

**Česká zemědělská univerzita**

**Technická fakulta**

**Katedra materiálu a strojírenské technologie**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Jiří Wolf

**Spojování tenkých plechů**

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

Studijní obor: **Silniční a městská automobilová doprava**

**Praha 2012**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Technická fakulta

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Wolf Jiří

Silniční a městská automobilová doprava

### Název práce

Spojování tenkých plechů

### Anglický název

Joining of thin metal sheets

---

### Cíle práce

- shromáždit informace o různých metodách spojování tenkých plechů a jejich využití v praxi,
- experimentálně stanovit pevnost spojů tenkých plechů zhotovených vybranými technologiemi.

### Metodika

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

### Osnova práce

1. Úvod.
2. Podstata, výhody a nevýhody různých technologií spojování tenkých plechů.
3. Praktické použití různých technologií pro spojování tenkých plechů.
4. Experimentální stanovení pevnosti spojů tenkých plechů zhotovených vybranými technologiemi.
5. Závěr.

## Rozsah textové části

60 stran

## Klíčová slova

tenké plechy, technologie spojování tenkých plechů, pevnost spojů tenkých plechů

## Doporučené zdroje informací

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

## Vedoucí práce

Brožek Milan, prof. Ing., CSc.

## Termín zadání

listopad 2010

## Termín odevzdání

duben 2012



Vedoucí katedry



Děkan fakulty

V Praze dne 31.1.2011

### **Čestné prohlášení**

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

V Praze dne: 9.4.2012

Podpis: .....

## **Poděkování**

V první řadě bych chtěl poděkovat Prof. Ing. Milanu Brožkovi, CSc. za vedení při zpracování mé diplomové práce. Dále děkuji firmě Böllhoff za zhotovení některých vzorků a všem ostatním, kteří mi byli při mé práci nápomocni.

## **Abstrakt**

Cílem vypracování diplomové práce na téma „spojování tenkých plechů“ bylo popsat jednotlivé technologie spojování tenkých plechů a stanovit jejich smykovou pevnost.

V první části práce je popsán úvod do problematiky, kategorizace spojů a jednotlivé technologie spojování tenkých plechů, kterými jsou svařování, pájení, nýtování a lepení. U těchto technologií je rozebírána jejich podstata, výhody, nevýhody a metody používané v praxi. Dále se práce zabývá využitím jednotlivých technologií v průmyslu a to zejména v automobilovém.

Druhá část práce je zaměřena na zjištění a vyhodnocení smykové pevnosti spojů zhotovených pomocí jednotlivých technologií. Výsledky zkoušek jsou popsány, sloučeny a graficky znázorněny v grafech.

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

## **Abstract**

The aim of preparing thesis on a topic, joining thin sheet metal "to describe each technology joining thin sheets and lay down the smykovou the strength of the joints.

In the first part of the work describes the introduction to, categorization, and each technology merger of thin metal sheets, welding, soldering, riveting and adhesive bonding. For these technologies is rozebírána their nature, advantages, disadvantages and methods used in practice. Furthermore, the work deals with the use of various technologies in industry and in particular in the automotive.

The second part of the work is focused on the identification and assessment of shear strength of connections made using various technologies. The results of the tests are described, merged and graphically represented in the charts.

**Keywords:** thin sheets, technology merger thin sheets, strength of joints of thin sheets

## Obsah:

<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>1</b>
1.1 ROZDĚLENÍ SPOJŮ .....	1
<b>2 PODSTATA, VÝHODY A NEVÝHODY RŮZNÝCH TECHNOLOGIÍ SPOJOVÁNÍ TENKÝCH PLECHŮ</b> .....	<b>3</b>
2.1 SVAŘOVÁNÍ – PODSTATA, VÝHODY, NEVÝHODY, METODY UŽÍVANÉ V PRAXI.....	3
2.1.1 Podstata.....	3
2.1.2 Svařitelnost ocelí .....	4
2.1.3 Přídavné materiály pro svařování .....	5
2.1.4 Výhody a nevýhody svařování .....	5
2.1.5 Metody užívané v praxi.....	6
2.1.5.1 Svařování laserem .....	6
2.1.5.2 Svařování TIG/WIG .....	7
2.1.5.3 Svařování MIG/MAG .....	8
2.2 PÁJENÍ – PODSTATA, VÝHODY, NEVÝHODY, METODY UŽÍVANÉ V PRAXI .....	9
2.2.1 Podstata.....	9
2.2.2 Pájitelnost materiálů .....	10
2.2.3 Přídavné materiály pro pájení.....	10
2.2.2 Výhody a nevýhody pájení .....	12
2.2.3 Metody užívané v praxi.....	13
2.2.3.1 MIG pájení.....	13
2.2.3.2 Pájení laserem .....	14
2.2.3.3 Pájení plamenem .....	14
2.3 NÝTOVÁNÍ – PODSTATA, VÝHODY, NEVÝHODY, METODY UŽÍVANÉ V PRAXI.....	15
2.3.1 Podstata.....	15
2.3.2 Nýty.....	16
2.3.3 Výhody a nevýhody nýtování.....	17
2.3.4 Metody užívané v praxi.....	17
2.3.4.1 Radiální nýtování .....	17
2.3.4.2 Orbitální nýtování.....	18
2.3.4.3 Kovářské nýtování.....	18
2.3.5 Nekonvenční metody užívané v praxi.....	19
2.3.5.1 Nýtování narážecím nýtem.....	19
2.3.5.2 Clinching .....	20
2.3.5.3 Metoda nastřelování čepu RIVTAC.....	21
2.4 LEPENÍ – PODSTATA, VÝHODY, NEVÝHODY .....	22
2.4.1 Podstata.....	22
2.4.2 Rozdělení lepidel.....	24

2.4.2.1	Lepidla tavná.....	24
2.4.2.2	Lepidla citlivá na tlak .....	24
2.4.2.3	Lepidla roztoková a disperzní.....	24
2.4.2.4	Lepidla vytvrzující chemickou reakcí .....	25
2.4.3	Výhody a nevýhody lepení .....	26
<b>3</b>	<b>PRAKTICKÉ POUŽITÍ RŮZNÝCH TECHNOLOGIÍ PRO SPOJOVÁNÍ PLECHŮ .....</b>	<b>27</b>
3.1	AUTOMOBILOVÝ PRŮMYSL .....	27
3.1.1	Technologie svařování v automobilovém průmyslu .....	27
3.1.2	Technologie pájení v automobilovém průmyslu .....	27
3.1.3	Technologie lepení v automobilovém průmyslu .....	28
3.1.4	Technologie clinching a nýtování v automobilovém průmyslu .....	28
3.2	OSTATNÍ DOPRAVNÍ PRŮMYSL.....	29
3.2.1	Technologie svařování v lodním průmyslu .....	29
3.2.2	Technologie nýtování v leteckém průmyslu.....	29
3.2.3	Technologie lepení v leteckém průmyslu .....	29
3.3	OBECNÝ PRŮMYSL .....	30
3.3.1	Technologie svařování při tvorbě konstrukcí .....	30
3.3.2	Technologie pájení v elektroprůmyslu.....	30
3.3.3	Technologie nýtování při tvorbě konstrukcí.....	30
3.3.4	Technologie lepení v elektrotechnickém průmyslu .....	30
3.3.5	Technologie clinching ve výrobě bílé techniky.....	30
<b>4</b>	<b>EXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ PEVNOSTI SPOJŮ TENKÝCH PLECHŮ ZHOTOVENÝCH VYBRANÝMI TECHNOLOGIEMI.....</b>	<b>32</b>
4.1	PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ.....	32
4.1.1	Výroba svarových spojů.....	32
4.1.2	Výroba pájených spojů.....	33
4.1.3	Výroba nýtových spojů.....	34
4.1.4	Výroba spojů nekonvenčních metod spojování.....	35
4.1.5	Výroba lepených spojů.....	36
4.2	ZKOUŠENÍ .....	37
4.3	MATEMATICKÉ VZTAHY POUŽITÉ KE STANOVENÍ VÝSLEDKŮ.....	38
4.3.1	Výpočet a definice mechanických vlastností.....	38
4.3.2	Statistické vzorce.....	40
4.4	VYHODNOCENÍ EXPERIMENTŮ A JEJICH DISKUZE .....	41
4.4.1	Zkoušení vlastností základního materiálu .....	41
4.4.2	Svařování .....	41
4.4.3	Pájení.....	43
4.4.4	Nýtované spoje .....	45



4.4.5	Nekonvenční metody spojování .....	46
4.4.6	Lepené spoje .....	48
4.4.7	Absolutní porovnání jednotlivých metod spojování .....	50
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>52</b>
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY: .....	54
	ELEKTRONICKÉ ZDROJE: .....	57
	SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ:.....	60
	PŘÍLOHY.....	I-V

# 1 Úvod

Diplomová práce se týká problematiky spojování tenkých plechů pomocí různých technologií, jako je svařování, pájení, lepení, nýtování a dalších metod. Spojování tenkých plechů je uplatněno v mnoha průmyslových odvětvích.

V moderním průmyslu nutí tlak konkurence vyvíjet stále nové metody spojování plechů za účelem zvýšení produktivity výroby a ušetření nákladů. Dalším kritériem je rozšiřování používání galvanizovaných plechů nebo jinak povrchově upravených plechů, u kterých při volbě nesprávné technologie bývá povrchová úprava narušena. Také jsou v průmyslu čím dál více využívány různé lehké neželezné kovy za účelem snížení hmotnosti výrobků, které se velmi často mezi sebou kombinují.

Volba technologie závisí na velikosti zatížení, rychlosti vytvoření spoje, druhu spojovaných materiálů, kombinaci materiálů, ale i na celkovém vzhledu spoje. V mnoha případech bývají technologie kombinovány pro dosažení optimálních vlastností spoje. Kombinované spoje uplatňují výhody použitých technologií a zároveň potlačují jejich nevýhody.

Cílem diplomové práce je srovnávání smykové pevnosti spojených plechů pomocí různých metod. Výsledky práce mohou pomoci při technických úkolech a správné volbě technologie spojování tenkých plechů.

## 1.1 Rozdělení spojů

Části spojované a části spojovací vzájemně tvoří celek, který nazýváme spoj. Sestavování těchto součástí se nazývá spojování.

Při spojování součástí jsou dvě nebo více součástí spojeny v jeden pevný celek prostřednictvím [41]:

**1. Spojovacích prvků** – šrouby, kolíky, nýty, čepy, spony

**2. Spojovacích technologií** – svařování, pájení, lepení, nýtování, clinching

**3. Tváření** – lemování, obrubování, vroubkování

**Z hlediska rozebíratelnosti spoje dělíme na [41]:**

**a) Rozebíratelné spoje**

U tohoto druhu spoje lze provést demontáž bez poškození spojených materiálů nebo součástí. Jsou vhodné všude tam, kde je třeba často a rychle spojené strojní součásti uvolnit, demontovat nebo nahradit opotřebované součásti novými.

Druhy rozebíratelných spojů:

- Šroubové spoje

**b) Nerozebíratelné spoje**

Jsou spoje, u kterých je demontáž možná pouze s poškozením spojovaných materiálů.

Druhy nerozebíratelných spojů:

- Svařování
- Pájení
- Lepení
- Lisování
- Nýtování

**Z hlediska fyzikální podstaty spoje dělíme na [41]:**

**1. Spoje s tvarovým stykem** – kolíkové, čepové, spoje s lícovaným šroubem. Síly se přenášejí přes tvar součástí.

**2. Spoje se silovým stykem** – šroubové spoje, nýtové spoje, svěrné spoje, pružné spoje. Zatížení se přenáší třením.

**3. Spoje s materiálovým stykem** – svařované, pájené a lepené spoje. Zatížení se přenáší přes přidaný materiál do spoje.

## 2 Podstata, výhody a nevýhody různých technologií spojování tenkých plechů

V této kapitole jsou podrobně popsány různé technologie spojování tenkých plechů, podstata, výhody, nevýhody a metody využívané v praxi.

### 2.1 Svařování – podstata, výhody, nevýhody, metody užívané v praxi

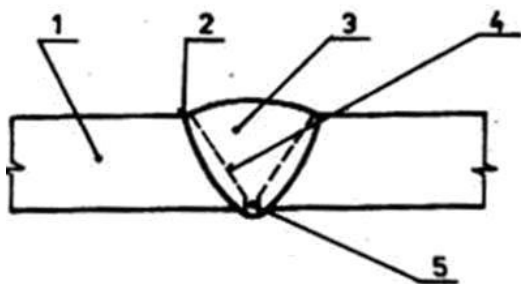
V této kapitole je popsána technologie svařování.

#### 2.1.1 Podstata

Svařování je definováno jako proces zhotovení nerozebíratelných spojů dosažením meziatomových vazeb mezi spojovanými součástmi při jejich ohřevu nebo plastické deformaci nebo při společném působení obou [8].

Při svařování dojde ke svaření dvou nebo více základních materiálů ve svarovém spoji. Při tom se k vytvoření svarového spoje použije nebo nepoužije přídavný materiál, který umožní nebo usnadní vytvoření svarového spoje [11].

Obr. 1 Základní názvy svarového spoje



**základní názvy svarového spoje:**

- 1 - základní materiál,
- 2 - okraj svaru,
- 3 - svarový kov,
- 4 - svarová plocha,
- 5 - kořen svaru

#### Svarový spoj

Svarový spoj je nerozebíratelné spojení zhotovené svařováním [11].

## **Svar**

Je část svarového spoje, vytvořená v důsledku krystalizace roztaveného kovu (v případě tavného svařování) nebo plastické deformace (svařování s použitím tlaku) [11].

## **Teplem ovlivněná oblast**

Je částí základního materiálu, která nebyla roztavená, ale její struktura a vlastnosti se změnilly v důsledku ohřevu při tavném svařování [11].

## **Druhy svařování**

Podle způsobu vytvoření spoje se dělí svařování na [11]:

- 1. Svařování za působení tepla** – vyvolané místním ztavením spojovaných částí bez použití tlaku
- 2. Svařování za působení tlaku** – k dokonalému svaření dílů je třeba působení tlaku
- 3. Svařování za působení tepla a tlaku** – během svařovacího procesu je pro spojení využíváno tepla a tlaku

### **2.1.2 Svařitelnost ocelí**

Svařitelnost je jedna z nejdůležitějších vlastností, kterou je třeba znát a je závislá na [8]:

- Množství přivedeného tepla
- Rychlost jeho odvodu ze svarového spoje
- V souvislosti s chemickým složením materiálů

Podle chemického složení, tloušťky výrobku a dalších faktorů se svařitelnost zkouší a klasifikuje do následujících skupin [8]:

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

Při dodržení specifických technologických podmínek jsou svařitelné i litiny, slitiny mědi, hliníku, titanu, olova a další kovy.

### **2.1.3 Přídavné materiály pro svařování**

Při metodách tavného svařování je většinou nutno do místa svaru přidávat přídavný materiál. Tento materiál je při přechodu do svaru taven elektrickým obloukem nebo plamenem, kde se smísí s roztaveným základním materiálem a tvoří tak svarový kov svarového spoje. Volba tvaru a velikosti přídavného materiálu závisí na druhu svařování. V současné době jsou nejvíce používány svařovací dráty. Elektroda pro ruční obloukové svařování je tvořena drátem, na jehož povrchu je obal z keramických nebo kovových látek. Samotný obal výrazně ovlivňuje vlastnosti elektrody a během svářecího procesu má za úkol [3]:

- Stabilizovat hoření oblouku
- Čistit svarový kov
- Chránit tekutý kov před přístupem vzduchu
- Zvyšovat produktivitu práce

### **2.1.4 Výhody a nevýhody svařování**

V této kapitole jsou popsány výhody a nevýhody svařování.

#### **Výhody**

- Vysoká pevnost a dlouhodobá jakost spoje
- Zvýšení tuhosti konstrukce
- Možnost uplatnění optimální kombinace materiálů
- Možnost automatizace procesu
- Zvyšování produktivity práce a snižování výrobních nákladů
- Jednoduchá možnost oprav konstrukcí

#### **Nevýhody**

- Deformace u nesprávně navržených spojů menších součástí
- Nedodržením správného postupu nemusí svary vyhovovat pevnostně a jakostně
- Při ochlazení po svařování je riziko zakalení

- Při tavném svařování je vysoký požadavek na manuální zručnost pracovníka

## **2.1.5 Metody užívané v praxi**

V této kapitole jsou popsány metody svařování pro spojování tenkých plechů.

### **2.1.5.1 Svařování laserem**

V devadesátých letech minulého století prodělala technologie laserového svařování poměrně dynamický vývoj s ohledem na nové aplikace. Z části díky vývoji výkonnějších a nových typů laserů, z části též díky širšímu používání nových moderních materiálů, které jsou jinými metodami těžce svařitelné. V nemalé míře se o tento rozvoj přičinily též rostoucí požadavky na zvyšování produktivity výroby a opakovatelnosti technologického procesu [34].

Při tavném svařování je pro vytvoření svarového spoje velmi důležitý minimální energetický vstup. Čím nižší je energie vstupující do technologického procesu, tím menším deformacím svarek podléhá. Laser je schopen dodávat vstupující energii ve velmi zfokusované formě, což umožňuje vytvořit hluboký a úzký svar s minimálním teplotně ovlivněným pásmem. Navíc, protože objem roztavené oceli je velmi malý, je možno pracovat i při větších tloušťkách bez přídavného materiálu [48].

Vynikajícím materiálem pro svařování laserem jsou nerezavějící oceli, kde se dosahují homogenní svary bez pórů, dále nízkouhlíkové oceli s obsahem uhlíku do 0,3 % bez výrazných znečišťujících příměsí a s nízkým obsahem síry. Vhodnými materiály pro laserové svařování jsou i méně obvykle používané materiály, jako titanové a zirkonové slitiny a některé slitiny s relativně nízkou elektrickou vodivostí bez prchavých příměsí. Kovy jako hliník nebo měď nejsou příliš vhodné z důvodu vysoké reflexivity povrchu vůči CO<sub>2</sub> záření a vyžadují proto použití speciálního postupu a velkou opatrnost. Oceli s vysokým obsahem uhlíku nebo materiály obsahující vměstky (např. mnohé vysoko legované slitiny) jsou svařitelné speciálními svařovacími technologickými postupy a musí být podrobeny tepelnému zpracování před nebo po svařování. Materiály obsahující prchavé příměsí nejsou vhodné pro svařování laserem. Typickým příkladem těchto materiálů jsou mosazi, magnetické slitiny a zinek [48].

Hlavní předností svařování laserem oproti jiným metodám svařování je kvalita svaru, lepší průvar, menší tepelně ovlivněná zóna, vysoká produktivita práce a v neposlední řadě pak výborný povrchový vzhled.

### **2.1.5.2 Svařování TIG/WIG**

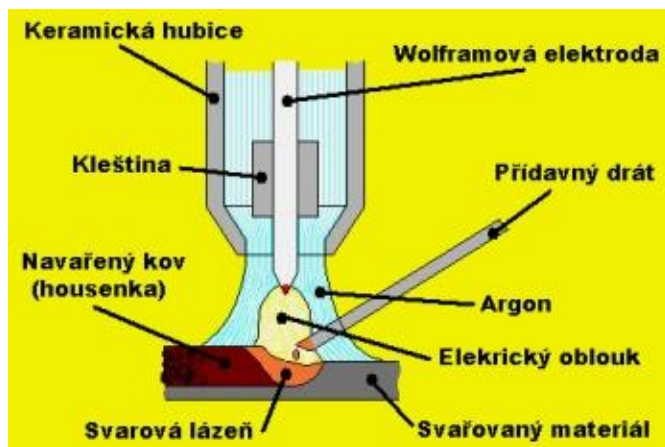
Základním prvkem svařovací metody TIG je neodtavující se teplotně stálá legovaná wolframová elektroda. Oblouk, který z ní vychází, ohřívá materiál a převádí jej do kapalného stavu. Pokud je to žádoucí, uskutečňuje se přísun svařovacího drátu buď rukou, nebo prostřednictvím podavače. Malá svarová spára nepotřebuje v mnoha případech žádný přídavný materiál. Zapálení oblouku probíhá obvykle bez dotyku legované wolframové elektrody se svarkem. K tomu účelu slouží zdroj vysokého napětí, který se při zapalování na přechodnou dobu připojí. Vlastní svařování se u většiny kovů uskutečňuje pomocí stejnosměrného proudu. Pouze hliník se svařuje střídavým proudem [45].

Kolem legované wolframové elektrody je umístěná tryska pro ochranný plyn. Proud vytékajícího plynu chrání rozžhavený materiál před chemickými reakcemi s okolním vzduchem a zaručuje tak deklarovanou pevnost a houževnatost svarového kovu. Jako ochranné plyny slouží vzácné plyny, argon, hélium a jejich směsi. V jednotlivých případech se používá také vodík. Všechny tyto plyny jsou netečné, na což poukazuje jejich z řečtiny převzaté odborné označení „inertní“. Z druhu ochranného plynu a materiálu elektrody vychází název WIG (Wolfram – Inert – Gas = wolfram – inertní – plyn). S anglickým názvem pro wolfram, tungsten, pak nese tento svařovací postup označení TIG (Tungsten – Inert – Gas) [45].

Svařování TIG zajišťuje výjimečně čisté a vysoce kvalitní svary. Protože nevzniká žádná struska, je sníženo na minimum riziko vměstků ve svarovém kovu a hotové svary nevyžadují čištění. Metodu TIG lze použít téměř pro všechny kovy a hodí se jak pro ruční, tak pro automatizované svařování. Nejvíce se užívá na svařování hliníku a nerezavějících ocelí, kde je absolutně nejdůležitější celistvost svaru [43].



Obr. 2 Svařování metodou TIG



### 2.1.5.3 Svařování MIG/MAG

Jedná se o svařování, kdy oblouk a svarová lázeň jsou chráněny proudem inertního nebo aktivního plynu. Při svařování MIG/MAG plní odtavující se elektroda současně funkci přídavného materiálu i nositele oblouku. „Nekonečný“ svařovací drát se přes dvě nebo čtyři posuvové kladky zavádí do svařovacího hořáku, kde v takzvané kontaktní trubici dochází k přestupu proudu. Volný konec drátu je soustředně obklopený plynovou hubicí. Vytékající ochranný plyn brání chemickým reakcím žhavého povrchu obrobku s okolním vzduchem, čímž se zachovává pevnost a houževnatost svarového kovu. Ve funkci ochranného plynu se používají jak inertní, tak i aktivní plyny. Proto mluvíme o svařování Metal – Inert – Gas (= kov – inertní – plyn, MIG) Metal – Aktiv – Gas (= kov – aktivní – plyn, MAG) [36].

Zodpovědnost za podobu svaru a za přechod materiálu má kromě chování oblouku a tavného výkonu také ochranný plyn. Jako inertní plyny figurují především vzácné plyny argon a hélium a rovněž jejich směsi. Inertní plyny se hodí pro všechny kovy mimo ocele, zejména pro hliník a měď. Aktivními plyny jsou převážně směsi plynů vytvořené na základě argonu, avšak obsahující navíc ještě podíly kyslíku nebo oxidu uhličitého. Tyto plyny poměrně snadno reagují. Aktivní plyny jsou vhodné pro nerezavějící, vysokolegované druhy ocelí a rovněž pro nízkolegované nebo nelegované ocele. S určitými omezeními je pro nelegované nebo nízkolegované ocele vhodný jako aktivní plyn i samotný oxid uhličitý [36].

Alternativu k ochranným plynům představuje použití trubičkových (plněných) drátů s náplní, která se v elektrickém oblouku odpařuje a tímto způsobem rovněž vytváří

ochrannou atmosféru. Trubičkové dráty zaručí spolehlivou plynovou ochranu i při průvanu [36].

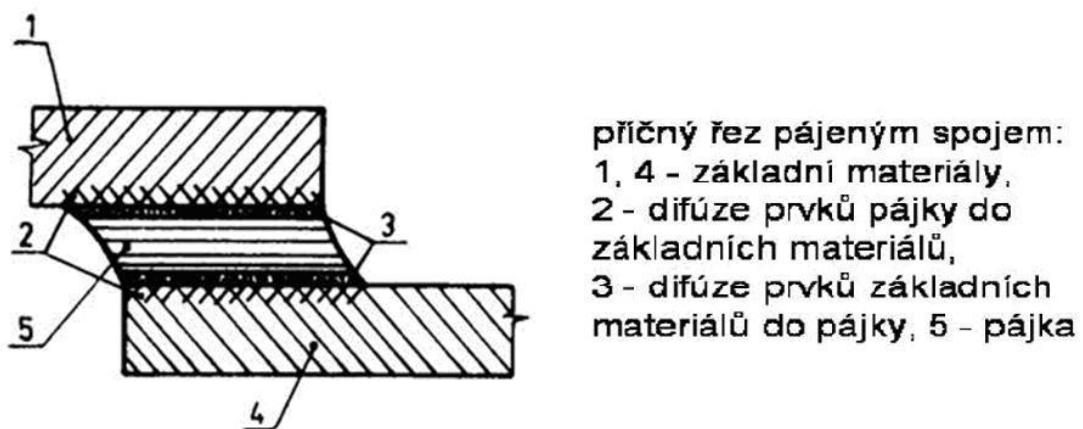
## 2.2 Pájení – podstata, výhody, nevýhody, metody užívané v praxi

V této kapitole je popsána technologie pájení.

### 2.2.1 Podstata

Pájení je možno definovat jako fyzikálně chemický děj, při kterém při určité pracovní teplotě se difúzně spájí roztavená pájka se základním materiálem, přičemž pájené plochy nejsou nataveny, pouze jsou smáčeny danou pájkou. Při pájení je velmi důležitá velikost pracovní teploty, roztékavost, vzlínavost, smáčivost základního materiálu. Difúze při pájení je jev, při kterém se přemísťují atomy z pájky do základního materiálu a naopak [27].

Obr. 3 Příčný řez pájeným spojem



### Pájka

Pod pojmem pájka se rozumí přídavný materiál, díky kterému vznikne pájený spoj.

### Roztékavost pájky

Je definována jako schopnost pájky (tavidla) se roztéci po vodorovném povrchu základního materiálu. Její velikost se udává v  $\text{mm}^2$  plochy, kterou zaujme přesně definovaný vzorek pájky [27].

## **Vzlínavost**

Vzlínavost pájky je definována jako schopnost tekuté pájky vyplnit při pracovní teplotě úzkou mezeru spoje působením kapilárních sil. Velikost kapilárních sil se určí dle zákonů hydromechaniky pro laminární proudění [27].

## **Smáčivost**

Je schopnost tekuté pájky nebo tavidla přilnout k čistému povrchu základního materiálu při dané pracovní teplotě. Při smáčení zaujme kapka roztavené pájky takový tvar povrchu, při kterém je energie systému základní materiál – roztavená pájka – tavidlo minimální a mohou se uplatnit mezi atomové vazby [27].

## **Pracovní teplota pájení**

Pracovní teplota pájení se odvíjí od použitého způsobu pájení. Podle teploty tavení pájky rozdělujeme pájení na:

**1. měkké pájení** – pracovní teplota do 450°C

**2. tvrdé pájení** – pracovní teplota nad 450°C

### **2.2.2 Pájitelnost materiálů**

Pájitelnost je definována jako způsobilost základního materiálu vytvořit spoj požadovaných vlastností při definovaném způsobu pájení, technologických a konstrukčních řešení [4]. Pájet lze v zásadě všechny druhy ocelí a litin, záleží pouze na správně zvolené technologii a návrhu spoje. Velmi dobře jsou pájitelné slitiny mědi, olova, cínu a drahé kovy. Pájitelné jsou i kovy a slitiny Ti, Al, Be, Ni, Mo, Zr, W, ale pouze za dodržení určitých podmínek [27].

### **2.2.3 Přídavné materiály pro pájení**

#### **Měkké pájky**

Měkké pájky mají pracovní teplotou do 450 °C. Měkké pájky se nehodí pro tepelně namáhané a pevnostně namáhané spoje, jejich využití je především pro nenáročné spoje

namáhané na tah. Jsou založeny na těžkých neželezných kovech, které mají nízkou teplotu tání. Těmito kovy jsou např. Sn, Pb, Cd, Sb a Bi [27].

Měkké pájky se dělí na:

- Měkké pájky cínové
- Měkké pájky bezolovnaté
- Měkké pájky speciální

### **Tvrdé pájky**

Pájky s teplotou pájení nad 450 °C. Používají se pro spoje, po kterých je požadována vyšší pevnost spojů nebo pro spoje, které jsou namáhány zvýšenými nebo kryogenickými teplotami. Tvrdé pájky jsou založeny na Cu, Ag, Ni, Fe, Al, Mg, Ti apod. [27].

Tvrdé pájky se dělí na:

- Tvrdé pájky na bázi Ag
- Tvrdé pájky na bázi Cu
- Tvrdé pájky na bázi Ni
- Tvrdé pájky na bázi Fe
- Tvrdé pájky na bázi Al
- Tvrdé pájky na bázi Mg
- Tvrdé pájky na bázi Ti
- Tvrdé pájky na bázi Au
- Tvrdé pájky na bázi Pd

### **Tavidlo**

Jako tavidlo se v metalurgii označuje chemická látka, jejímž úkolem je působit jako čistící látka při tvrdém či měkkém pájení nebo při svařování, s cílem odstranit zoxidované kovy z míst, která se spojují. Mezi běžně používaná tavidla patří chlorid amonný nebo kalafuna pro pájení cínovou pájkou, kyselina chlorovodíková nebo chlorid zinečnatý pro pájení pozinkované oceli (nebo jiných zinkových povrchů), a borax pro tvrdé pájení či svařování železných kovů [27].

Při procesu vysokoteplotního spojování kovů (pájení a svařování) je primárním účelem tavidla zabránit oxidaci základního a výplňového materiálu. Pájka (např. cín -

olovo) velmi dobře přilne k mědi, ale velmi špatně k jejím oxidům, které se při teplotách používaných při pájení rychle tvoří. Tavidlo je látka, které je při pokojové teplotě téměř netečná, ale při zvýšených teplotách se stává silně redukční a brání tak tvorbě oxidů kovů. Navíc tavidlo umožňuje, aby pájka snadno tekla po pájených površích, místo aby tvořila kuličky, jak by se jinak dělo [27].

## 2.2.2 Výhody a nevýhody pájení

V této kapitole jsou popsány výhody a nevýhody pájení.

### Výhody

- Vysoká produktivita práce
- Nižší tepelné ovlivnění pájených materiálů
- Nízké pořizovací a provozní náklady
- Pájením lze spojovat různé kovové materiály a libovolně tlusté
- Spojované materiály se netaví, jsou méně tepelně ovlivněné, zachovávají si své mechanické vlastnosti
- Menší hmotnost pájených konstrukcí proti nýtovaným
- Vysoká rozměrová přesnost
- V porovnání s nýtováním je pájení bezhlučné
- Pěkný vzhled spoje bez potřeby dalších úprav

### Nevýhody

- Příprava pájených ploch
- Deformace dlouhých pájených spojů
- Menší pevnost pájeného spoje při porovnání se svařeným spojem
- Menší tepelná odolnost
- Nesprávně navržené spoje mohou být méně odolné vůči korozi

## 2.2.3 Metody užívané v praxi

V této kapitole jsou popsány metody pájení pro spojování tenkých plechů.

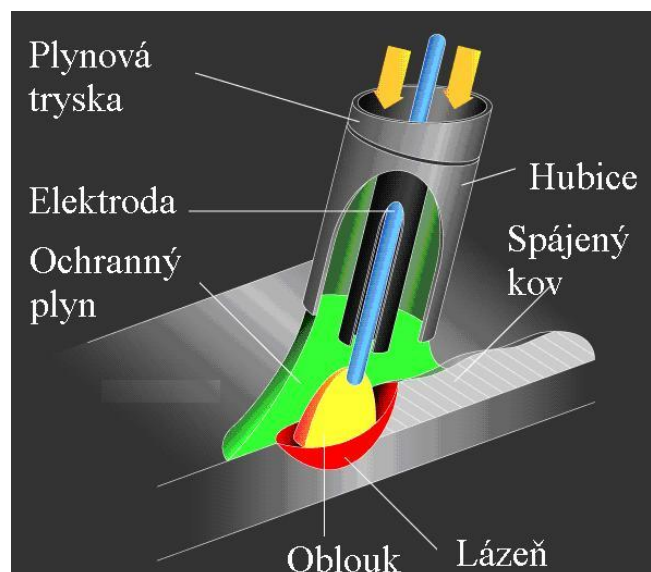
### 2.2.3.1 MIG pájení

Díky negativním vlivům, které vznikají při svařování tenkých a povrchově upravených kovů přišli výrobci přídatných materiálů na trh s novou metodou spojování pomocí, nikoliv ocelového, ale bronzového drátu s označením CuSi3. Jako zdroj pájecího proudu se používá klasická MIG/MAG svařečka. Jelikož u této metody nedochází k natavení základního materiálu, ale pouze k tavení přídatného materiálu, jedná se o proces tvrdého pájení a nikoliv o svařování [27].

Nutnými podmínkami této metody jsou stabilní a bezrozstříkový přenos roztaveného kovu a „nízká“ teplota oblouku, protože teplota tavení přídatných materiálů používaných při MIG pájení je cca 1 060 °C (při běžném MIG/MAG svařování je cca 1 650 °C). Díky tomu je minimalizováno teplo vnesené do součásti [37].

Nevýhodou této metody je vyšší cena bronzového drátu, kvůli vysokému obsahu mědi. Ovšem v průmyslové výrobě má tato metoda velikou perspektivu, neboť do značné míry eliminuje nežádoucí účinky vznikající při klasickém svařování tenkých a povrchově upravených materiálů a redukuje tak náklady na dodatečnou protikorozní ochranu svarů materiálů.

Obr. 4 Pájení metodou MIG



### **2.2.3.2 Pájení laserem**

Dynamický rozvoj zejména automobilového průmyslu v minulých letech působil doslova jako katalyzátor vývoje u celé řady technologií. Tlak konkurence nutí výrobce k hledání jak nových koncepcí vozidel, tak i k zavádění nových racionálních technologií do výrobního procesu.

Princip pájení laserem je podobný principu svařování laserem, který je popsán výše. Pro pájení se nejprve používaly pevnolátkové Nd:YAG lasery, pracující na vlnové délce 1 064 nm, kde docházelo k příznivé absorpci paprsku v materiálu pájky. Vedle těchto laserů přicházejí v poslední době do oblíbenosti i výkonové diodové lasery, u nichž je hned několik předností. Odlišný profil paprsku, kdy oproti kruhovému profilu obvyklému u jiných typů laserů jde zde spíše o pravoúhlý průřez s téměř konstantním rozdělením intenzity záření, technologii pájení lépe vyhovuje a při správném směřování paprsku umožňuje jak předehřev pájených míst ještě před nanášením pájky, tak i samotnou natavenou pájku držet déle v tekutém stavu [44].

Doposud se užití laseru k pájení většinou omezovalo na technologii pájení na měkko, oblíbenou zvláště při výrobě elektroniky, ale v poslední době se stále více začíná používat i technologie laserového pájení na tvrdo, kde pevnost spoje je podstatně vyšší než u pájení na měkko a v mnoha případech postačí, přičemž pájení oproti technologii svařování má svou přednost i v nižší deformaci spojovaných dílů nadbytečnou tepelnou energií [44].

U pájení laserem platí obecné přednosti laserů, které jsou známé z technologie svařování, jako jsou bezkontaktní pracovní proces s regulací předávané energie a dobrá fokusace paprsku bez zatížení okolní zóny. Laser zahřívá spoj jen v úzké stopě, kde se snadno dosahuje vysoké teploty, která dovoluje používat i vysokotavitelné tvrdé pájky na bázi mědi, které jsou při obdobných vlastnostech ekonomičtější v porovnání s jinak často užívanými pájkami na bázi stříbra [44].

### **2.2.3.3 Pájení plamenem**

Při tomto druhu pájení se pájené plochy postupně zahřívají plamenem. Pro pájení oceli, litin, mědi a jejich slitin, hliníku a jeho slitin se používá neutrální kyslíkovo – acetylenový plamen. Při pájení mosazi je výhodnější plamen s přebytkem kyslíku. Na měkké pájení je možno použít i acetylen se vzduchem [4].

Na měkké a tvrdé pájení malých součástí lze použít plamen získaný spalováním propan – butanu se vzduchem. Pájené plochy a jejich okolí musí být dokonale čisté a odmaštěné [4].

## **2.3 Nýtování – podstata, výhody, nevýhody, metody užívané v praxi**

V této kapitole je popsána technologie nýtování.

### **2.3.1 Podstata**

Nýtování představuje klasický druh nerozebíratelného spojení, dvou či více součástí za použití nýtu nebo čepu. Nýt stahuje spojované součásti svými hlavami a tím vytváří mezi spojovanými součástmi tření. Výše tření je důležitá, čím je vyšší, tím méně je nýt namáhán na smyk. Nýtový spoj je závislý na teplotě, při které byl vytvořen. V zásadě lze dosáhnout dvou druhů spoje a to [20]:

#### **a) Spoj s tvarovým stykem**

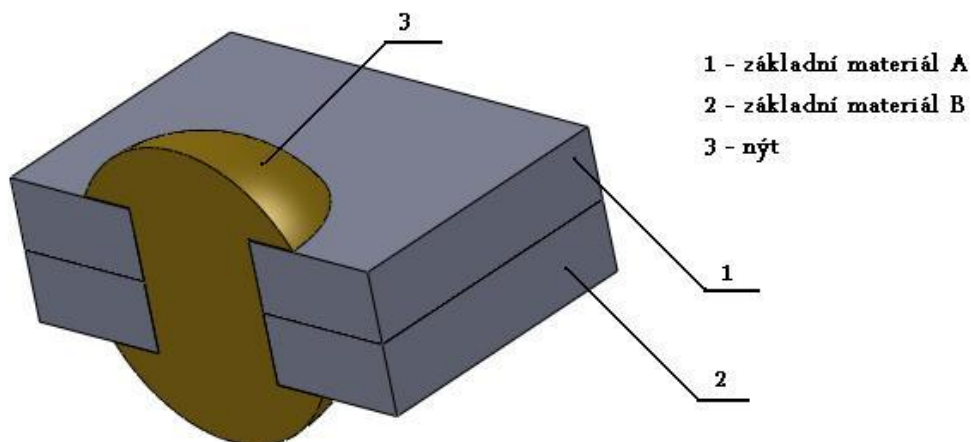
Je - li nýtováno za studena, nedojde dostatečně ke stažení nýtů a síly se přenášejí pomocí těla nýtu. Nýty jsou v tomto případě namáhány na smyk. Při nýtování za studena se používají nýty o průměru maximálně 10 mm, větší nýty by bylo obtížné za studena roznýtovat.

#### **b) Spoj se silovým stykem**

Je – li nýtováno za tepla, dochází mezi spojovanými materiály k silovému styku. Nýty se během ohřívání roztáhnou. Po snýtování nýty chladnou a smrští se vlivem tepelné roztažnosti, tím je spoj stažen. Dochází tak k vytvoření vysokého tření mezi stykovými plochami spojovaných materiálů. Nýty jsou v tomto případě namáhány převážně na tah. Za účelem vytvoření kvalitního spoje je třeba, aby dřív nýtu byl před roznýtováním zahřátý do běla (cca 1 200 °C) a hlava do červena (cca 800 °C).



Obr. 5 Nýtový spoj



### Druhy nýtování

Nýtování lze dělit na dva druhy:

**1. Přímé nýtování** - jedna součást upravena tak, aby se nýtování dalo provést bez potřeby nýtů. Jedna část se opracuje do tvaru válcového čepu, prostrčí se otvorem v plechu a roznýtuje se. Tento druh nýtování je méně častý, používá se zejména v elektrotechnice a jemné mechanice. Pro přímé nýtování je třeba volit materiál s dobrou tažností [20].

**2. Nepřímé nýtování** – spojování se provádí pomocí nýtů, které mají dosedací hlavu a dřík, po roznýtování vznikne závěrná hlava. Pro dobrou kvalitu spoje je třeba dodržet předepsaný průměr předvrtaného otvoru pro nýt. Nepřímé nýtování umožňuje pouze rovnoběžné spojení. Využití nepřímého nýtování je mnohem častější [20].

### 2.3.2 Nýty

Jsou mechanické konstrukční prvky, pomocí kterých po roznýtování vzniká nýtový spoj. Nýt je většinou tvořen válcovitým tělem a podpěrnou hlavou. Za nýt může být považován i čep bez hlavy, která vznikne až po roznýtování. Materiálem nýtů bývají nejčastěji tažné materiály, kterými jsou nejčastěji ocel třídy 10 a 11, nerezová ocel, hliník, měď a speciální slitiny. Nýty se liší zejména podle jejich způsobu uplatnění.

Nýty lze dělit na:

- Konstrukční
- Kotlové
- Drobné
- Zvláštní

### **2.3.3 Výhody a nevýhody nýtování**

V této kapitole jsou popsány výhody a nevýhody nýtování.

#### **Výhody**

- Snadná kontrola jakosti spoje
- Nedochozí k deformaci vlivem teplotní roztažnosti
- Bez tepelného ovlivnění materiálů
- Pevné uložení v různých průměrech otvorů
- Zajištění proti vibracím
- Možnost spojování různých materiálů a o různé tloušťce

#### **Nevýhody**

- Nutno mít materiál předděrovaný
- Spojované materiály jsou dírami zeslabovány
- Vznik vysokého napětí v okolí nýtů
- Nelze zajistit přesnou polohu spojovaných dílů
- Hlučnost některých metod
- Nýt po roznýtování část nýtu většinou přechází nad spojovaným materiálem

### **2.3.4 Metody užívané v praxi**

V této kapitole jsou popsány metody nýtování pro spojování tenkých plechů.

#### **2.3.4.1 Radiální nýtování**

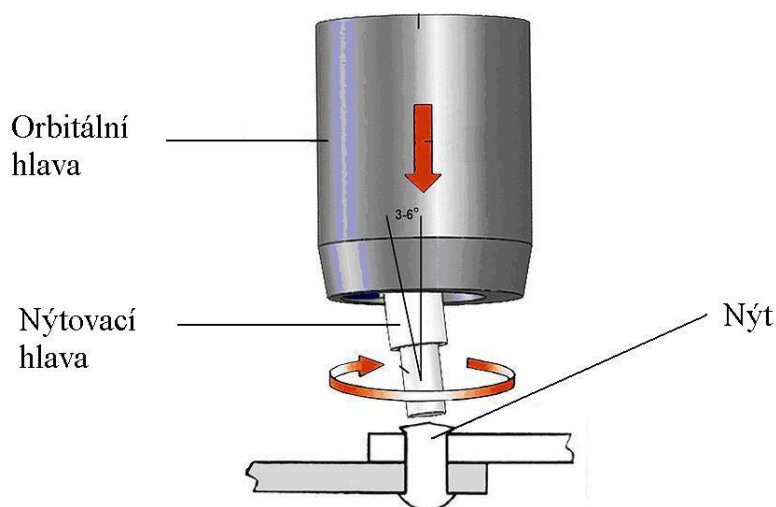
Jedná se o celosvětově nejvyspělejší metodu nýtování. Používá se všude tam, kde je požadována nejvyšší možná jakost spojů. V současné době neexistuje srovnatelný proces nýtování. Nástroj opisuje ruzicovou dráhu (hypocykloidu), díky které dochází k jemné deformaci tvářeného materiálu. S relativně nízkou axiální silou se nýtovaný materiál

roztéká přes malé kontaktní místo mezi nástrojem a nýtem. Po hypocykloidní dráze dochází k tečení převážně v radiálním směru. Při procesu radiálního nýtování nástroj nerotuje. Díky tomu je možné tvářet i nýty nekruhového průřezu. To snižuje tření mezi nástrojem a pracovním místem na minimum. Výsledkem je excelentní povrchová struktura uzavírací hlavy. Takový nýt je pak výrazně pevnější a kvalitnější [29].

### 2.3.4.2 Orbitální nýtování

Při tomto způsobu nýtování se úhel nýtovacího nástroje pohybuje od  $3^\circ$  do  $6^\circ$ , podle požadovaného druhu spoje. Nýtovací nástroj se otáčí kolem vertikální osy otáčkami  $1\,500 - 3\,000\text{ min}^{-1}$  a opisuje kužel, jehož vrchol odpovídá těžišti hlavy nýtu. Tvar hlavy nýtu závisí na typu nástroje. V porovnání s ostatními metodami, zpracovává nýtovací nástroj velmi malou plochu, tím se snižuje axiální zatížení na hlavu nýtu až o 80 %. Nižší kontaktní tlak nástroje má pozitivní vliv na jakost hlavy nýtu a na životnost nástroje.

Obr. 6 Orbitální nýtování



### 2.3.4.3 Kovářské nýtování

Při nýtování se obvykle používá kladivo, ocelová podložka (případně kovádlina), podpěrný hlavičkář, zatahovák nebo nýtovací kleště. Pro nýtování musí mít kladivo přiměřenou hmotnost. Nejprve se jím tluče na zatahovák, a následně se pěchuje část nýtu,

vyčnívající z díry, přičemž se vyková přibližný tvar nýtové hlavy. Hlava nýtu se pak dokončí závěrným hlavičkářem. K utěšňování nýtových spojů se používá tužlíků [46].

Je-li u hlavy nýtu otřep nebo výronek, odsekne se sekáčem, a pak se okraj hlavy zatlačí do plechu. Tupý břit tužlíku, na nějž se tluče kladivem, je přiměřeně zakřivený. Tužlíku s přímým břitem se používá k tužení okrajů tlustších plechů, které se mírně zkosí [46].

Je-li třeba vytvořit u nýtů s půlkulovou hlavou zapuštěnou hlavu závěrnou, používá se podpěrný hlavičkář a zatahovák. Potom se dřík silnými údery kladiva napěchuje tak, aby vyplnil celou díru. Pak se stejnoměrnými údery dále pěchuje tak dlouho, až vyplní i příslušné zahloubení. Přitom je třeba údery kladiva přesně umísťovat, aby nedošlo k poškození povrchu součásti [46].

### **2.3.5 Nekonenční metody užívané v praxi**

S rozvojem moderního průmyslu a nástupem nových druhů materiálů, za účelem zvýšení produkce výroby vzniklo několik netradičních metod spojování tenkých plechů. Tyto metody jsou podobné nýtování, avšak se liší významnými rozdíly. Hlavními přednostmi proti tradičním způsobům nýtování je:

- Není nutné předděrování materiálu
- Vysoká rychlost vytvoření spoje
- Nízká hlučnost
- Vysoká reprodukovatelnost

#### **2.3.5.1 Nýtování narážecím nýtem**

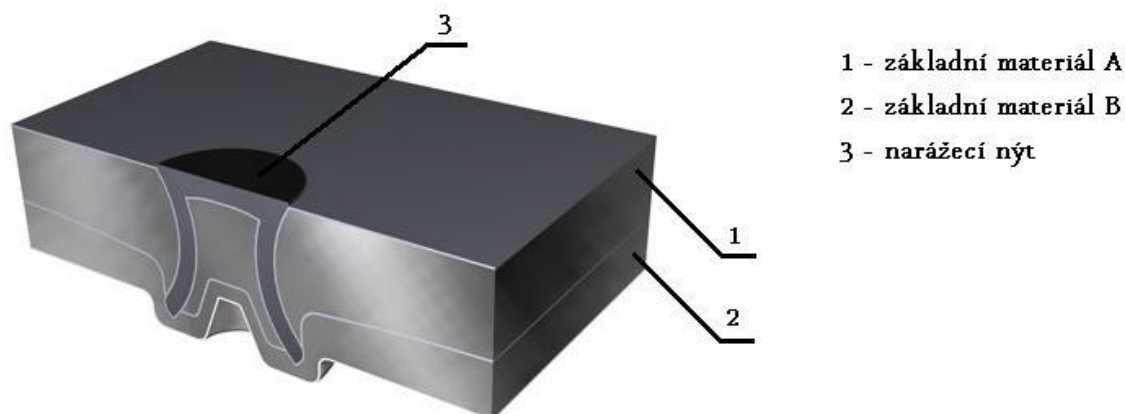
Mechanické spojování pomocí narážecího nýtu se jeví jako dobrá alternativa k tradičním metodám spojování.

S polodutým nýtem se díly spojí silovým a tvarovým stykem v jednom kroku tiše a bez předděrování. Nýt prorazí horní vrstvy materiálu a v poslední vrstvě se rozevře v matici. Tato vrstva není proražená, a proto vzniká bodové, plynotěsné a kapalinotěsné spojení [5].

Pevnost závisí na druhu a materiálu použitého nýtu, kterých je široká škála. Nabízí se celá řada zařízení a nýtů, které umožňují spojování různých kombinací materiálů. Množství spojovaných plechů a profilů je omezené pouze celkovou tloušťkou. Nevylučuje

se spojení kovových materiálů různých jakostí, ale i jejich kombinace s nekovovými polotovary. Tato metoda se hodí ke spojování galvanicky a povrchově upravených ocelí. Je vhodná i ke spojování vrstvených spojů. Výběr typu zařízení závisí především na velikosti výrobní dávky [5].

Obr. 7 Spoj s narážecím nýtem



### 2.3.5.2 Clinching

Clinching je metoda spojování plechů bez použití přídavného materiálu a dodatečných spojovacích prvků za použití speciálních nástrojů, které plasticky k sobě spojí plechy a vytvoří tak mechanický zámek. Clinching bývá také často nazýván jako nýtování bez použití nýtu [5].

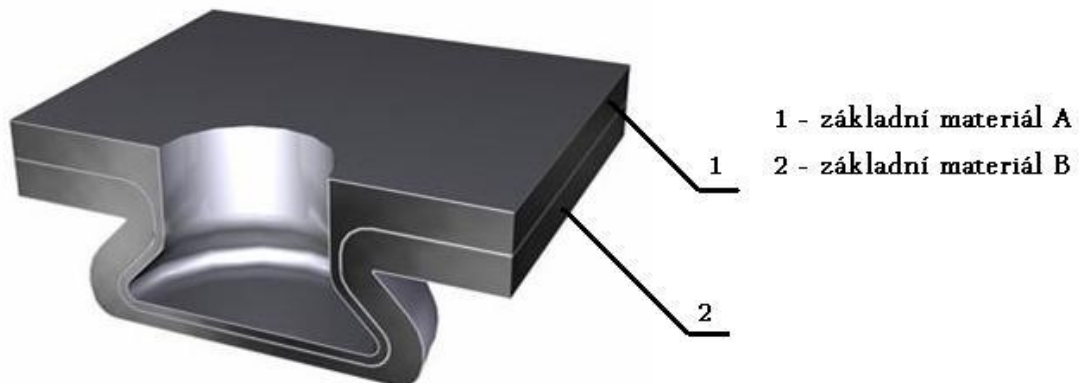
Clinch nástroje se většinou skládají ze speciálního razníku a matrice. Existují dva základní typy matric – s pohyblivými elementy a bez pohyblivých elementů. Při clinchi razník stlačí dvě vrstvy plechu do matrice. Ke konci cyklu dojde ke stranovému zatečení horního materiálu do spodního a vytvoří tak trvalé nerozebíratelné spojení, které postranně spojí obě vrstvy plechu dohromady. Tvar spojení závisí většinou na zvolené kombinaci razníků a matric. Výsledkem je kulaté nebo hranaté spojení bez ořepů a bez narušení vrchní vrstvy materiálu, s prostřihem nebo bez prostřihu spojovaných plechů [5].

Pevnost spojení je závislá na typu nástroje. Nástroje jsou dodávány v rozměrové škále od průměru 3 mm do 10 mm. S každým vyšším průměrem spoje pevnost stoupá. Pro různé materiály a jejich kombinace jsou připraveny desítky nástrojů s různou geometrií.

Pro každou materiálovou kombinaci tak může být nalezen optimální nástroj zaručující vysokou pevnost a reprodukovatelnost spoje [5].

S touto metodou lze účelně spojovat materiály z oceli, mědi, hliníku a dalších neželezných slitin. Materiály lze různě kombinovat a vrstveně spojovat.

Obr. 8 Spoj clinching



### 2.3.5.3 Metoda nastřelování čepu RIVTAC

Jedná se o novou vysokorychlostní metodu spojování plechů, která připomíná zatloukání hřebíků. Při spojovacím procesu je čep vysokou rychlostí nastřelen do materiálu. Rychlost nastřelení čepu je závislá na pevnosti spojovaných dílů a jejich celkové tloušťce a reguluje se nastavením pracovního tlaku. Čep proniká oběma materiály. Díky krátkodobému zvýšení teploty v místě spojení a tím zvětšené plastičnosti materiálů dochází k zatlačení materiálů do rýhování na dřívku čepu. Tím je dosaženo lepšího vzájemného přilnutí spojovaných materiálů. Současně je především u pevnostních ocelových dílů, z důvodu napěchování, dosaženo silového spojení [5].

Technologie je vhodná pro spojování hliníku, oceli, neželezných kovů a rovněž kombinací těchto materiálů i ve více vrstvách. Výhodou technologie je zejména jednostranný přístup nevyžadující speciální úpravy konstrukce výrobku a její vysoká flexibilita. Díky vysoké rychlosti „nastřelování“ spojovacích čepů jsou minimalizovány pracovní časy. Spojení je vhodné také při kombinaci s lepením (např. z důvodu těsnosti spoje) [5].

## 2.4 Lepení – podstata, výhody, nevýhody

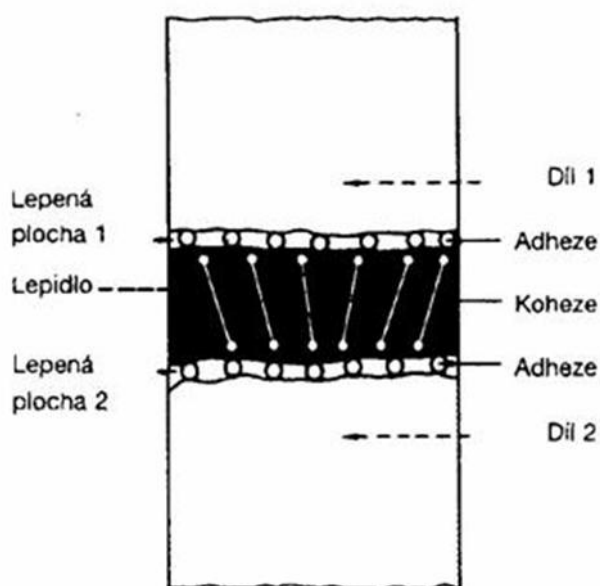
V této kapitole práce je popsána technologie lepení.

### 2.4.1 Podstata

Lepení kovů je proces spojování materiálů (adherendů), při kterém se dosahuje nerozebíratelného spojení stejných, popřípadě různých materiálů prostřednictvím lepidel (adheziv). Lepidlo na kovy je možné definovat jako látku schopnou vytvořit pevné a trvalé spojení mezi dvěma kovovými materiály. Uvedená schopnost závisí na adhezi k povrchům lepených materiálů a na kohezi samotného lepidla [33].

Pro dosažení kvalitního lepeného spoje je třeba správné ošetření ploch. Nečistoty na povrchu snižují adhezi. Adhezní síly na povrchu zvýšíme odstraněním všech volných částic a vrstev na povrchu materiálu a to mechanickou nebo chemickou cestou, případně jejich kombinací [33].

Obr. 9 Příčný řez lepeným spojem



#### Přilnavost - adheze

Adhezi lze charakterizovat jako schopnost přenosu tečných sil na kontaktních plochách dvou materiálů bez zřetelného pohybu. Fyzikální síly přitažlivosti a absorpce, které jsou dohromady popisovány jako síly Van der Waalsovy, jsou pro lepení

nejdůležitější. Vliv těchto mezimolekulárních sil je značně nižší, jestliže se lepidlo nedostane do těsného styku s povrchem lepeného materiálu, např. vlivem drsnosti jeho povrchu způsobeným mechanickým opracováním. Proto lepidlo musí pronikat přímo do povrchových nerovností a dokonale smáčet celý povrch. Pevnost lepeného spoje závisí jak na dostatečném smáčení povrchu (pro dosažení co nejúplnějšího mezimolekulárního kontaktu), tak na přilnavosti. Při daném povrchovém napětí lepidla smáčení závisí na povrchovém napětí lepeného materiálu a na viskozitě lepidla. Smáčení může být rovněž sníženo, jsou-li na povrchu znečištěná místa [9].

### **Soudržnost - koheze**

Koheze je síla působící mezi molekulami vlastního vytvrzeného lepidla, která drží materiál pohromadě. K těmto silám patří:

- mezimolekulární přitažlivé síly (síly Van der Waalsovy),
- síly vzájemného propletení molekul polymerů mezi sebou. [9]

Každý řetěz je jen tak pevný, jak pevný je jeho nejslabší článek, a proto při navrhování lepených spojů je snahou, aby si adhezivní a kohezivní síly v lepeném spoji byly přibližně rovny [26]. Existuje ještě celá řada faktorů, které ovlivňují vznik lepeného spoje, jsou jimi např. příprava materiálů na lepení, nanášení lepidel, vytvoření mechanických podmínek pro vznik spoje [26].

### **Druhy lepených spojů**

Při lepení lze v zásadě dosáhnout dvou druhů spojení v závislosti na druhu použitého lepidla a to:

- 1. Tuhý spoj** – užívá se zejména tam, kde je požadavek na vysokou pevnost, tuhost spoje a vzájemné přesné ustavení spojovaných součástí.
- 2. Pružný spoj** – užívá se zejména tam, kde je třeba dosáhnout houževnatého, odolného spoje v místech, kde je třeba vyrovnávání deformací a dilatací. Pružnost lepidla vyrovnává pohyby součástí bez porušení adheze.



## 2.4.2 Rozdělení lepidel

Klasifikace lepidel je poměrně složitý problém, který lze řešit podle různých hledisek a do různé hloubky. Lepidla lze rozdělit podle mnoha kritérií, přičemž žádné z nich plně nevystihuje jejich povahu. Nejčastějším rozdělením je rozdělení podle způsobu vytvoření spoje [6].

Rozdělení lepidel podle způsobu vytvoření spoje [6]:

- Lepidla tavná
- Lepidla citlivá na tlak
- Lepidla roztoková a disperzní
- Lepidla vytvrzující chemickou reakcí

### 2.4.2.1 Lepidla tavná

Jedná se o lepidla, která se pro průmyslové využití dodávají v zásadě ve formě granulí nebo válečků a pro domácí využití ve formě tyčinek. Způsob zpracování tavných lepidel spočívá v jejich roztavení do kapalného stavu. Pracovní teplota tavných lepidel je 120 – 200 °C (dle druhu použitého lepidla). Spoj dosahuje plné pevnosti ihned po zaschnutí lepidla.

### 2.4.2.2 Lepidla citlivá na tlak

Do této skupiny patří lepidla, která se zásadně vykytují v kombinaci s různými nosiči v podobě jednostranně či oboustranně lepicích pásek, lepicích folií apod. Pevnost těchto spojů se odvíjí od pevnosti nosiče lepidla.

### 2.4.2.3 Lepidla roztoková a disperzní

Princip těchto lepidel spočívá v rozpuštění lepivé látky v rozpouštědle. Jako rozpouštědla bývají použity voda, ředidlo, líh apod. Tento druh lepidel je vhodný pro materiály, které umožní odvod výparů rozpouštědla z místa spoje. Disperzní lepidla mají filmotvornou látku rozpouštědla ve vodě. Po přilnutí disperze na lepený materiál a odpaření vody z místa spoje dochází ke slinutí polymerních částic v souvislý film.

#### **2.4.2.4 Lepidla vytvrzující chemickou reakcí**

Do této skupiny lepidel vytvrzující chemickou reakcí patří většina bezrozpuštědlových lepidel.

##### **Lepidla vytvrzující UV zářením**

Jedná se o skupinu lepidel, jejichž rychlost vytvrzení závisí na vlnové délce a intenzitě UV záření. Dodávají se jako jednosložková. Jsou snadno aplikovatelná, vhodná i k vyplnění velkých mezer a plné pevnosti dosahují během velmi krátké doby.

##### **Lepidla vytvrzující přidáním aktivátoru**

K vytvrzování těchto lepidel dochází za pokojové teploty pomocí aktivátorů. Aktivátor a lepidlo se nanáší na spojované povrchy odděleně (většinou na jednu lepenou plochu se nanese lepidlo a na druhou aktivátor) a to ve velmi tenkých vrstvách. Optimální tloušťka spáry se pohybuje kolem 0,05 mm.

##### **Lepidla vytvrzující přidáním tvrdidla**

Jsou dvou nebo více složkové systémy založeny na bázi polyuretanů nebo epoxidových pryskyřic. Jednotlivé složky lepidla se dodávají odděleně v samostatných obalech nebo případně v obalech, které zajistí přesné dávkování jednotlivých složek. Doba zpracovatelnosti lepidla může být různá od několika vteřin až do několika hodin.

##### **Lepidla vytvrzující za zvýšených teplot**

Tyto lepidla jsou vyráběna na bázi epoxidových, fenolových, melaminových nebo močovinných pryskyřic. V zásadě se dodávají jako jednosložková s tvrdidlem nebo dvousložková s tvrdidlem. Tato lepidla vytvrzují při teplotách 80 až 200 °C. Jejich využití je zejména v sériové výrobě.

##### **Lepidla vytvrzující vlivem vzdušné vlhkosti**

Lepidla jsou dodávána jako pasty nebo kapaliny. K polymerizaci dochází při styku se slabě zásaditými povrchy a vzdušnou vlhkostí. Optimálních výsledků dosahují při vzdušné vlhkosti 40 až 60 % a pokojové teplotě, přičemž nižší vzdušná vlhkost nesnižuje výslednou pevnost spoje, ale prodlužuje proces vytvrzení. K dosažení plné pevnosti spoje

dochází během několika sekund a lepidla dosahují velmi dobrých mechanických vlastností a jsou vhodná pro rozmanité množství materiálů

### **Lepidla vytvrzující se anaerobně**

Obsahují tvrdidlo, jež se aktivuje až při styku se vzdušným kyslíkem. Vytvrzovací proces je podporován stykem lepidla a aktivními kovy, které mají funkci katalyzátoru. K vytvrzování u neaktivních materiálů nebo velmi málo aktivních materiálů dochází k úplnému vytvrzení pomocí aktivátoru. Předností těchto lepidel je vysoká teplotní odolnost, vysoká pevnost ve smyku a vysoká odolnost vůči vibracím.

### **2.4.3 Výhody a nevýhody lepení**

V této kapitole jsou popsány výhody a nevýhody lepení.

#### **Výhody**

- Zvýšení pevnosti
- Těsnost spoje, zvýšená odolnost proti korozi
- Možnost spojovat různé materiály
- Možnost spojovat velmi tenké materiály
- Útlum vibrací (v případě pružného spoje)
- Možnost spojení tenkých ploch
- Možnost výroby spoje s dobrou elektrickou, tepelnou a zvukovou izolací, nebo spoje s dobrou elektrickou vodivostí

#### **Nevýhody**

- Nutnost úpravy ploch před lepením
- Malá odolnost proti zvýšení teploty a odlupování
- U některých druhů lepidel jsou třeba vytvrzovací prostředky
- Většinou dlouhá doba vytvrzování
- Náchylnost ke creepu

### **3 Praktické použití různých technologií pro spojování plechů**

Tato kapitola se zabývá využitím jednotlivých metod spojování tenkých plechů v praxi. Každá technologie spojování plechů má v praxi své nezastupitelné místo.

#### **3.1 Automobilový průmysl**

Je jedním z nejvýznamnějších a nejdynamičtěji se rozvíjejících odvětví, ve kterém je možno se setkat s těmi nejmodernějšími metodami. Inovace a technický potenciál jsou nejdůležitějšími jmenovateli pro úspěch v tomto odvětví.

##### **3.1.1 Technologie svařování v automobilovém průmyslu**

V současné době nahrazuje laserové svařování 70 % spojů, dříve vytvářených klasickým bodovým svařováním. Problém svařování přeplátovaných spojů pozinkovaných plechů je řešen zvláštními přípravky, ponechávajícími mezi plechy mezeru 0,1 až 0,2 mm nebo výstupky. Při svařování karosérií, které bylo v nedávné době doménou bodového svařování s 5 000 až 6 000 bodovými svary, se poměr jednotlivých způsobů mění. Podle nejnovějších studií bude mít největší zastoupení právě laserové svařování (69 %). Podíl odporového bodového svařování se sníží na 14 %, svařování MAG bude mít podíl 6 % [35].

##### **3.1.2 Technologie pájení v automobilovém průmyslu**

Většina karosérií současných moderních automobilů se vyrábí z pozinkovaných plechů. Jejich svařování přináší značné komplikace, mezi které patří rozstřík, poréznost a v neposlední řadě narušení ochranné vrstvy zinku v okolí svaru. Velmi častým a úspěšným řešením je tzv. MIG pájení.

Při MIG pájení na rozdíl od tradičního MIG/MAG svařování dochází k roztavení pouze přídavného materiálu, což zabezpečuje nižší tepelné ovlivnění materiálu a tím i minimalizaci poškození vrstvy zinku na plechu.

V poslední době se stále více začíná používat i technologie laserového pájení na tvrdo, kde pevnost spoje je podstatně vyšší než u pájení na měkko a v mnoha případech postačí, přičemž pájení oproti technologii svařování má svou přednost i v nižší deformaci spojovaných dílů nadbytečnou tepelnou energií [44].

Tvrdé pájení je vhodné i pro spojování dílů se speciální povrchovou úpravou, kde pájení nenarušuje povrchovou vrstvu, pájet je možné vzájemně díly i z hliníku a jeho slitin nebo i nesourodé materiály typu ocel – hliník a jeho slitiny. V automobilovém průmyslu má laserové pájení zastoupení 3 % a MIG pájení 2 %.

### **3.1.3 Technologie lepení v automobilovém průmyslu**

Technologie lepení se v automobilovém průmyslu uplatňuje stále větší měrou. Lepení je nejčastěji kombinováno spolu s nýtováním nebo svařováním, ale ve specifických případech může tyto technologie nahrazovat. Povrchy plechů jsou často upraveny elektrolyticky nebo žárově povlakem na bázi Zn, aby se zvýšila jejich korozivzdornost. Při svařování bývá s touto vrstvou problém. Zn ulpívá na elektrodách a svařování poškozuje povlak v místě spoje. Dalším problémem svařování může být spojování plechů různých jakostí a tloušťky. V těchto případech je lepení výhodnější.

Předpokladem pro dobrou pevnost je správný návrh spoje. Lepené spoje je výhodné používat na místech, kde nejsou v tak velké míře vystavovány tahu a odlupování. V automobilovém průmyslu se nejčastěji využívá k lepení výztuh povrchových plechů, kterými jsou dveře, kapota, střecha. Dále je lepení možno využít k lepení lemů všech dveří a kapoty. Lepení zastupuje 3 % spojování tenkých plechů v automobilovém průmyslu.

### **3.1.4 Technologie clinching a nýtování v automobilovém průmyslu**

Clinching spoje a spoje s narážecími nýty již mají svůj nezastupitelný význam v automobilovém průmyslu. S ohledem na trend snižování hmotnosti automobilů se mnoho plechových dílů vyrábí z kombinací oceli a hliníkových slitin. Prakticky jedinou spojovací technologií pro tyto účely jsou spoje clinching a spoje s narážecími nýty, eventuálně ještě ve spojení s lepením. Jako příklady lze uvést části karoserií, jako jsou přední a zadní víka, dveře a stahovací střechy, nebo díly z vnitřní zástavby, jako sedačky, konstrukce stahování oken, různé držáky armatur apod. Pro nové koncepce vozů a zvýšení produktivity výroby se začínají prosazovat i nastřelovací čepy, kterými se spojují zejména složitě prolisované profily zhotovené z lehkých slitin.

## **3.2 Ostatní dopravní průmysl**

Využití metod spojování tenkých plechů v ostatním dopravním průmyslu je velké, ale nemá tak výrazný růst jako automobilový průmysl.

### **3.2.1 Technologie svařování v lodním průmyslu**

V oblasti stavby lodí se v poslední době čím dál využívá třecí svařování s promísením. Ukázalo se, že tato metoda poskytuje velice kvalitní spoje bez pórů, jejichž pevnost je srovnatelná s pevností základního materiálu. V lodním průmyslu se nejvíce využívá pro paluby, přepážky a boční pláště lodí. U konstrukcí lodí z hliníkových slitin se využívají metody TIG a MIG.

### **3.2.2 Technologie nýtování v leteckém průmyslu**

V leteckém průmyslu nýtování patří mezi tradiční technologie a je hojně zastoupeno. Nejrozšířenější metodou v letectví je systém narážecích nýtů, který poskytuje dobrou jakost spoje a je velmi produktivní. Dříve se v částech letadel, kde není umožněn přístup z obou stran nýtovaného povrchu, se používaly výbušné nýty. Výbušné nýty v sobě měli malou dávku třaskaviny. Složení výbušné směsi bylo voleno tak, aby při zahřátí hlavičky nýtu došlo k lehkému výbuchu, který rozšíří dřík nýtu a upevní jej. Použití těchto nýtů bylo omezeno na menší velikosti [20].

### **3.2.3 Technologie lepení v leteckém průmyslu**

Letecký průmysl je v mnoha směrech průkopníkem ve využívání nových materiálů a technologií. Lepené spoje jsou v letectví využívány přibližně od druhé světové války. Ukazuje se, že v některých případech jako lepení velmi tenkých plechů z hliníkových slitin byla pevnost lepeného spoje až o 30 % vyšší než v případě nýtovaného spoje. Na letadlech se využívá tato technologie zejména k lepení potahů křídel, nosníků s proměnným průřezem, stabilizačních ploch, slepují se panely a podélníky. U vrtulníků všech konstrukcí se lepí zejména rotory. Lepení v letectví umožnilo používat potahů z neobvykle tenkých plechů kolem 0,3 mm [16].

### **3.3 Obecný průmysl**

V tomto širokém segmentu výroby jsou využívány nejrůznější metody spojování.

#### **3.3.1 Technologie svařování při tvorbě konstrukcí**

Svařování má své nezastupitelné místo při tvorbě konstrukcí. Nejčastěji se využívají metody svařování MIG/MAG, protože dosahují vysoké produktivity a jsou poměrně nenáročné na zručnost pracovníka. Při svařování menších nerezových konstrukcí, vzduchotechniky a komponentů z velmi tenkých plechů je nejvýhodnější metoda TIG.

#### **3.3.2 Technologie pájení v elektroprůmyslu**

V elektrotechnickém průmyslu se čím dál více začíná rozvíjet laserové pájení, které umožňuje miniaturizaci plošných spojů. V této oblasti se nejvíce využívá měkké laserové pájení, neboť zde nejsou kladeny tak vysoké nároky na pevnost a tepelnou odolnost spoje.

#### **3.3.3 Technologie nýtování při tvorbě konstrukcí**

Nýtování se nevyužívá v takové míře, jako tomu bylo dříve, bylo téměř vytlačeno svařováním. Nýtování se využívalo při výstavbě mostních a jeřábových konstrukcí, kde oproti jiným technologiím dovedlo lépe vyrovnávat teplotní dilatace, rázy a vibrace vznikající za provozu.

#### **3.3.4 Technologie lepení v elektrotechnickém průmyslu**

Lepené spoje se velmi úspěšně využívají pro lepení svazku plechů pro statory a rotory elektromotorů a generátorů. Lepené svazky jsou elektricky izolované, odolné vůči okolnímu prostředí a mají nízké ztráty vyvolané v důsledku vířivých proudů.

#### **3.3.5 Technologie clinching ve výrobě bílé techniky**

Další významnou oblastí je výroba tzv. bílé techniky. Příkladem jsou např. skříně praček, lednic a různých kuchyňských a domácích spotřebičů. V obou těchto odvětvích se uplatňují clinch spoje jednak pro svou bezkonkurenční odolnost proti korozi a jednak

s ohledem na výborné pevnosti spojů při střídavém namáhání způsobeném různým chvěním a otřesy.



## **4 Experimentální stanovení pevnosti spojů tenkých plechů zhotovených vybranými technologiemi**

Experimenty byly provedeny za dále uvedených podmínek, dodržných pro všechny experimenty.

### **4.1 Příprava zkušebních vzorků**

Z tabule ocelového plechu o rozměrech 1x2 m o tloušťce 2 mm byly na padacích nůžkách nastříhány ocelové pásky o délce 100 mm a šířce 20 mm. Dále byly pásky upraveny dle metody. Pro zhotovení kvalitních spojů bylo třeba ocelové pásky pro svarové a lepené spoje otryskat, aby bylo dosaženo co nejlepší adheze a odstranila se povrchová koruze. Pro potřeby pájení, nýtování a nekonvenčních metod nebylo třeba ocelové pásky tryskat. Dále byly všechny pásky odmaštěny perchlorethylenem.

#### **4.1.1 Výroba svarových spojů**

Přesah svarových spojů pro všechny metody byl volen 7 mm.

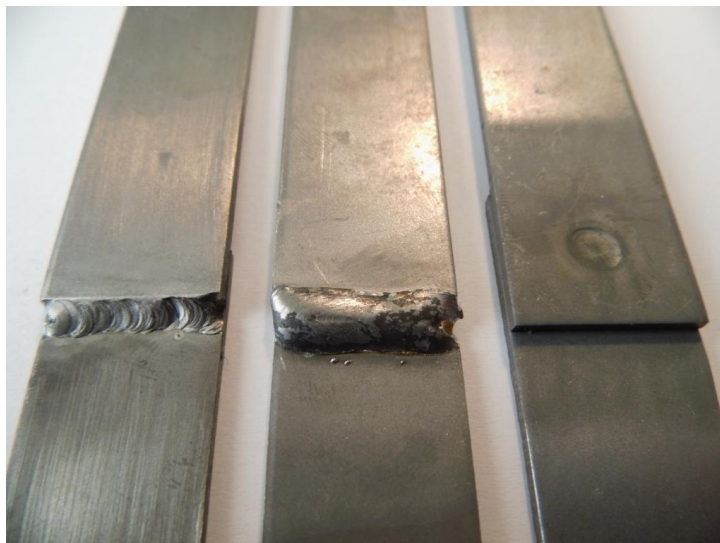
#### **Výroba spojů TIG a MAG**

Výroba svarových spojů TIG a MAG byla provedena svářečem s příslušným oprávněním. Při svařování obou metod byly použity svářecí drát MIG/MAG ocel Telwin o průměru 0,8 mm a svářečka LIBRA 160 C/MIG 200.

#### **Výroba bodových svarů**

Na výrobu bodových svarů byly použity svařovací kleště BV 2,5 Danubius Elektronik Bratislava. Na svařovacím zařízení byly nastaveny příslušné svářecí hodnoty a elektrody pro celkovou tloušťku plechu 4 mm. Mezi elektrody svařovacích kleští se vložily slícované ocelové pásky a pomocí páky se na ně vyvodil tlak. Po plném domáčknutí páky se provedl bodový svar.

Obr. 10 Svarové spoje – zleva svar TIG, svar MAG, bodový svar



#### 4.1.2 Výroba pájených spojů

Přesah pájených spojů pro všechny metody byl volen 7 mm.

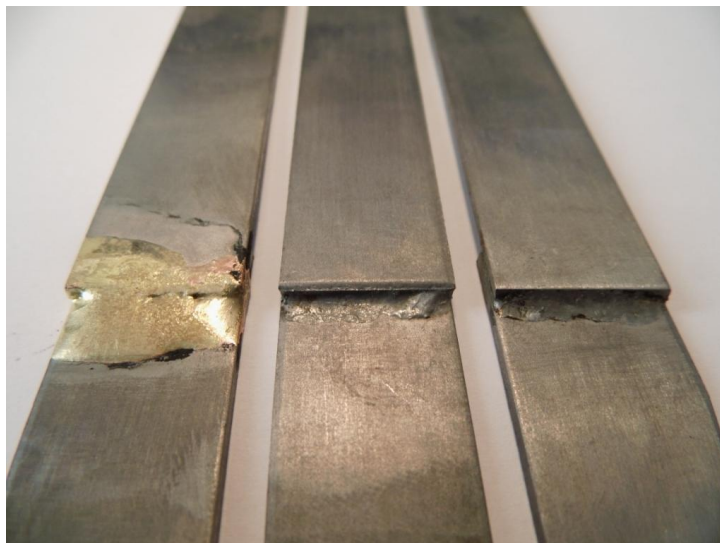
##### **Výroba spojů s měkkou olovnatou (S – Sn60Pb38Cu2) a bezolvnatou pájkou (S – Sn95,5Ag3,8Cu0,7)**

Pájení zkušebních vzorků se provádělo na vodorovné šamotové cihle se zatížením protilehlých konců nastříhaných pásků. Na styčné místo pájených pásků se vždy nanese tavidlo (kyselina solná), v takovém množství, aby zateklo až na druhou stranu přesahu pásků. Ohřev pájeného místa se prováděl shora pomocí atmosférického hořáku neutrálním propanbutanovým plamenem se vzduchem. Drátová pájka se přikládala k ohřátému místu spoje, o které se tavná a vlivem kapilárních sil zatekla na druhý konec přesahu. Po přidání pájky do ohřátého spoje a jejímu zatečení bylo nutné uchovat vzájemnou polohu spojovaných pásků až do ztuhnutí pájky ve spoji.

##### **Výroba spojů s tvrdou mosaznou pájkou (B – Cu60ZnSi)**

Výrobu prováděl pracovník s příslušným oprávněním pro tvrdé pájení. Při pájení byla použita pájka B – Cu60ZnSi a kyslíko – acetylenová souprava. Mosazná pájka byla i mino spoj (viz. obr 11).

Obr. 11 Pájené spoje – zleva mosazná pájka, olovnatá pájka, bezolovnatá pájka



### 4.1.3 Výroba nýtových spojů

Přesah u nýtových spojů pro všechny metody byl volen 20 mm. Pro zhotovení spojů bylo nutno do pásek vyvrtat díry. Na orýsovávacím přípravku byla nastavena vzdálenost 10 mm a pásky byly orýsovány. Ve středu orýsování byl vyražen důlčík, do kterého se vrtalo. Ocelové pásky byly vyvrtány na stojanové vrtačce vrtákem o průměru 4,1 mm. Pro potřeby kvalitního nýtového spoje bylo třeba lehce srazit hrany vyvrtané díry pomocí vrtáku o průměru 10 mm.

#### **Výroba spojů s nerezovým a hliníkovým trhacím nýtem**

Trhací nýty byly použity o průměru 4 mm a o délce 8 mm dle výrobce pro danou tloušťku materiálu. Pro zhotovení spojů bylo třeba použít nýtovacích kleští. Po vložení nýtu do děr v páskách a několika zmáčknutím nýtovacích kleští byl spoj hotov.

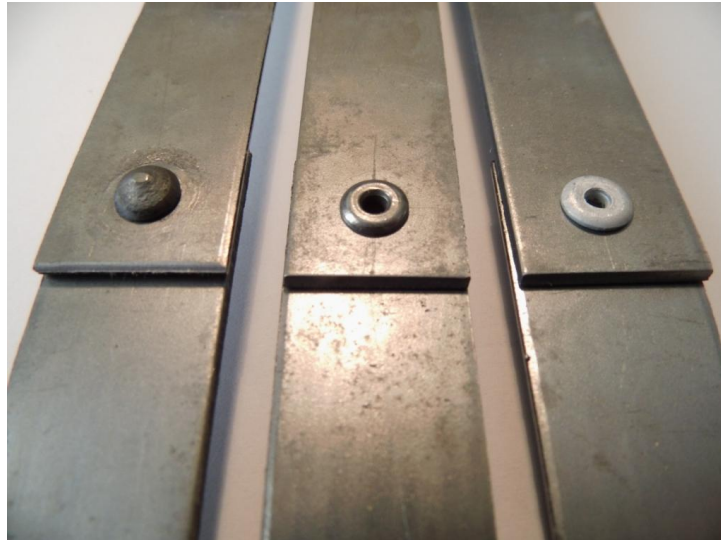
#### **Výroba spojů s ocelovým rozklepávacím nýtem**

Ocelové rozklepávací nýty byly použity o průměru 4 mm a délce 8 mm dle výrobce pro danou tloušťku materiálu.

Při tvorbě nýtového spoje byl použit podpěrný hlavičkář, zatahovák a kladivo přiměřené hmotnosti. Do děr spojovaných pásek se vložil nýt, spoj se podepřel podpěrným hlavičkářem a začalo se tlouci na přečnávající část nýtu. Po několika silných úderech kladiva bylo třeba pomocí zatahováku dotáhnout spojované pásky k sobě a pak dále

pokračovat do celkového rozklepání nýtu. Při tvorbě spojů bylo třeba údery umísťovat přesně, aby nedošlo k poškození pásků.

Obr. 12 Nýtové spoje – zleva ocelový rozklepávací nýt, nerezový trhací nýt, hliníkový trhací nýt



#### **4.1.4 Výroba spojů nekonvenčních metod spojování**

Překlátování u nekonvenčních metod spojování bylo voleno 20 mm.

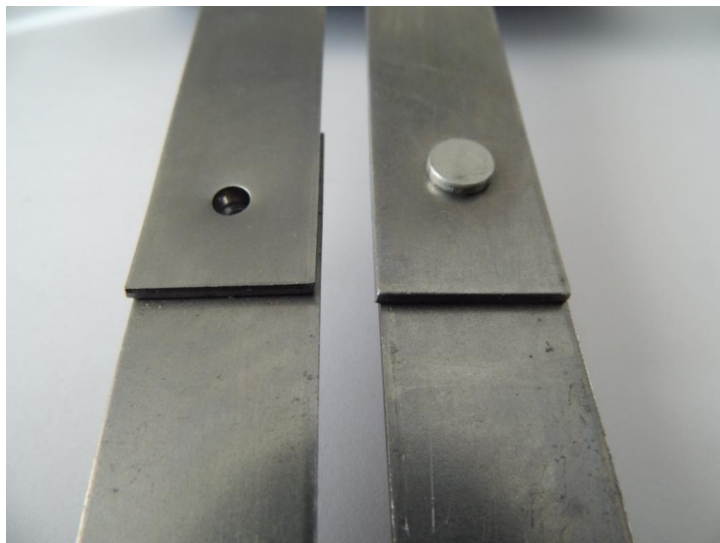
##### **Výroba spojů pomocí nastřelovacího čepu RIVTAC**

Spoje byly vytvořeny pomocí ručního Böllhoff RIVTAC setu. Potřebný tlak na vytvoření spoje byl 0,8 MPa

##### **Výroba clinching spojů**

Spoje byly vytvořeny na stroji Böllhoff RIVCLINCH. Pro danou tloušťku spojovaných pásků bylo třeba pro optimální výsledek optimalizovat raznici a matici. Potřebný tlak na vytvoření spoje byl 0,62 MPa.

Obr. 13 Nekonvenční metody spojování – zleva clinching, nastřelovací čep RIVTAC



#### 4.1.5 Výroba lepených spojů

Přesah lepených spojů pro všechny metody byl volen 12 mm.

##### **Výroba lepených spojů dvousložkového lepidla Bison Epoxy Metal**

Do kelímku se vytlačilo dostatečné množství lepidla a důkladně se promíchávaly obě složky, dokud lepidlo nezískalo stejnoměrné zbarvení. Lepidlo se aplikovalo na jeden pásek pomocí ocelového plíšku a následně se spojil s druhým páskem. Zbytky lepidla vytékající ze spoje se odstranily nožem. Spoje se zatížily ocelovými hranoly o hmotnosti cca 500 g. Spoje bylo třeba takto nechat 24 hodin při 20 °C.

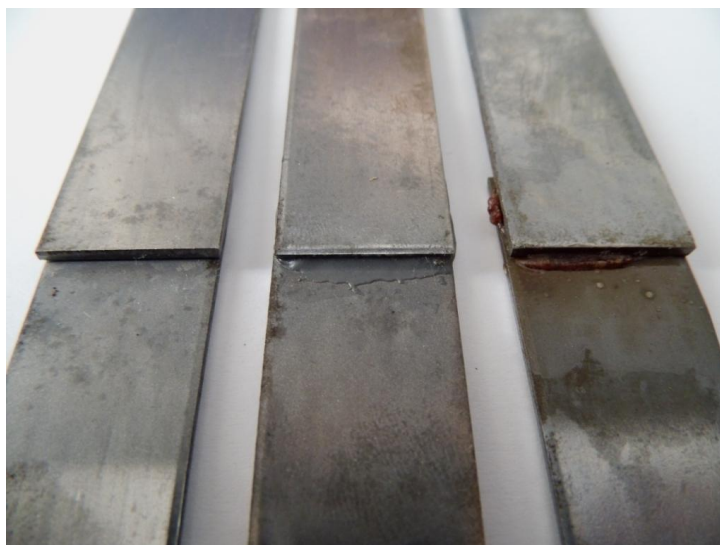
##### **Výroba lepených spojů vteřinovým lepidlem Alteco Super Glue SG – 12**

Na jeden ocelový pásek se aplikovala kapka lepidla, přitisknul se k němu druhý a následně bylo třeba lepidlo mezi pásy dokonale rozmístit, aby bylo v celé ploše lepeného spoje. Při manipulaci bylo třeba pracovat velmi rychle, neboť lepidlo rychle tuhlo. Ačkoliv výrobce lepidla udává, že lepidlo je plně zatížitelné už po několika minutách, přesto slepené spoje se zatížily ocelovými hranoly delší dobu. Takto se spoje nechal 24 hodin při 20 °C.

## Výroba lepených spojů lepidlem Alkapren 25

Na oba ocelové pásy se nanasla tenká vrstva lepidla. Po 15 minutách, když už pásy na dotek téměř nelepily, se pásy přitiskly k sobě. Při pokládání jednoho pásu na druhý bylo třeba postupovat velmi opatrně a plechy správně slícovat. Slepené spoje se zatížily ocelovými hranoly. Takto se spoje nechali 24 hodin při 20 °C.

Obr. 14 Lepené spoje – zleva Alteco Super Glue SG – 12, Bison Epoxi Metal, Alkapren 25



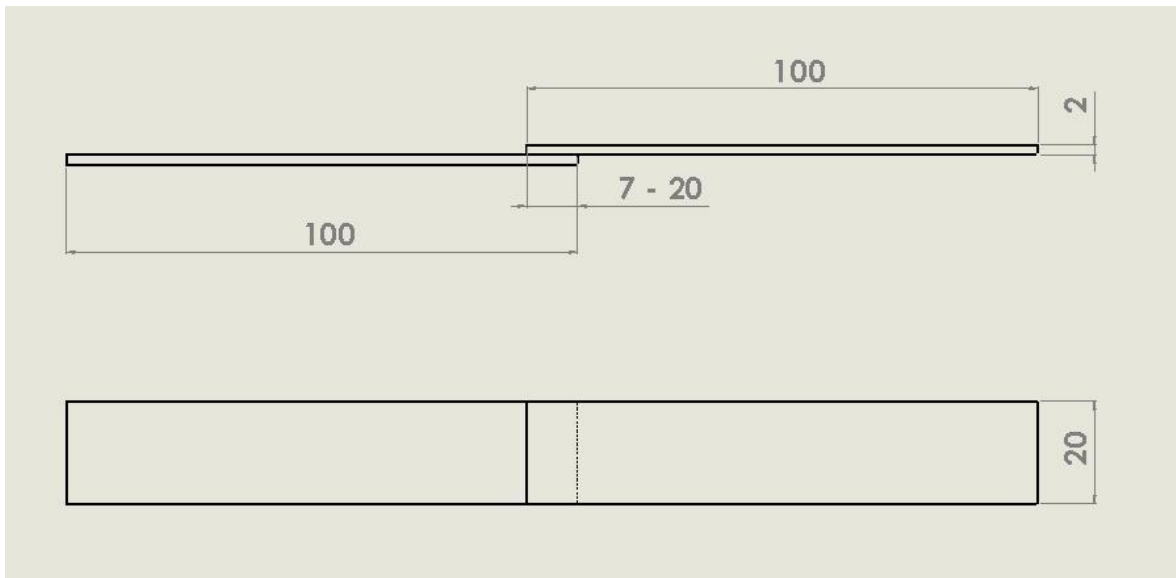
## 4.2 Zkoušení

Pro zjištění mechanických vlastností jednotlivých spojů byla použita zkouška smykem v tahu. Zkouška se prováděla na univerzálním zkušebním stroji (ZDM 5, rozsah síly 0 – 25 kN) s rychlostí zatěžování 6 mm/min. Vzorek se upnul do čelistí zmíněného univerzálního zkušebního stroje ve svislé poloze a provedlo se výše uvedené zatěžování. Během upínání vzorku by měla být shodná osa zatížení trhacího stroje s osou zkušebního vzorku. Rovněž bylo třeba zajistit, aby byl vzorek pevně upnutý mezi čelistmi a během zkoušky nedocházelo k jeho uvolňování. Vzorky se zatěžovaly až do jejich destrukce, ke které docházelo:

- v místě spoje
- porušením základního materiálu

Doba zkoušky výrazně závisela na druhu spoje. U svarových spojů byla doba měření velmi dlouhá, protože ve většině případů docházelo k porušení mimo spoj v základním materiálu. Základní materiál se vyznačoval velkou tažností, takže ocelové pásky výrazně „tekly“ za studena a protahovaly se.

Obr. 15 Zkouška tahem ve smyku



### 4.3 Matematické vztahy použité ke stanovení výsledků

K vyhodnocení základního materiálu byly použity vzorce pro výpočet mechanických vlastností materiálu (viz. vzorce 1, 2, 3, 4). Pro vyhodnocení jednotlivých metod spojování tenkých plechů byly použity statistické vzorce (viz. vzorce 5, 6, 7), kterými byl stanoven aritmetický průměr, směrodatná odchylka a variační koeficient.

#### 4.3.1 Výpočet a definice mechanických vlastností

##### Mez pevnosti v tahu

Mez pevnosti v tahu je smluvní napětí, odpovídající největšímu zatížení  $F_{max} \equiv F_m$ , které předchází porušení tyče.

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} [\text{MPa}] \quad (1) \quad [49]$$

Kde:  $F_m$  – nejvyšší zatížení, které předchází porušení tyče  
 $S_0$  – původní průřez zkušební tyče

### **Mez kluzu v tahu**

Mez kluzu v tahu je nejmenší napětí, které způsobí rozvoj výrazných plastických deformací.

$$R_e = \frac{F_e}{S_0} [\text{MPa}] \quad (2) \quad [49]$$

Kde:  $F_e$  – síla, při které se začne zkušební tyč značně výrazně prodlužovat  
 $S_0$  – původní průřez zkušební tyče

### **Stanovení tažnosti**

Tažnost je poměrná trvalá deformace.

$$A = \varepsilon_u = \frac{\Delta L}{L_0} \cdot 100 = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100[\%] \quad (3) \quad [49]$$

Kde:  $L_0$  – původní délka zkušební tyče  
 $L_u$  – délka zjištěná po přetržení zkušební tyče

### **Kontrakce**

Kontrakce je největší trvalé zúžení průměru, odměřené po přetržení v místě lomu.

$$Z = \psi_u = \frac{\Delta S}{S_0} \cdot 100 = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100[\%] \quad (4) \quad [49]$$

Kde:  $S_0$  – původní průřez zkušební tyče  
 $S_u$  – průřez zjištěný po přetržení zkušební tyče



### 4.3.2 Statistické vzorce

#### Aritmetický průměr

Je součtem všech naměřených hodnot dělený rozsahem souboru [32].

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (5) \quad [32]$$

Kde:  $x_i$  – naměřená hodnota

$n$  – počet naměřených hodnot

#### Směrodatná odchylka

Je druhou mocninou rozptylu. Rozptyl je aritmetický průměr čtverců individuálních odchylek hodnot sledovaného znaku od průměru [32].

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (6) \quad [32]$$

Kde:  $x_i$  – naměřená hodnota

$n$  – počet naměřených hodnot

$\bar{x}$  – průměr z naměřených hodnot

#### Variační koeficient

Je poměrem směrodatné odchylky a aritmetického průměru. Vyjadřuje relativní variabilitu souboru naměřených hodnot a srovnává variabilitu více souborů o stejné obecné úrovni [32].

$$V = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100[\%] \quad (7) \quad [32]$$

Kde:  $s$  – směrodatná odchylka

$\bar{x}$  – průměr z naměřených hodnot

## **4.4 Vyhodnocení experimentů a jejich diskuze**

V této kapitole je uvedena pevnost spojů zhotovených pomocí jednotlivých technologií.

### **4.4.1 Zkoušení vlastností základního materiálu**

Na zkušební tyčce o šířce 12,2 mm a tloušťce materiálu 2 mm byla zjištěna mez pevnosti v tahu 316,5 MPa, mez kluzu v tahu 200 MPa. Tažnost materiálu byla 33 % a kontrakce 78 %. Z uvedených hodnot lze usoudit, že únosnost pásku bez spoje při šířce 20 mm a tloušťce 2 mm bude 12 660 N.

### **4.4.2 Svařování**

#### **Svařování TIG**

Z výsledků měření je patrné, že spoje zhotovené metodou TIG vykazovaly průměrnou pevnost 12 541 N, při směrodatné odchylce 113 N a variačním koeficientu 0,9 %. K destrukci ve spoji došlo u 40 % vzorků, což bylo způsobeno s největší pravděpodobností ovlivněním základního materiálu v místě svaru nebo částečným zeslabením spojovaných pásků upálením hrany.

#### **Bodové svařování**

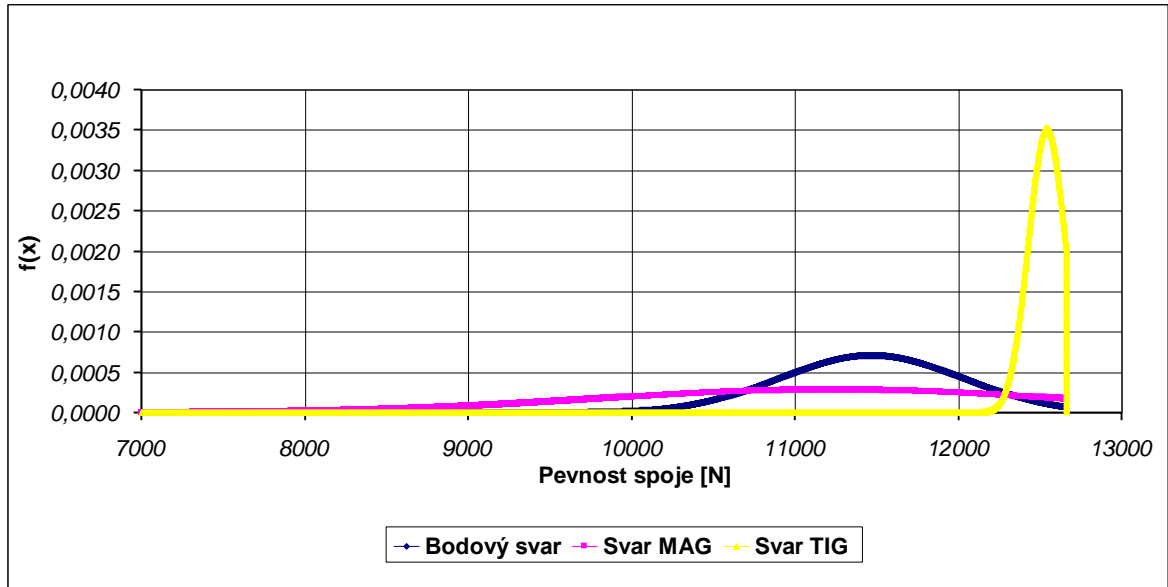
Bodové svařování vykazovalo průměrnou pevnost 11 467 N, při směrodatné odchylce 561 N a variačním koeficientu 4,9 %. K destrukci došlo vždy v místě spoje. U 60 % vzorků došlo k roztržení za čočkou v teplem ovlivněné oblasti základního materiálu, 20 % vzorků se porušilo stříhem svarové čočky a u 20 % vzorků došlo k vytržení čočky ze základního materiálu.

#### **Svařování MAG**

Z výsledků měření je patrné, že metoda MAG vykazovala průměrnou pevnost 11 226 N, při směrodatné odchylce 1 406 N a variačním koeficientu 12,5 %. Pouze u 20 % vzorků došlo k destrukci mimo spoj. U některých vzorků nedošlo v místě spoje k dokonalému spojení svarového kovu se základním materiálem vlivem malé šířky materiálu, na které se nestačil ocelový pásek dostatečně prohřát. Lepších výsledků by bylo

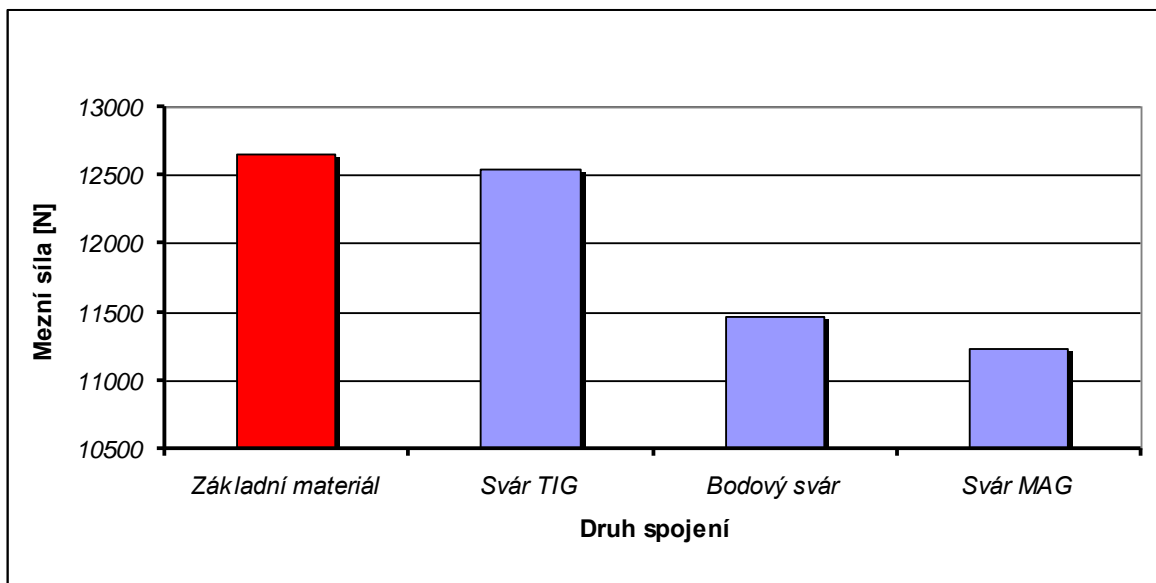
dosaženo, kdyby byly spojované pásky před svařením přehřáté. Výsledky také naznačují, že metoda MAG neposkytuje stabilní tak výsledky jako ostatní metody svařování.

Graf 1 Hustota normálního rozdělení pravděpodobnosti pevnosti svarových spojů



Křivka u všech svarových spojů končí na hodnotě 12 660 N, tedy na mezi pevnosti základního materiálu a od této hodnoty jde křivka kolmo dolů.

Graf 2 Porovnání svarových spojů



Z grafu (graf 2) zhotoveného při šířce materiálu 20 mm a tloušťce 2 mm je patrné, že nejvyšší pevnost ze svarových spojů vykazuje metoda TIG, která dosahovala průměrně 99 % pevnosti základního materiálu. Bodový svar dosahoval průměrně 91 % pevnosti základního materiálu, což byla vyšší hodnota než u metody MAG, která dosahovala průměrně 89 % pevnosti základního materiálu.

### **4.4.3 Pájení**

#### **Mosazná pájka**

Z výsledků měření je patrné, že mosazná pájka vykazovala průměrnou pevnost 11 968 N, při směrodatné odchylce 2 034 N a variačním koeficientu 16,9 %. K destrukci docházelo v 90 % případů mimo spoj, zbylých 10 % spojů byly zmetky, u kterých došlo k porušení spoje vlivem špatného zatečení pájky.

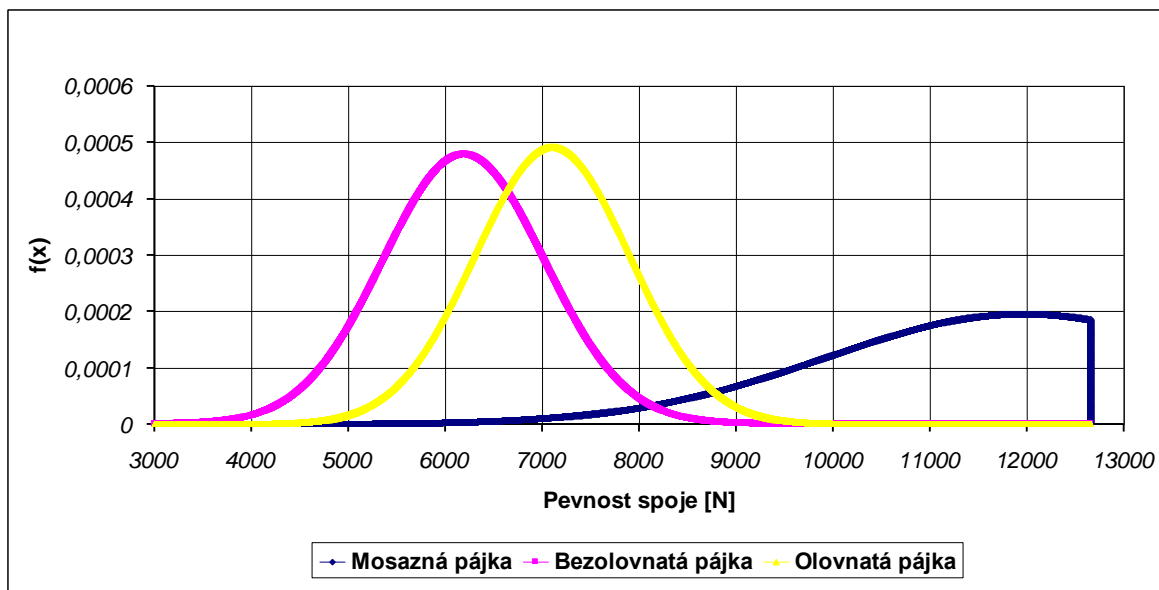
#### **Bezolovnatá pájka**

Bezolovnatá pájka vykazovala průměrnou pevnost 6 195 N, při směrodatné odchylce 834 N a variačním koeficientu 13,5 %. U všech spojů došlo k destrukci ve spoji. Po rozrušení některých spojů byla vidět mírná pórovitost pájky, která ne zcela ideálně smáčela daný ocelový plech.

#### **Olovnatá pájka**

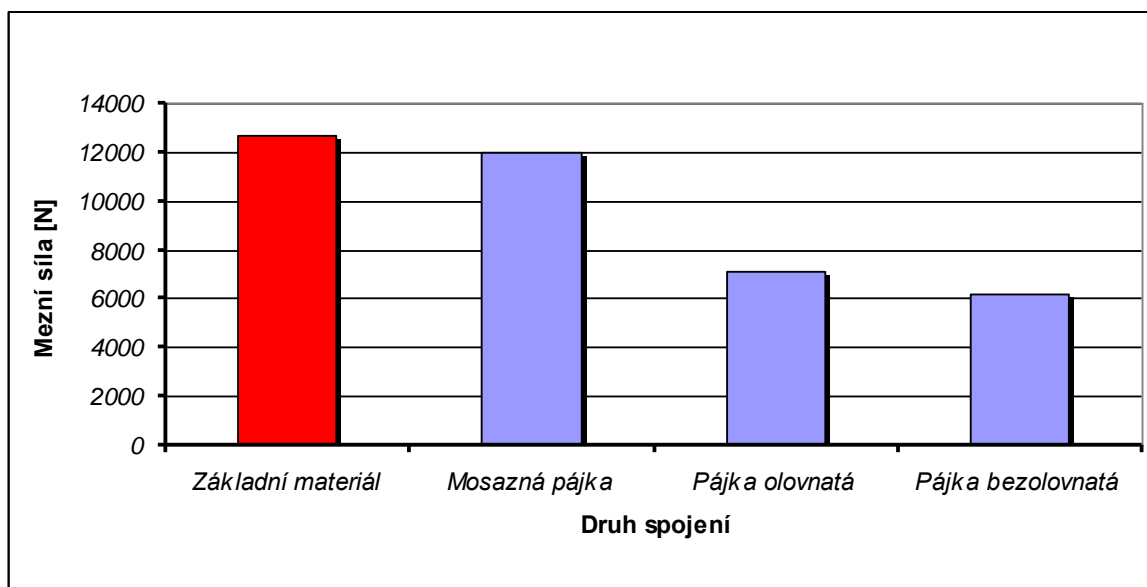
Olovnatá pájka vykazovala průměrnou pevnost 7 102 N, při směrodatné odchylce 810 N a variačním koeficientu 11,4 %. Všechny spoje se destruovaly v místě spoje. V místě spojů u všech vzorků pájka ideálně smáčela daný ocelový plech a vytvořila kvalitní spoj.

Graf 3 Hustota normálního rozdělení pravděpodobnosti pevnosti pájených spojů



Křivka u spojů zhotovených mosaznou pájkou končí na hodnotě 12 660 N, tedy na mezi pevnosti základního materiálu a od této hodnoty jde křivka kolmo dolů.

Graf 4 Porovnání pájených spojů



Z grafu (graf 4) zhotoveného při šířce materiálu 20 mm, tloušťce 2 mm a přeplátováním 7 mm je patrné, že nejvyšší únosnost z použitých pájek měla mosazná pájka. Mosazná pájka dosahovala průměrně 95 % pevnosti základního materiálu. Pájka olovnatá a bezolovnatá vykazovaly podstatně nižší únosnost, dosahující přibližně 50 % pevnosti základního materiálu.

#### 4.4.4 Nýtované spoje

##### Ocelový rozklepávací nýt

Ocelový rozklepávací nýt vykazoval průměrnou pevnost 4 047 N, při směrodatné odchylce 147 N a variačním koeficientu 3,6 %. K porušení došlo vždy v místě spoje vlivem přestřížení nýtu.

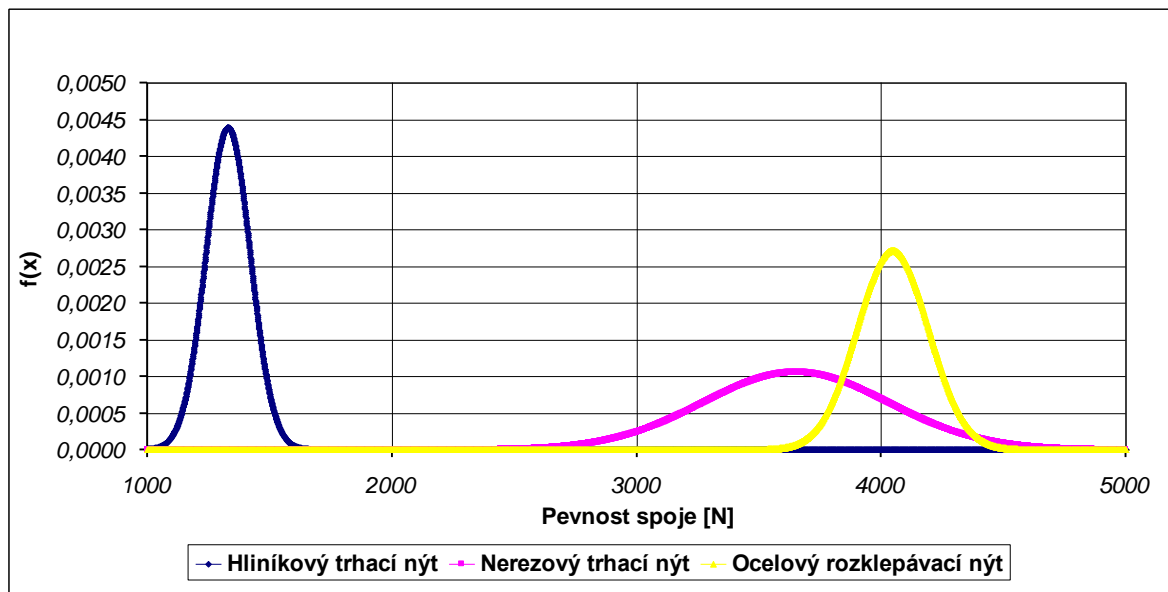
##### Trhací nerezový nýt

Nerezový nýt vykazoval průměrnou pevnost 3 653 N, směrodatnou odchylku 379 N a variační koeficient 10,4 %. K destrukci došlo pokaždé v místě spoje. Téměř ve všech případech přešel stříh nýtu pozvolně na tah a nýt se přetrhl. Tato skutečnost byla způsobena tím, že při zvýšeném tahu se začaly pásky ohýbat.

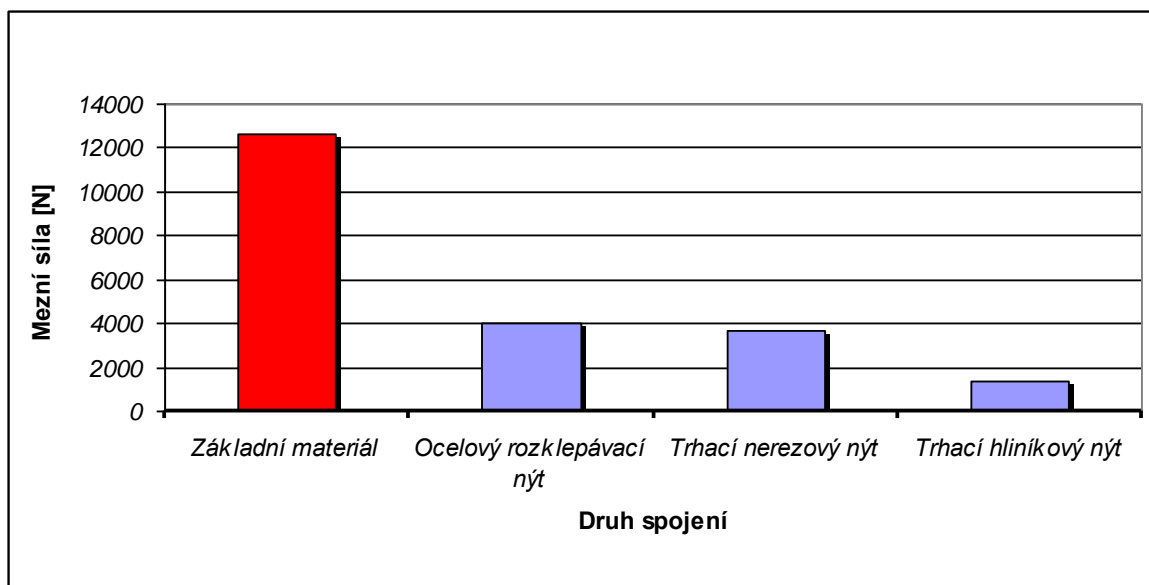
##### Trhací hliníkový nýt

Hliníkový nýt vykazoval průměrnou pevnost 1 330 N, směrodatnou odchylku 91 N a variační koeficient 6,8 %. K porušení došlo vždy v místě spoje vlivem přestřížení nýtu.

Graf 5 Hustota normálního rozdělení pravděpodobnosti pevnosti nýtových spojů



Graf 6 Porovnání nýtových spojů



Z grafu (graf 6) zhotoveného při šířce materiálu 20 mm, tloušťce 2 mm a spojení jedním nýtem ve středu pásků je patrné, že nejvyšší průměrné pevnosti dosahoval spoj spojený ocelovým rozklepávacím nýtem. Tento spoj vykazoval průměrnou pevnost dosahující 32 % pevnosti základního materiálu. Spoj zhotovený pomocí nerezového nýtu dosahoval 28 % pevnosti základního materiálu. Podstatně nižších hodnot dosahoval nýt hliníkový, jehož hodnota byla 11 % pevnosti základního materiálu.

#### 4.4.5 Nekonenční metody spojování

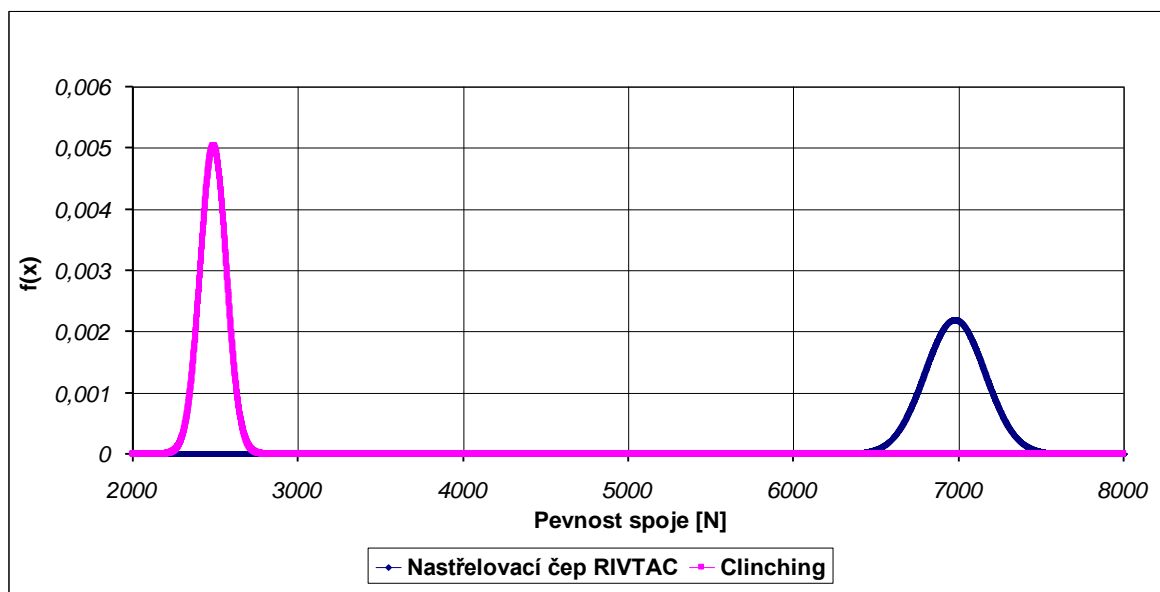
##### Nastřelovací čep RIVTAC

Spoje zhotovené pomocí nastřelovacího čepu RIVTAC dosahovaly průměrné pevnosti 6 977 N při směrodatné odchylce 182 N a variačním koeficientu 2,6 %. K destrukci došlo u všech vzorků v místě spoje a to vytržením čepu ze základního materiálu.

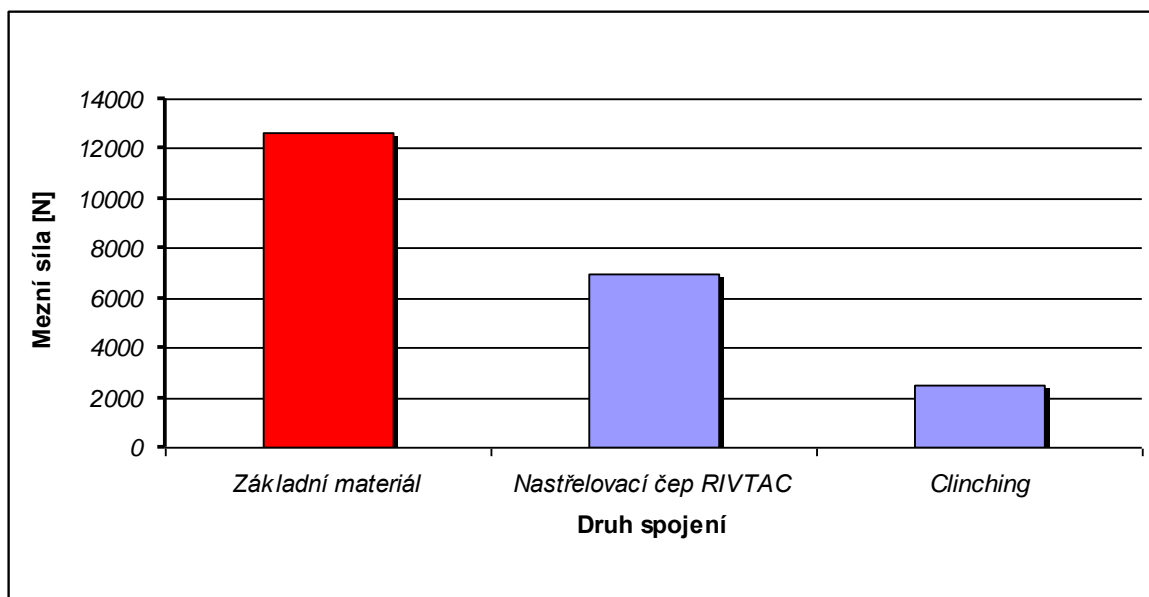
##### Clinching

Clinching spoje dosahovaly průměrné pevnosti 2 490 N při směrodatné odchylce 79 N a variačním koeficientu 3,2 %. U všech vzorků došlo k destrukci v místě spoje a to smykem protlačené čočky.

Graf 7 Hustota normálního rozdělení pravděpodobnosti pevnosti nekonvenčních metod spojování



Graf 8 Porovnání nekonvenčních metod spojování



Z grafu (graf 8) zhotoveného při šířce materiálu 20 mm a tloušťce 2 mm je patrné, že nejvyšší pevnosti dosahoval spoj zhotovený pomocí nastřelovacího čepu RIVTAC, který dosahoval průměrně 55 % pevnosti základního materiálu. Spoj zhotovený pomocí technologie clinching dosahoval průměrně 20 % pevnosti základního materiálu.



#### 4.4.6 Lepené spoje

##### Lepidlo Alteco Super Glue SG – 12

Lepený spoj lepidlem Alteco Super Glue SG – 12 vykazoval průměrnou pevnost 3 795 N, směrodatnou odchylku 321 N a variační koeficient 8,5 %. U všech lepených spojů došlo k adhezivně kohezivnímu porušení spoje.

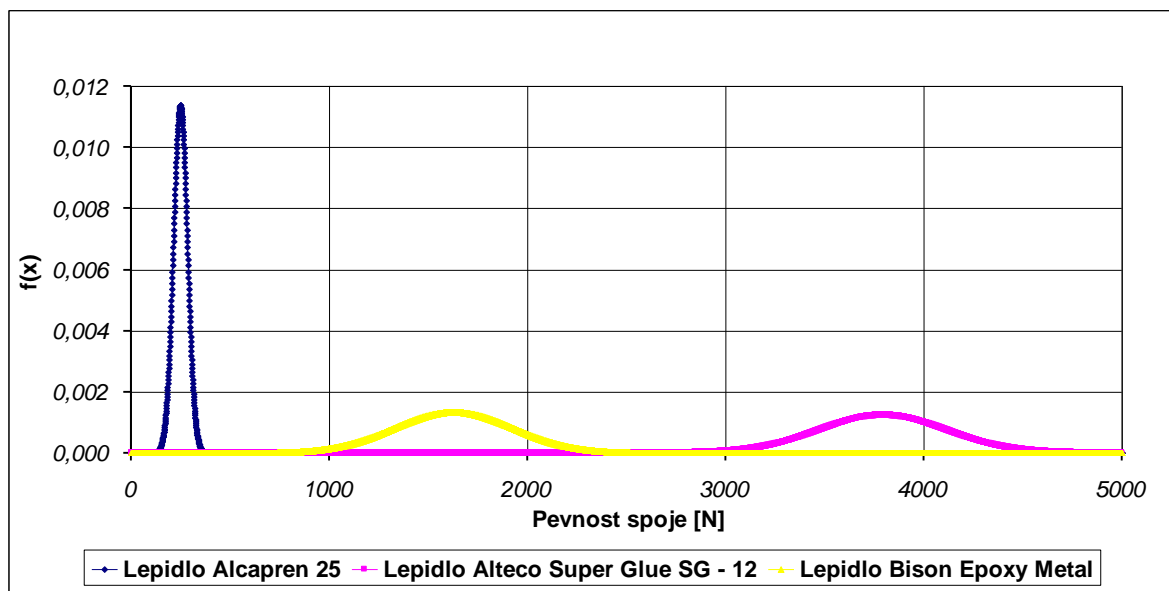
##### Lepidlo Bison Epoxy Metal

Lepený spoj lepidlem Bison Epoxy Metal vykazoval průměrnou pevnost 1 627 N, směrodatnou odchylku 297 N a variační koeficient 18,3 %. Po destrukci bylo u 50 % vzorků zjištěno adhezivně kohezivní porušení a u 50 % spojů došlo ke kohezivnímu porušení spoje.

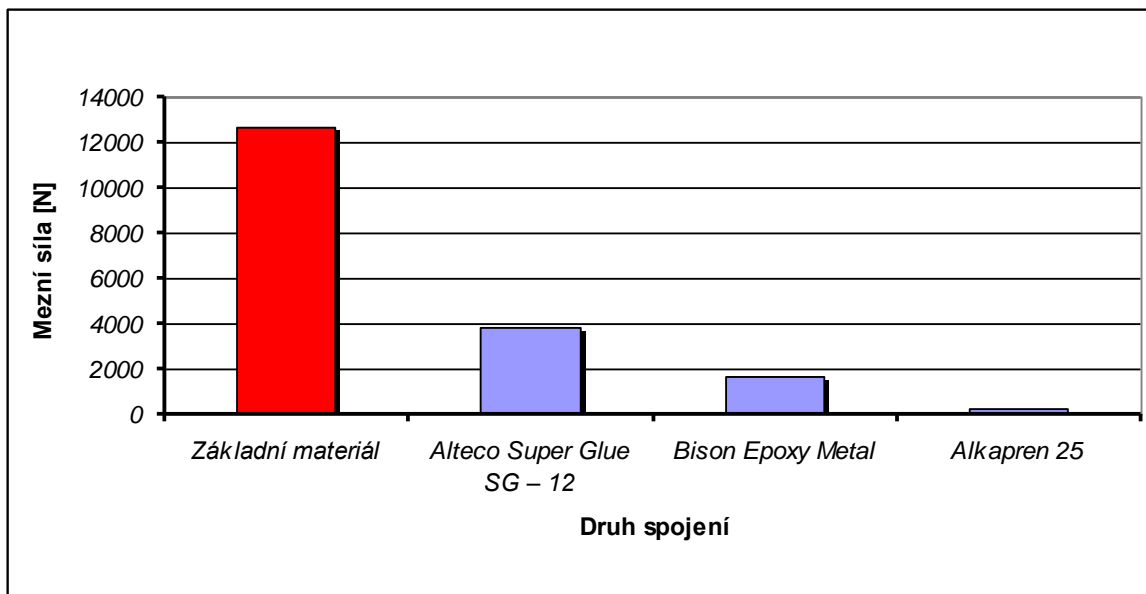
##### Lepidlo Alcapren 25

Lepený spoj lepidlem Alcapren měl průměrnou pevnost 249 N, směrodatnou odchylku 35 N a variační koeficient 14,1 %. U všech vzorků bylo zjištěno adhezivní porušení lepeného spoje.

Graf 9 Hustota normálního rozdělení pravděpodobnosti pevnosti lepených spojů



Graf 10 Porovnání lepených spojů

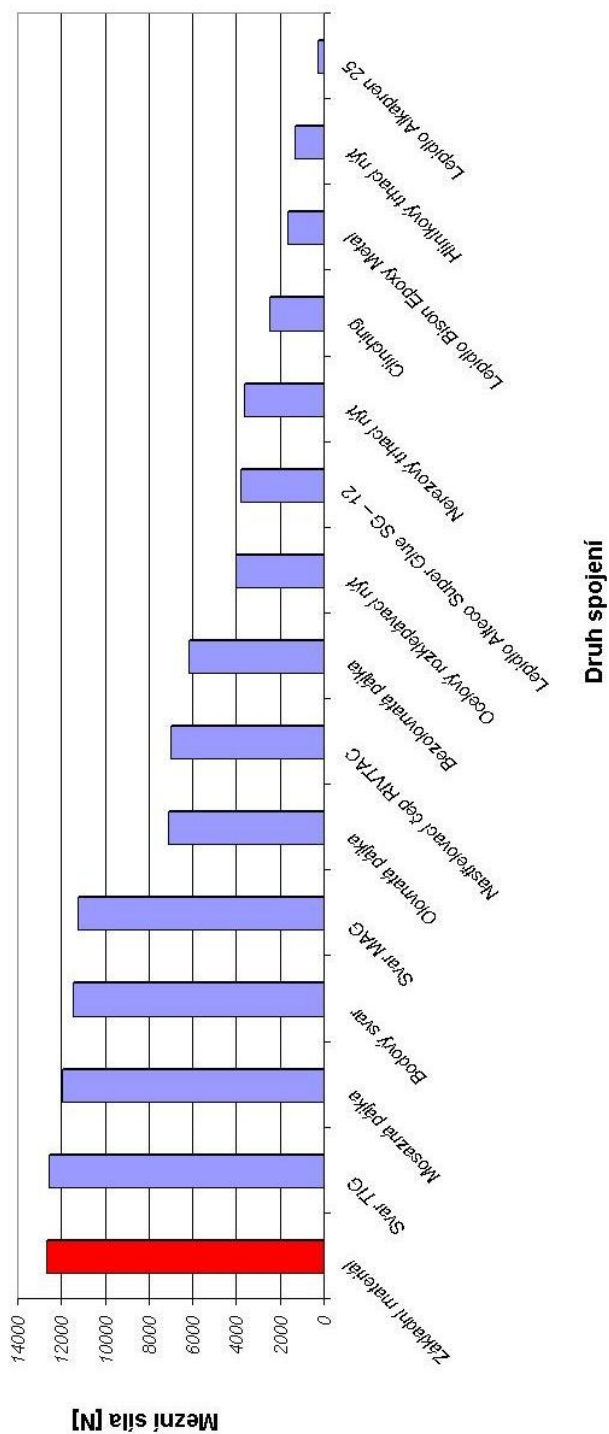


Z grafu (graf 10) zhotoveného při šířce materiálu 20 mm, tloušťce 2 mm a přeplátování 12 mm je patrné, že nejvyšší únosnosti dosahovaly spoje lepené pomocí lepidla Alteco Super Glue SG – 12, které dosahovaly průměrné pevnosti 30 % pevnosti základního materiálu. Lepidlo Bison Epoxy Metal dosahovalo průměrné pevnosti 13 % pevnosti základního materiálu. Lepidlo Alkapren 25 dosahovalo ve srovnání s předchozími lepidly extrémně nízkých hodnot, jeho hodnota byla 2 % pevnosti základního materiálu.

#### 4.4.7 Absolutní porovnání jednotlivých metod spojování

V této kapitole je uvedeno absolutní porovnání jednotlivých metod spojování a jejich kategorizace podle velikosti zatížení.

Graf 11 Absolutní porovnání jednotlivých metod spojování



Z grafu (graf 11) zhotoveného při šířce materiálu 20 mm a tloušťce 2 mm je patrné, rozdělení spojů podle velikosti zatížení. Pro velmi namáhané spoje jsou nejvhodnější metody svařování TIG, MAG, bodové svařování a tvrdé pájení mosaznou pájkou, které dosahují 89 až 99 % pevnosti základního materiálu.

Pro středně namáhané spoje je vhodná olovnatá, bezolovnatá pájky a nastřelovací čep RIVTAC. Pevnost těchto metod se pohybuje od 49 do 58 % pevnosti základního materiálu.

Pro nízko namáhané spoje se hodí spojení pomocí ocelového rozklepávacího nýtu, nerezového trhacího nýtu, clinchingu a lepidla Alteco Super Glue SG – 12, jejichž pevnost se pohybuje od 20 do 32 % pevnosti základního materiálu.

Spoje zhotovené pomocí lepidla Bison Epoxy Metal, lepidla Alkapren 25 a hliníkového trhacího nýtu dosahovaly 2 až 13 % pevnosti základního materiálu, jsou tedy vhodné pouze pro nenáročné spoje.

## 5 Závěr

Cílem experimentu bylo stanovit smykovou pevnost spojů zhotovených pomocí jednotlivých metod spojování a jejich vzájemné porovnání mezi sebou.

Z hlediska pevnosti se ukázaly jako nejpevnější svarové spoje, jejichž pevnost v závislosti na použité metodě dosahovala 89 až 99 % pevnosti základního materiálu. Variační koeficient dosahoval u svarových spojů 0,9 až 12,5 %. Nejpevnějších spojů a nejvyrovnanějších výsledků dosahovala metoda TIG.

Pájené spoje dosahovaly v závislosti na použité pájce 49 až 90 % pevnosti základního materiálu. Tvrdá mosazná pájka vykazovala přibližně o 40 % vyšší hodnoty než použité měkké pájky. Variační koeficient u pájených spojů se pohyboval v rozmezí 11,4 až 16,9 %. Z pájených spojů poskytovala nejvyrovnanější výsledky olovnatá pájka.

Nýtové spoje vykazovaly v závislosti na použitém nýtu 11 až 32 % pevnosti základního materiálu. U nýtových spojů se pohyboval variační koeficient 3,6 až 10,4 %. Nejvyrovnanější výsledky a nejpevnější spoje poskytoval ocelový rozklepávací nýt.

Pro nýtové spoje představují velkou konkurenci nekonvenční metody spojování. Spoje zhotovené pomocí nastřelovacího čepu RIVTAC dosahovaly 55 % pevnosti základního materiálu při variačním koeficientu 2,6 %, což jsou podstatně lepší hodnoty, než jakých bylo dosaženo pomocí nýtování. Clinchingem bylo dosaženo pouze 20 % pevnosti základního materiálu, což je hodnota nižší než u nýtování a variačního koeficientu 3,2 %.

Lepené spoje dosahovaly v závislosti na použitém lepidle 2 až 30 % pevnosti základního materiálu. Variační koeficient se pohyboval v rozmezí 8,5 až 18,3 %. Nejvyrovnanějších výsledků bylo dosaženo pomocí lepidla Alteco Super Glue SG – 12, které i značně přesahovalo pevnosti ostatních použitých lepidel.

Nutno lze říci, že výsledky experimentu jsou vztaženy k použitému spojovanému plechu a tedy je nelze brát jako absolutní. Při použití jiné tloušťky plechu, materiálu, velikosti přeplátování a počtu spojovacích prvků by se hodnoty pevnosti u některých metod značně změnily.

Spojování tenkých plechů se uplatňuje v mnoha odvětvích průmyslu, kde se volba technologie odvíjí od velikosti zatížení, počtu kusů, rychlosti vytvoření spoje, druhu spojovaných materiálů, kombinaci materiálů, ale i na celkovém vzhledu spoje.

Lze předpokládat, že postupem času se vyvinou další metody pro spojování tenkých plechů, které opět zvýší efektivitu výroby, sníží náklady na vytvoření spoje, budou ohleduplnější k životnímu prostředí a zvýší konkurenční schopnost. Dobrým příkladem tohoto trendu je technologie spoje pomocí nastřelovacích čepů RIVTAC, které díky svojí bezkonkurenční rychlosti vytvoření spoje a vysoké pevnosti v mnoha případech začínají vytlačovat nýtování.

## Seznam použité literatury:

- [1] ABE, Y. – KISHIMOTO, M. – KATO, T. – MORI, K. *Joining of the hot – dip coated steel sheets by mechanical clinching*. Japan: Springer/ESAFORM 2009. 193 p.
- [2] ADAMKA, J. *Základy zvarovania, delenia a spájkovania kovov*. 2. uprav. vyd. Bratislava: ALFA 1986. 544 s.
- [3] BERNASOVÁ, Eva et. al. *Svařování*. 1. vydání. Praha: SNTL, 1987. 200 s.
- [4] BLAŠČÍK, F. et. al. *Technológia tvárnenia, zlievárenstva a zvarovania*. Bratislava: ALFA 1987. 832 s.
- [5] BÖLLHOFF spol. s.r.o. *Firemní literatura a prezentace*. Hostivice: Böllhoff spol. s.r.o.
- [6] BROŽEK, M. *Strojírenská technologie 1, Lepení*. Přednášky. Praha: ČZU, 2008
- [7] BROŽEK, M. *Strojírenská technologie 1, Pájení*. Přednášky. Praha: ČZU, 2008
- [8] BROŽEK, M. *Strojírenská technologie 1, Svařování*. Přednášky. Praha: ČZU, 2008
- [9] HOLMAN, B. Diplomová práce, *Technologické vlastnosti lepených spojů*. Praha: ČZU, 2005. 62 s.
- [10] KOMÁREK, Z. *Přehled lepidiel*. Bratislava: ALFA, 1987. 413 s.

- [11] KOVAŘÍK, R. – ČERNÝ, F. *Technologie svařování*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni. 2008. 186 s.
- [12] KREJČOK, V. *Speciální technologie*. Praha: SPN 1952. 46 s.
- [13] KRUCIPÁL, J. *Teorie svařování*. 1. vydání. Praha: SNTL, 1986. 272 s
- [14] KŘÍŽ, V. *Souhrn nejvíce používaných způsobů svařování včetně pájení*. Praha: NTL 1986. 109 s.
- [15] LANCASTER, J. F. *The metallurgy of welding, brazing and soldering*. New York: Elsevier, 1965. 291 p.
- [16] MANKO, H. H. *Solders and Soldering*. New York: MacGraw – Hill, 1964. XV, 323 p.
- [17] MELEZÍNEK, O. *Lepení kovů ve strojírenství*. Praha: SNTL, 1961. 118 p.
- [18] MUCHA, J. – KAŠČÁK, L. – SPIŠÁK, E. *Joining the car – body sheets using variol thickness and mechanical property arrangements*, Poland: 2011. 14 p.
- [19] MUCHA, J. *The analysis of the rectangular clinching joint in the Shearing Test*, Poland: 2011. 5 p.
- [20] NĚMEC, K. *Nýtování*. Praha: SNTL, 1965. 64 s.
- [21] PETERKA, J. *Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství*. Praha: NTL, 1980. 788 s.



- [22] ROBERTS, P. *Industrial brazing practice*. New York: CRC Press, 2004. 383 p.
- [23] RŮŽA, V. *Pájení*. 2. uprav. a dopl. vyd. Praha: NTL 1988. 452 s.
- [24] STEDFELD, R. L. *Metals Handbook*. Vol. 6., Welding, brazing and soldering. 9.ed. Metals Park, Oh.,New York: American Society for Metals, 1983. XVII, 1152 p.
- [25] WEMAN, K. *Welding Processes Handbook*. 2003. vyd. Cambrige: Woodhead, 2003. 193 p.
- [26] WILFRIED H. BARBEAU a spol. *World Wide Design Handbook*. 1.české vydání. Mnichov: Loctite European Group, 1998. 52 s.
- [27] WOLF, J. Bakalářská práce, *Přídavné materiály pro pájení*. Praha: ČZU, 2010. 35 s.

## Elektronické zdroje:

- [28] *200803131900\_tig\_princip2.gif*. [online]. Vystaveno 2007 [cit. 2012 – 03 – 27].  
Dostupné z: [http://www.svarbazar.cz/phprs/image/200803131900\\_tig\\_princip2.gif](http://www.svarbazar.cz/phprs/image/200803131900_tig_princip2.gif)
- [29] Antonín, K. *BalTec – radiální nýtování*. [online]. Vystaveno 2005  
[cit. 2012 – 03 – 27]. Dostupné z:  
[http://www.infocube.cz/images/kovoinzert/clanky/BalTec-radialni%20nyovani\\_44.pdf](http://www.infocube.cz/images/kovoinzert/clanky/BalTec-radialni%20nyovani_44.pdf)
- [30] *Cross-Section-of-rivet.jpg*. [online]. Vystaveno 2005 [cit. 2012 – 03 – 27].  
Dostupné z: <http://www.prepaintedmetal.eu/repository/PICTURES%20LIBRARY>
- [31] *Explanation\_graphic.jpg*. [online]. Vystaveno 2005 [cit. 2012 – 03 – 27].  
Dostupné z:  
[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/eb/Explanation\\_graphic.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/eb/Explanation_graphic.jpg)
- [32] Friesl, M. *Pravděpodobnost a statistika*. [online]. Vystaveno 2001  
[cit. 2012 – 03 – 27]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~friesl/hpsb/tit.html>
- [33] Gregor, M. *Lepení kovů* [online]. Vystaveno 2008 [cit. 2012 – 03 – 27].  
Dostupné z: <http://www.uhu.cz/lepeni-kovu>
- [34] Kořán, P. *Svařování laserem – poslední trendy*. [online]. Vystaveno 2005  
[cit. 2012 – 03 – 27]. Dostupné z:  
<http://www.istrojirenstvi.cz/materialy/precist.php?navez=svarovani-laserem-posledni-trendy&id=20>
- [35] Mádle, L. *Perspektivní směry ve svařování*. [online]. Vystaveno 2005  
[cit. 2012 – 03 – 27]. Dostupné z: [http://technik.ihned.cz/1-10015230-15931930-800000\\_detail-7a](http://technik.ihned.cz/1-10015230-15931930-800000_detail-7a)
- [36] *MIG/MAG svařování*. [online]. Vystaveno 2005 [cit. 2012 – 03 – 27].  
Dostupné z: [http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-B97CC6EC-28FC120D/fronius\\_ceska\\_republika/hs.xsl/29\\_3916.htm](http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-B97CC6EC-28FC120D/fronius_ceska_republika/hs.xsl/29_3916.htm)
- [37] MIG pájení pozinkovaných autokarosářských dílů [online].  
Vystaveno 2006 [cit. 2012 – 03 – 27]. Dostupné z: <http://automig.cz/o-svarovani/metody/>

- [38] MM průmyslové spektrum. *O moderním tváření plechů poprvé* [online].  
Vystaveno 2002 [cit. 2012 – 03 – 27]. Dostupné z:  
<http://www.mmspektrum.com/clanek/o-modernim-tvareni-plechu-poprve.html>
- [39] Novotný, M. *Clinching přináší možnosti spojování plechů za studena*. [online].  
Vystaveno 2008 [cit. 2012 – 03 – 27]. Dostupné z:  
<http://www.mmspektrum.com/clanek/clinching-prinasi-moznosti-spojovani-plechu-za-studena.html>
- [40] *PICTURES%20LIBRARY/3%20joints.jpg*. [online]. Vystaveno 2005  
[cit. 2012 – 03 – 27]. Dostupné z:  
<http://www.prepaintedmetal.eu/repository/PICTURES%20LIBRARY/3%20joints.jpg>
- [41] *Rozdělení spojů*. [online]. Vystaveno 2006 [cit. 2012 – 03 – 27]. Dostupné z:  
<http://coptel.coptkm.cz/index.php?action=2&doc=26851&docGroup=4915&cmd=0&instance=2>
- [42] *Spojování plechů TOX – protlačováním spojů – prolisováním*. [online].  
Vystaveno 2006 [cit. 2012 – 03 – 27]. Dostupné z:  
<http://www.kovaz.cz/stranky/tiskove-zpravy/tox-spojovani-plechu-prolisovanim.htm>
- [43] Svařování TIG. [online]. Vystaveno 2005 [cit. 2012 – 03 – 27].  
Dostupné z:  
<http://products.esab.com/Templates/T095.asp?id=72887&MainHeadCode=Stainless>
- [44] Technický týdeník. *Pájení laserem – technologie budoucnosti*. [online].  
Vystaveno 2003 [cit. 2012 – 03 – 27]. Dostupné z:  
<http://www.czechdesign.cz/index.php?status=c&clanek=40&lang=1>
- [45] *TIG/WIG svařování*. [online]. Vystaveno 2005 [cit. 2012 – 03 – 27].  
Dostupné z: [http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-4BF07230-87FB5510/fronius\\_ceska\\_republika/hs.xsl/29\\_3920.htm](http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-4BF07230-87FB5510/fronius_ceska_republika/hs.xsl/29_3920.htm)
- [46] Vybíral, P. *Praktikum kovy*. [online]. Vystaveno 2007 [cit. 2012 – 03 – 27].  
Dostupné z: <http://www.ped.muni.cz/wtech/elearning/PTK/ptk.pdf>

- [47] *Weld\_Mig.gif*. [online]. Vystaveno 2005 [cit. 2012 – 03 – 27].  
Dostupné z: [http://www.arcabrasives.com/Images/Weld\\_Mig.gif](http://www.arcabrasives.com/Images/Weld_Mig.gif)
- [48] Zatloukal, P. *Svařování laserem*. [online]. Vystaveno 2007 [cit. 2012 – 03 – 27].  
Dostupné z: <http://www.welding.cz/laser/svarovani.htm>
- [49] *Zkouška tahem*. [online]. Vystaveno 2004 [cit. 2012 – 03 – 27].  
Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~dyxon/DATA/Nauka%20o%20M/Zkouska.pdf>

## Seznam obrázků a grafů:

### Seznam obrázků:

Obr. 1 Základní názvy svarového spoje [8] . . . . .	3
Obr. 2 Svařování metodou TIG [28] . . . . .	8
Obr. 3 Příčný řez pájeným spojem [7] . . . . .	9
Obr. 4 Pájení metodou MIG [47] . . . . .	13
Obr. 5 Nýtový spoj . . . . .	16
Obr. 6 Orbitální nýtování [31] . . . . .	18
Obr. 7 Spoj s narážecím nýtem [30] . . . . .	20
Obr. 8 Spoj clinching [30] . . . . .	21
Obr. 9 Příčný řez lepeným spojem [6] . . . . .	22
Obr. 10 Svarové spoje – zleva svar TIG, svar MAG, bodový svar . . . . .	33
Obr. 11 Pájené spoje – zleva mosazná pájka, olovnatá pájka, bezolovnatá pájka . . . . .	34
Obr. 12 Nýtové spoje – zleva ocelový rozklepávací nýt, nerezový trhací nýt, hliníkový trhací nýt . . . . .	35
Obr. 13 Nekonvenční metody spojování – zleva Clinching, nastřelovací čep RIVTAC . . . . .	36
Obr. 14 Lepené spoje – zleva Alteco Super Glue SG – 12, Bison Epoxy Metal, Alkapren 25 . . . . .	37
Obr. 15 Zkouška tahem ve smyku . . . . .	38

### Seznam grafů:

Graf 1 Hustota normálního rozdělení pravděpodobnosti pevnosti svarových spojů . . . . .	42
Graf 2 Porovnání svarových spojů. . . . .	42
Graf 3 Hustota normálního rozdělení pravděpodobnosti pevnosti pájených spojů . . . . .	44
Graf 4 Porovnání pájených spojů . . . . .	44
Graf 5 Hustota normálního rozdělení pravděpodobnosti pevnosti nýtových spojů . . . . .	45
Graf 6 Porovnání nýtových spojů . . . . .	46
Graf 7 Hustota normálního rozdělení pravděpodobnosti pevnosti nekonvenčních metod spojování . . . . .	47
Graf 8 Porovnání nekonvenčních metod spojování . . . . .	47
Graf 9 Hustota normálního rozdělení pravděpodobnosti pevnosti lepených spojů . . . . .	48

Graf 10 Porovnání lepených spojů . . . . .	49
Graf 11 Absolutní porovnání metod spojování . . . . .	50

Příloha I: Naměřené hodnoty svařování

Svar TIG	Přepřátování	Šířka	Destrukční síla	Porucha	Průměrná síla	Směrodatná odchylka	Variační koef.
Číslo vzorku	mm	mm	N	-	N	N	%
1	7	20	12680	plech	12541	113,083057	0,901706857
2	7	20	12320	spoj			
3	7	20	12580	plech			
4	7	20	12550	spoj			
5	7	20	12650	plech			
6	7	20	12520	plech			
7	7	20	12480	plech			
8	7	20	12500	spoj			
9	7	20	12680	plech			
10	7	20	12450	spoj			

Svar MAG	Přepřátování	Šířka	Destrukční síla	Porucha	Průměrná síla	Směrodatná odchylka	Variační koef.
Číslo vzorku	mm	mm	N	-	N	N	%
1	7	20	8450	spoj	11226	1406,020389	12,52467832
2	7	20	12550	plech			
3	7	20	10550	spoj			
4	7	20	12500	spoj			
5	7	20	10300	spoj			
6	7	20	12550	plech			
7	7	20	12100	spoj			
8	7	20	9780	spoj			
9	7	20	11380	spoj			
10	7	20	12100	spoj			

Bodový svar	Přepřátování	Šířka	Destrukční síla	Porucha	Průměrná síla	Směrodatná odchylka	Variační koef.
Číslo vzorku	mm	mm	N	-	N	N	%
1	20	20	10750	SČ	11467	560,8535162	4,891022205
2	20	20	11670	VČ			
3	20	20	11920	RZČ			
4	20	20	11700	RZČ			
5	20	20	11620	RZČ			
6	20	20	11350	RZČ			
7	20	20	12020	RZČ			
8	20	20	10220	SČ			
9	20	20	11700	RZČ			
10	20	20	11720	VČ			

Příloha II: Naměřené hodnoty pájení

Mosazná pájka	Přeplátování	Šířka	Destrukční síla	Porucha	Průměrná síla	Směrodatná odchylka	Variační koef.
Číslo vzorku	mm	mm	N	-	N	N	%
1	7,1	20	12620	plech	11968	2034,108049	16,99622367
2	7	20	12680	plech			
3	7,4	20	12660	plech			
4	7,2	20	12620	plech			
5	7,3	20	6180	spoj			
6	7,1	20	12600	plech			
7	7,2	20	12550	plech			
8	7,1	20	12550	plech			
9	7,1	20	12600	plech			
10	7,3	20	12620	plech			

Olov. Pájka	Přeplátování	Šířka	Destrukční síla	Porucha	Průměrná síla	Směrodatná odchylka	Variační koef.
Číslo vzorku	mm	mm	N	-	N	N	%
1	7	20	7280	spoj	7102	810,1687067	11,40761344
2	7,8	20	7140	spoj			
3	7,5	20	6550	spoj			
4	7	20	7220	spoj			
5	8,2	20	8480	spoj			
6	7,7	20	6580	spoj			
7	7,6	20	8280	spoj			
8	7,7	20	6120	spoj			
9	7	20	7270	spoj			
10	7,1	20	6100	spoj			

Bezolov. Pájka	Přeplátování	Šířka	Destrukční síla	Porucha	Průměrná síla	Směrodatná odchylka	Variační koef.
Číslo vzorku	mm	mm	N	-	N	N	%
1	7,3	20	5520	spoj	6195	834,0696747	13,46359443
2	7,5	20	5350	spoj			
3	7,1	20	5840	spoj			
4	7	20	5560	spoj			
5	7,1	20	6580	spoj			
6	7	20	6780	spoj			
7	7,2	20	6750	spoj			
8	7,4	20	5250	spoj			
9	7,5	20	7870	spoj			
10	7,3	20	6450	spoj			



Příloha III: Naměřené hodnoty nýtování

Hliníkový nýt	Přeplátování	Šířka	Destrukční síla	Porucha	Průměrná síla	Směrodatná odchylka	Variační koef.
Číslo vzorku	mm	mm	N	-	N	N	%
1	20	20	1400	spoj	1330	90,92121131	6,836181302
2	20	20	1230	spoj			
3	20	20	1250	spoj			
4	20	20	1280	spoj			
5	20	20	1250	spoj			
6	20	20	1350	spoj			
7	20	20	1250	spoj			
8	20	20	1400	spoj			
9	20	20	1500	spoj			
10	20	20	1390	spoj			

Nerezový nýt	Přeplátování	Šířka	Destrukční síla	Porucha	Průměrná síla	Směrodatná odchylka	Variační koef.
Číslo vzorku	mm	mm	N	-	N	N	%
1	20	20	3350	spoj	3653	379,0353252	10,37600124
2	20	20	3520	spoj			
3	20	20	3620	spoj			
4	20	20	3420	spoj			
5	20	20	3450	spoj			
6	20	20	3600	spoj			
7	20	20	3720	spoj			
8	20	20	4650	spoj			
9	20	20	3400	spoj			
10	20	20	3800	spoj			

Roz. Nýt	Přeplátování	Šířka	Destrukční síla	Porucha	Průměrná síla	Směrodatná odchylka	Variační koef.
Číslo vzorku	mm	mm	N	-	N	N	%
1	20	20	4150	spoj	4047	147,0487448	3,633524704
2	20	20	3700	spoj			
3	20	20	4070	spoj			
4	20	20	4000	spoj			
5	20	20	4200	spoj			
6	20	20	3950	spoj			
7	20	20	4100	spoj			
8	20	20	4200	spoj			
9	20	20	4020	spoj			
10	20	20	4080	spoj			

Příloha IV: Naměřené hodnoty nekonvenčních metod spojování

RIVTAC	Přepletování	Šířka	Destrukční síla	Porucha	Průměrná síla	Směrodatná odchylka	Variační koef.
Číslo vzorku	mm	mm	N	-	N	N	%
1	20	20	7280	spoj	6977	181,7232328	2,604604168
2	20	20	6700	spoj			
3	20	20	6920	spoj			
4	20	20	7050	spoj			
5	20	20	7180	spoj			
6	20	20	6860	spoj			
7	20	20	6740	spoj			
8	20	20	7060	spoj			
9	20	20	6960	spoj			
10	20	20	7020	spoj			

Clinching	Přepletování	Šířka	Destrukční síla	Porucha	Průměrná síla	Směrodatná odchylka	Variační koef.
Číslo vzorku	mm	mm	N	-	N	N	%
1	20	20	2380	Spoj	2490	79,16228058	3,179208055
2	20	20	2620	Spoj			
3	20	20	2460	Spoj			
4	20	20	2550	Spoj			
5	20	20	2580	Spoj			
6	20	20	2520	Spoj			
7	20	20	2480	Spoj			
8	20	20	2380	Spoj			
9	20	20	2450	Spoj			
10	20	20	2480	Spoj			

Příloha V: Naměřené hodnoty lepení

Bison E. Metal	Přeplátování	Šířka	Destrukční síla	Porucha	Průměrná síla	Směrodatná odchylka	Variační koef.
Číslo vzorku	mm	mm	N	-	N	N	%
1	12,1	20	1950	ak	1627	297,2111109	18,26743152
2	12	20	1350	k			
3	11,8	20	1520	k			
4	12	20	1310	k			
5	11,7	20	1420	k			
6	12	20	2050	ak			
7	12	20	1970	ak			
8	11,7	20	1750	ak			
9	12	20	1700	ak			
10	11,6	20	1250	k			

Alteco SG	Přeplátování	Šířka	Destrukční síla	Porucha	Průměrná síla	Směrodatná odchylka	Variační koef.
Číslo vzorku	mm	mm	N	-	N	N	%
1	11,7	20	3950	ak	3795	321,4636665	8,47071585
2	11,8	20	3750	ak			
3	11,4	20	3500	ak			
4	11,8	20	3550	ak			
5	11,5	20	3600	ak			
6	11,6	20	4200	ak			
7	12	20	3900	ak			
8	12,1	20	3380	ak			
9	12,1	20	3720	ak			
10	12	20	4400	ak			

Alkapren 25	Přeplátování	Šířka	Destrukční síla	Porucha	Průměrná síla	Směrodatná odchylka	Variační koef.
Číslo vzorku	mm	mm	N	-	N	N	%
1	12,1	20	250	a	249	35,10302298	14,09759959
2	12	20	210	a			
3	12,2	20	300	a			
4	12,1	20	220	a			
5	12,3	20	200	a			
6	12,2	20	280	a			
7	12,2	20	250	a			
8	12	20	280	a			
9	12	20	220	a			
10	12,1	20	280	a			