné ceny lepidel.....</i>	<i>59</i>
<i>Tab.5 Medián mezi pevnosti a nákladu na jeden lepený spoj .....</i>	<i>60</i>