

# Porovnání mechanických vlastností svařovaných a lepených spojů

Miroslav Falešník

---

Bakalářská práce  
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

**Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně**

**Fakulta technologická**

**Ústav výrobního inženýrství**

**akademický rok: 2009/2010**

# **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

**(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)**

**Jméno a příjmení: Miroslav FALEŠNÍK**

**Studijní program: B 3909 Procesní inženýrství**

**Studijní obor: Technologická zařízení**

**Téma práce: Porovnání mechanických vlastností svařovaných  
a lepených spojů**

**Zásady pro vypracování:**

**/ypracujte literární studii na dané téma**

**Vytvořte svařované a lepené spoje**

**Provedte kontrolu kvality spojů**

**Vyhodnoťte výsledky experimentů**

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Dle zadání vedoucího BP.

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Kamil Kvas**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

**19. února 2010**

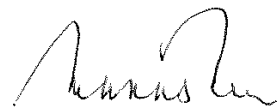
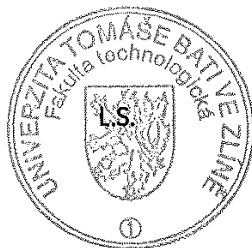
Termín odevzdání bakalářské práce:

**2. června 2010**

Ve Zlíně dne 21. ledna 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.  
*děkan*



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.  
*vedoucí katedry*

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně .....

.....

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce s názvem „Porovnání mechanických vlastností svařovaných a lepených spojů“ se zabývá porovnáním mechanických vlastností svařovaných spojů vytvořených svařováním horkým plynem a lepením z hlediska meze pevnosti ve smyku a modulu pružnosti E. V teoretické části této bakalářské práce jsou charakterizovány svařované a lepené spoje, jejich vlastnosti a podmínky pro vytvoření těchto spojů a popis mechanického zkoušení materiálu. V praktické části této práce jsou popsány použité polymerní materiály, použítá lepidla a svary, zkušební vzorky, parametry zkušebního zařízení. Dále je v praktické části provedeno porovnání výsledků experimentálně zjištěných mezí pevnosti a modulu pružnosti E u svařovaných a lepených spojů vzhledem k velikosti plochy spoje. Experimenty byly provedeny na laboratorním trhacím stoju ZWICK ROELL 1456.

Klíčová slova: svařovaný spoj, lepený spoj, adheze, lepidlo, pevnost ve smyku, modul pružnosti E.

## **ABSTRACT**

This bachelor's thesis entitled "Comparison of mechanical properties and better-welded joints tion" presents a comparison of the mechanical properties of welded joints made by welding and hot gas in terms of bonding strength and shear modulus G. In the theoretical part of this work are characterized by a welded and glued joints, their characteristics and conditions for the creation of these connections, and a description of the mechanical testing of materials. The practical part describes the used polymeric materials used in adhesives and welds, test samples, the parameters of the test equipment. Further, the practical results of the comparison of the experimentally observed shear strength and modulus G of welded and glued joints due to the size of the area of the connection. Experiments were performed on a laboratory tensile standing ZWICK ROELL 1456.

Keywords: welded joints, glued joints, adhesion, adhesive, shear strength, modulus spring-tion G.

Tímto bych chtěl poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Kamilu Kyasovi, za odborné vedení, rady a ochotu, se kterou se mi věnoval při vypracování této bakalářské práce, dále Ing. Vladimíru Šumberovi za odbornou asistenci při výrobě zkušebních těles a Ing. Milanu Žaludkovi PhD. za pomoc při provádění experimentu.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....





# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>12</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>14</b>
<b>1 SVAŘOVANÉ SPOJE</b> .....	<b>15</b>
1.1 DRUHY SVAŘOVÁNÍ PLASTŮ .....	15
1.2 SVAŘOVACÍ TEPLoty .....	16
1.3 SVAŘOVÁNÍ HORKÝM PLYNEM .....	17
1.4 PŘÍPRAVA DÍLŮ PRO SVAŘOVÁNÍ .....	18
1.5 DRUHY SVARŮ.....	20
1.6 SVAŘOVACÍ DRÁT.....	21
1.7 TLAK NA SVAŘOVACÍ DRÁT .....	22
1.8 Pnutí ve svarech.....	24
1.9 OBRÁBĚNÍ SVARŮ.....	25
1.10 JAKOST SVARŮ .....	25
1.11 VÝHODY A NEVÝHODY SVAŘOVANÝCH SPOJŮ HORKÝM PLYNEM .....	26
<b>2 LEPENÉ SPOJE</b> .....	<b>27</b>
2.1 KONSTRUKCE LEPENÝCH SPOJŮ .....	27
2.2 ZÁSADY PRO VOLBU LEPIDLA .....	29
2.2.1 Učení druhu lepeného materiálu .....	29
2.2.2 Namáhání lepeného spoje.....	29
2.2.3 Technologie provedení lepeného spoje .....	29
2.2.4 Význam pevností lepených spojů pro výběr lepidla.....	30
2.3 PŘÍPRAVA POVRCHU PRO LEPENÍ TERMOPLASTŮ.....	31
2.3.5 Mechanické obrábění .....	31
2.3.6 Odmašťování.....	32
2.3.7 Úprava aktivity povrchu.....	32
2.3.8 Temperace .....	33
2.3.9 Ochrana okolí lepeného spoje .....	33
2.4 JEDNOTLIVÉ FÁZE VZNIKU LEPENÉHO SPOJE A JEHO STRUKTURA .....	33
2.5 NAPĚTÍ V LEPENÉM SPOJI.....	34
2.6 VLIVY NA PEVNOST LEPENÉHO SPOJE .....	35
2.6.1 Vliv prostředí na pevnost lepených spojů .....	36
2.7 DRUHY LEPIDEL.....	36
2.8 VÝHODY A NEVÝHODY LEPENÝCH SPOJŮ .....	37
<b>3 MECHANICKÉ ZKOUŠENÍ MATERIÁLU</b> .....	<b>39</b>
3.1 ZKOUŠKA TAHEM .....	40
3.1.1 Smluvní diagram napětí - deformace .....	40

3.1.2	Určení smluvní meze pevnosti .....	42
3.1.3	Určování deformačních charakteristik .....	42
3.1.4	Určení meze kluzu.....	44
3.2	ZKUŠEBNÍ TĚLESA .....	44
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>45</b>
<b>4</b>	<b>CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE.....</b>	<b>46</b>
<b>5</b>	<b>POUŽITÉ MATERIÁLY .....</b>	<b>47</b>
5.1	MATERIÁL ABS .....	47
5.1.1	Použití ABS.....	47
5.2	MATERIÁL PP.....	47
5.2.1	Použití PP .....	48
5.3	MATERIÁL PP+PE.....	48
5.3.1	Použití PP + PE .....	48
5.4	POUŽITÉ ZAŘÍZENÍ .....	48
5.4.1	Sušicí zařízení ARBURG THERMOLIFT 100 – 2.....	48
5.4.2	Vstřikovací stroj ARBURG Allrounder 420.....	50
5.4.3	Horkovzdušná pistole Steinel HL 2010 E.....	51
5.4.4	Zkušební stroj ZWICK ROELL 1456 .....	53
5.5	VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLES .....	54
5.6	POUŽITÁ LEPIDLA .....	55
5.6.1	Vteřinové lepidlo LOCTITE 406 .....	55
	Provozní vlastnosti při vytvrzování .....	56
5.6.2	Lepidlo PLEXUS MA 310.....	56
	Fyzikální vlastnosti .....	57
	Mechanické vlastnosti (vytvrzené lepidlo) .....	57
	Chemická odolnost .....	57
5.6.3	Lepidlo PLEXUS MA 422 .....	58
	Fyzikální vlastnosti .....	58
	Mechanické vlastnosti (vytvrzeného lepidla) .....	58
	Chemická odolnost .....	58
5.7	VÝROBA SVAŘOVANÝCH SPOJŮ.....	59
5.8	VÝROBA LEPENÝCH SPOJŮ.....	60
<b>6</b>	<b>YHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ.....</b>	<b>63</b>
6.1	HODNOTY MEZE PEVNOSTI $\sigma_p$ A MODULU PRUŽNOSTI E – ABS.....	63
6.1.1	Porovnání meze pevnosti $\sigma_p$ pro materiál ABS .....	64
6.1.1	Porovnání modulu pružnosti E pro materiál ABS.....	64
6.2	HODNOTY MEZE PEVNOSTI $\sigma_p$ A MODULU PRUŽNOSTI E PRO MATERIÁL PP.....	65
	V tomto případě dosahují nejlepších výsledků přeplátované svařované spoje.....	65
6.2.1	Porovnání meze pevnosti $\sigma_p$ pro materiál PP .....	65
6.2.2	Porovnání modulu pružnosti E pro materiál PP .....	66

6.3	HODNOTY MEZE PEVNOSTI $\sigma_P$ A MODULU PRUŽNOSTI $E$ PRO MATERIÁL PP + PE	66
6.3.1	Porovnání meze pevnosti $\sigma_p$ pro materiál PP + PE	67
6.3.2	Porovnání modulu pružnosti $E$ pro materiál PP + PE	67
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR</b>	<b>68</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b>	<b>70</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b>	<b>71</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b>	<b>73</b>
	<b>SEZNAM TABULEK</b>	<b>75</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b>	<b>76</b>

## ÚVOD

Technologie spojování plastu jako konstrukčního materiálu svařováním a lepením zasahuje svou použitelností do stále většího okruhu průmyslových odvětví. Každá z těchto metod má své výhody i nevýhody. Především z hlediska požadovaných mechanických vlastností, náročnosti na vytvoření spoje a potřebného technického vybavení. V obou případech se jedná o nerozebíratelné spojení. Při porovnání meze pevnosti v tahu u spojů vytvořených technikou svařováním horkým plynem a lepením dojdeme k zajímavým výsledkům.

Svařovaným spojem se rozumí spojení dvou nebo více součástí za pomoci tepla a tlaku. Podle druhu svařování se používá přídavný materiál či nikoliv. V našem případě se budou spoje vyrábět technologií svařování horkým plynem (vzduchem) za použití přídavného materiálu. Tento způsob je v praxi poměrně rozšířený, hojně se používá v autoopravárenství. Principem této metody spojování plastu je, že vzduch o určité teplotě v místě svaru převede povrch součástí i přídavného materiálu do plasticko-tekutého stavu. K vytvoření svarového spoje dochází za působení tlaku.

Lepené spoje se vytváří pomocí lepidla, které díky adhezním silám spojuje dvě a více součástí. Aby se mohly uplatnit tyto adhezní síly, musí dojít k co nejdokonalejšímu smáčení povrchu spoje. S touto podmínkou souvisí faktory ovlivňující pevnost spoje např. čistota povrchu, povrchové napětí lepidla, viskozita lepidla, úprava povrchu atd. Použití této metody lepení se uplatňuje všude, kde není možné použití např. spojení nýtováním, šroubovým spojem nebo svařováním. Lepené spoje jsou nepropustné pro kapaliny popř. i pro plyny.

Cílem této Bakalářské práce je zjistit zda je z hlediska pevnosti spoje a náročnosti na jeho vytvoření výhodnější použít lepení nebo svařování plastů v praxi. Než zvolíme lepení nebo svařování musíme si uvědomit následující faktory. Při lepení musíme povrch řádně připravit (dle použitého lepidla) poté dle zvoleného lepidla vytvořit spoj. Určitou nevýhodou je, že budeme limitováni dobou vytvrzení daného lepidla. Výhodou této metody je, že například při lepení více malých součástí blízko sebe nedochází k rozměrové deformaci jako u svařování. Při svařování menších součástí blízko sebe hrozí přehřátí plastu a s tím i degradace materiálu. Otázkou je, který ze z výše popsaných způsobů bude mít větší pevnost. Na tuto otázku budeme znát odpověď porovnáním meze pevnosti ve smyku a modulu pružnos-

ti E u lepených a svařovaných spojů. Tyto budou vytvořeny z plastů používaných v automobilovém průmyslu.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 SVAŘOVANÉ SPOJE

Technologie svařování plastů se používá pro trvalé spojování součástí s plastu za použití tepla a tlaku s přídavným materiálem nebo bez něj. Podstatou svařování plastů je, že se v místě svaru nachází materiál ve viskózně-tekutém stavu. Tato technologie se využívá u termoplastů, které se dají pomocí tepla do tohoto stavu převést. Reaktoplasty nelze svařovat, protože nejdou po vytvrzení převést do plastického stavu.

Výhodné pro svařování jsou termoplasty s širokou oblastí viskózního stavu (horní a spodní teplotou teploty tání resp. teploty viskózního toku) a termoplasty s pozvolným přechodem do tekutého stavu, např. PVC, PS, PE, PP. Termoplasty se strmým přechodem, např. PA, jsou pro svařování méně vhodné. Ještě větší opatrnosti je nutné dbát u termoplastů náchylných k oxidaci za vyšších teplot, např. u POM. Při použití dvou odlišných druhů plastů nebo např. u plněných plastů, a to jak u základního materiálu, tak i mezi přídavným a základním materiálem, je potřeba uvažovat s výrazným poklesem pevnosti svarového spoje. Tyto svarové spoje nemohou splňovat náročné podmínky, kladené na jejich pevnost a jsou určeny pouze pro podřadné účely. [1]

### 1.1 Druhy svařování plastů

Jednotlivé technologie svařování se liší podle způsobu předání tepla, potřebného k ohřátí, resp. roztavení povrchů spojovaných součástí. Teplo může být předáno buď přímo (např. přímý kontakt s nosiči tepla, kontakt s horkým plynem) nebo přeměnou jiných druhů energie na teplo (např. přeměna mechanické nebo elektrické energie na teplo). Vlastní způsob provedení svarového spoje se také liší a to hlavně z hlediska postupu provedených operací během jednotlivých technologií svařování, který může být následující: [1]

- svařované povrchy jsou nejprve uvedeny ve vzájemný kontakt a teprve potom jsou zahřívány;
- svařované povrchy jsou nejprve zahřívány a potom jsou uvedeny ve vzájemný kontakt;
- svařované povrchy jsou současně ve vzájemném kontaktu a současně se i zahřívají.

## 1.2 Svařovací teploty

Vlastnosti termoplastů se liší nejen u jednotlivých druhů, ale i u téhož typu materiálu. Může to být způsobeno výrobními podmínkami, kvalitou výchozích surovin, stupněm polymerace popř. kopolymerace a mnoha dalšími vlivy.

Řada termoplastů je krystalická. Obsah krystalické složky může být i u stejného materiálu různým vlivem zpracovatelských podmínek. Při zahřívání se krystality od určité teploty začnou rozpouštět a při určité teplotě jsou již všechny rozpuštěny. Tato teplota se udává jako teplota tání krystalitů. Materiály, vlivem krystalitů většinou mléčně zbarvené, se stanou rozpuštěním krystalitů amorfni a sklovitě průhledné. U některých typů materiálu je rozsah teploty od začátku ke konci rozpouštění krystalitů široký (např. PA6), u jiných je úzký. Teplota, při které nastává tání, se udává jako teplota tání. Tato je v různých případech velmi blízká teplotě tání krystalitů, v některých případech je mezi těmito teplotami rozdíl až 10°C

Oblast teplot vhodných pro svařování se kryje s oblastí tání. U materiálů, které jsou tepelně stabilní, lze použít i teplot vyšších. Na povrchu svařovaných materiálů nemá však teplota dosáhnout hodnot, při kterých již dochází k tepelnému rozkladu. U plastů s malou tepelnou stabilitou dojde k tepelnému rozkladu i při vhodných teplotách, působí-li příliš dlouho (např. PVC) [2]

Teploty plynů a různých nástrojů používaných pro svařování jsou vždy vyšší než teploty vhodné pro svařování. Tento tepelný rozdíl je nutný, aby se zajistila výkonnost svařování. Termoplasty jsou velmi špatnými vodiči tepla (jsou izolátory tepla) a ohřívání plynem nebo svařovacími nástroji se stejnou teplotou, jaká se vyžaduje pro svařování, by celý průběh svařování zpomalilo. Tepelný rozdíl, např. při svařování horkými plyny, se vyrovnává zvýšenou rychlostí v průběhu svařování. Materiál a přídatný drát se vyšší teplotou plynu ohřejí jen na teplotu potřebnou k svařování. [2]

Tab. 1. Přehled svařovacích teplot vybraných termoplastů

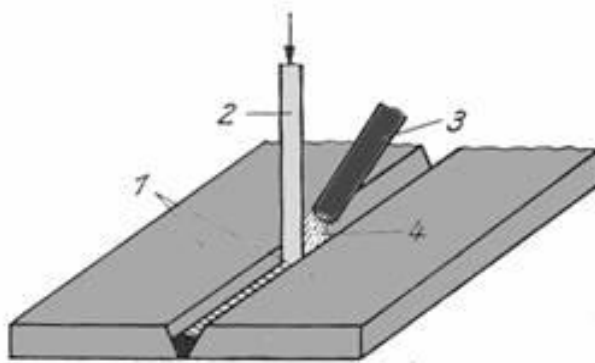
PE - LDPE	PE - HDPE	PP	ABS
250 °C	280 °C	320°C	350 °C



### 1.3 Svařování horkým plynem

Při svařování horkým plynem se používá jako přídavný materiál svařovací drát podobně jako u svařování kovů. Tato metoda se používá i bez přídavného materiálu. Nositelem tepla většinou bývá vzduch.

Této metody svařování se za použití přídavného materiálu používá skoro u všech termoplastů a v technologické praxi je poměrně rozšířená. Svařovaný spoj se vytváří pomocí přídavného materiálu, který se stejně jako povrch svařovaných dílů, ohřívá proudem horkého plynu na teplotu, kdy je natavený plast za působení tlaku schopen vytvořit dostatečně pevný spoj. Základní materiál i přídavný materiál se působením horkého vzduchu plastifikuje do viskózně - tekutého stavu. Za působení tlaku dochází k vytvoření svařeného spoje. [1]



Obr. 1. Princip svařování horkým plynem s přídavným materiálem

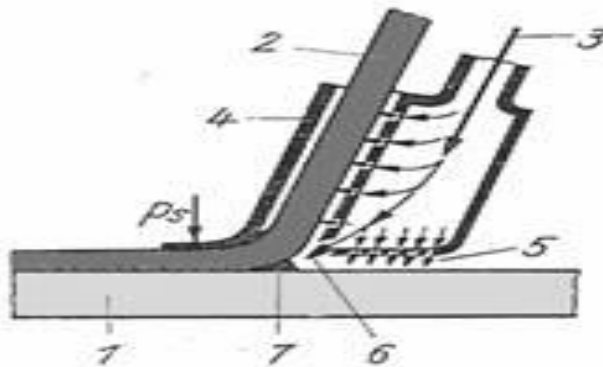
1 – základní materiál, 2 – přídavný materiál, 3 – tryska svařovací pistol, 4 – horký vzduch [1]

Přídavná materiál, většinou ve formě tyčinky (drátu), ale i s trojúhelníkovým průřezem, bývá z téhož typu termoplastu, jako je základní svařovaný materiál a přivádí se (vtlačuje se) do svarového spoje kolmo ke svařovaným plochám. Přitlačuje se ručně nebo mechanicky. Rychlost svařování (podávání drátu) se pohybuje od 10 do 60 cm.min<sup>-1</sup>. Svarový spoj musí být provedený v celém svařovaném průřezu a celou mezeru je nutné vyplnit přídavným materiálem. Ke svařování kořene se používají dráty menších rozměrů, k vyplnění svaru se používají dráty větších rozměrů. [1]

Teplota plynu je na horní hranici zpracovatelských teplot pro daný materiál. Dalším parametrem je kromě svařovací teploty i svařovací tlak, který závisí na tom jaký má přídavný

materiál rozměr. Tak např. pro PVC je doporučená hodnota asi 1,5 MPa. Vytvořený svar se nechá následně chladnout na vzduchu bez zatěžování či jakéhokoliv namáhání. V případě polyolefinů (PE, PP) je důležité zbavit plochy svařovaných materiálů a celý povrch přídavného materiálu povrchové zoxidované vrstvy, u ostatních plastů mastnoty. [1]

Svařování pomocí horkého plynu a přídavného materiálu při použití rychlosvařovacího nástavce (trysky). Pro zefektivnění předchozí metody svařování horkým vzduchem byly vyvinuty a zkonstruovány tzv. rychlosvařovací nástavce, které se nasouvají na ústí svařovací pistole. Hlavním úkolem rychlosvařovacích nástavců je předeřtát přídavného materiálu, který je potom možno rychleji ukládat do oblasti svaru. Předeřtát se děje průchodem přídavného materiálu trubičkou, kterou prochází horký vzduch. Trubička je ukončena patkou, kterou se přídavný materiál vtlačuje do svarového spoje. Nevýhodou je, že každý jiný průměr svařovacího drátu vyžaduje samostatný rychlosvařovací nástavec, neboť podmínkou bezchybného provozu je, aby průměr trubičky byl o 1 mm větší, než je průměr přídavného materiálu. Rychlost svařovacího procesu se urychluje na dvoj až trojnásobek rychlosti klasického svařování horkým vzduchem. [1]

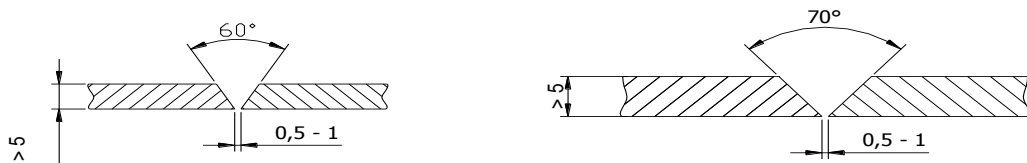


Obr. 2. Princip svařování horkým plynem při použití rychlosvařovacího nástavce  
1 – základní materiál, 2 – přídavný materiál, 3 – přívod vzduchu, 4 – rychlosvařovací nástavec svař. pistole, 5 – nahřívání základního materiálu, 6 – ohřev místa svaru, 7 – roztavený termoplast [1]

#### 1.4 Příprava dílů pro svařování

Metodu svařování horkým plynem se většinou svařují součásti o tloušťce větší než 1mm. Pro tloušťky do 6 mm se volí svary V, pro tloušťky větší je lépe volit svary „X“. Do tloušťky 5 mm se volí úhel otevření drážky 60°, pro větší tloušťky 70° (obr. 3). Hrany lze

zkosit hoblováním, frézováním, pilováním, broušením nebo jiným způsobem obrábění. Plochy, které není třeba obrábět (jako např. u svarů „T“), se očistí lehkým zdrsňením. Připravené plochy musí být čisté, bez zbytků třísek, které by se při svařování pálily, zavařili do svaru, a tak způsobily vadná místa. K čištění se nemá používat rozpouštědel nebo odmašťovadel. [2]

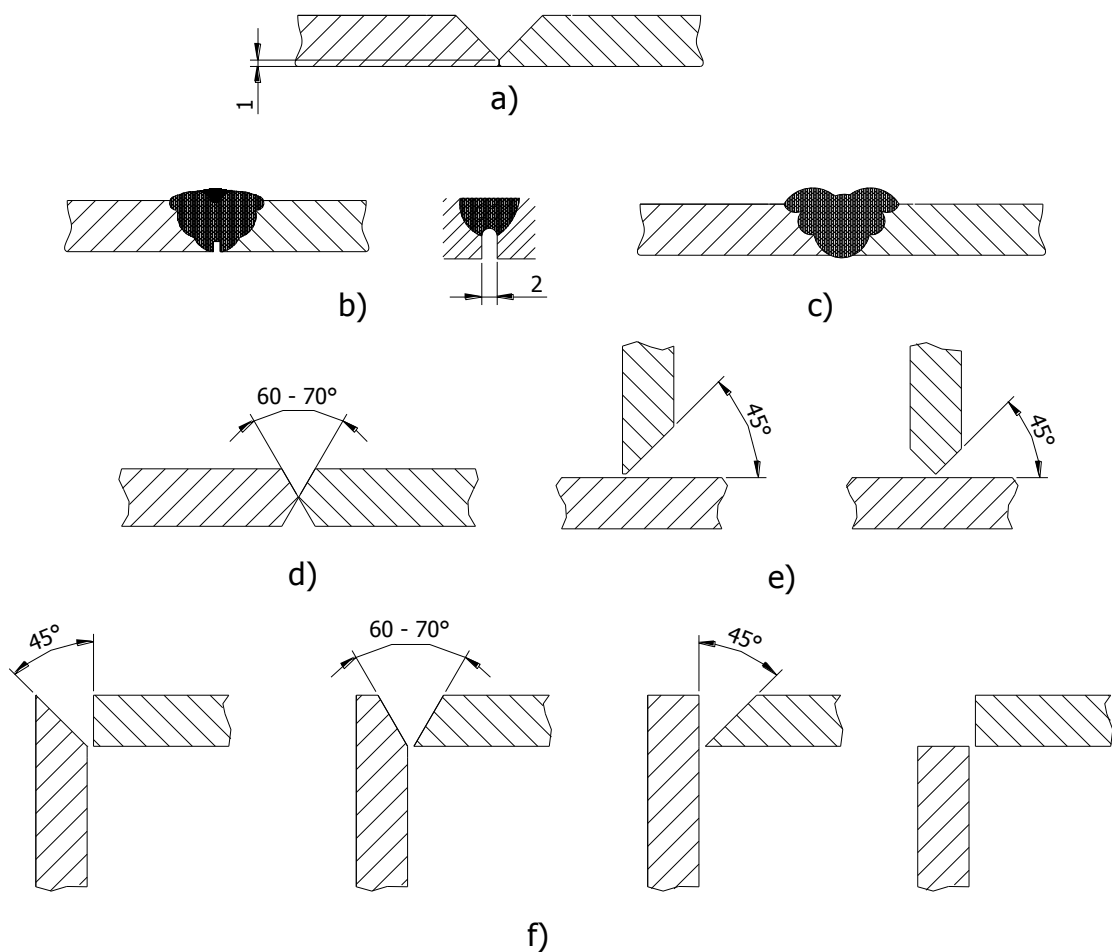


*Obr. 3. Příprava dílů pro svařování*

Rozlišují se dva základní typy svarů a to svar normální a s podloženým kořenem. Podle toho se řídí i příprava dílů pro svařování.

U běžných svarů se díly upínají tak, že mezi nimi vznikne rovnoběžná mezera o šířce 0,5 – 1 mm (Obr. 3). První drát se volí s menším průměrem a první housenka se klade tak, aby asi polovina průřezu drátu přečnívala na druhou stranu. Další housenky se pak kladou drátem o průměru 3 nebo 4 mm. [2]

U svarů s podloženým kořenem se hrany upraví tak, že na sebe dosedají v šířce asi 1 mm. Upínání a vyrovnání dílů je proto snadnější. Po zhotovení celé celého svaru se z druhé strany kořen svaru vyškrábe, vybrousí nebo jinak obrobí (Obr. 4 b). Vytvořená drážka se pak zavaří pomocí drátu o průměru 3 mm. Svarů s podloženým kořenem lze použít jen tam, kde je k nim přístup ze zadu. Někdy je třeba spoj předem nastehovat, a to buď svařovacím drátem malého průměru ze zadní strany svaru, nebo natavením horkým břitem na hřbetu trysky. [2]



Obr. 4. Příprava svarů

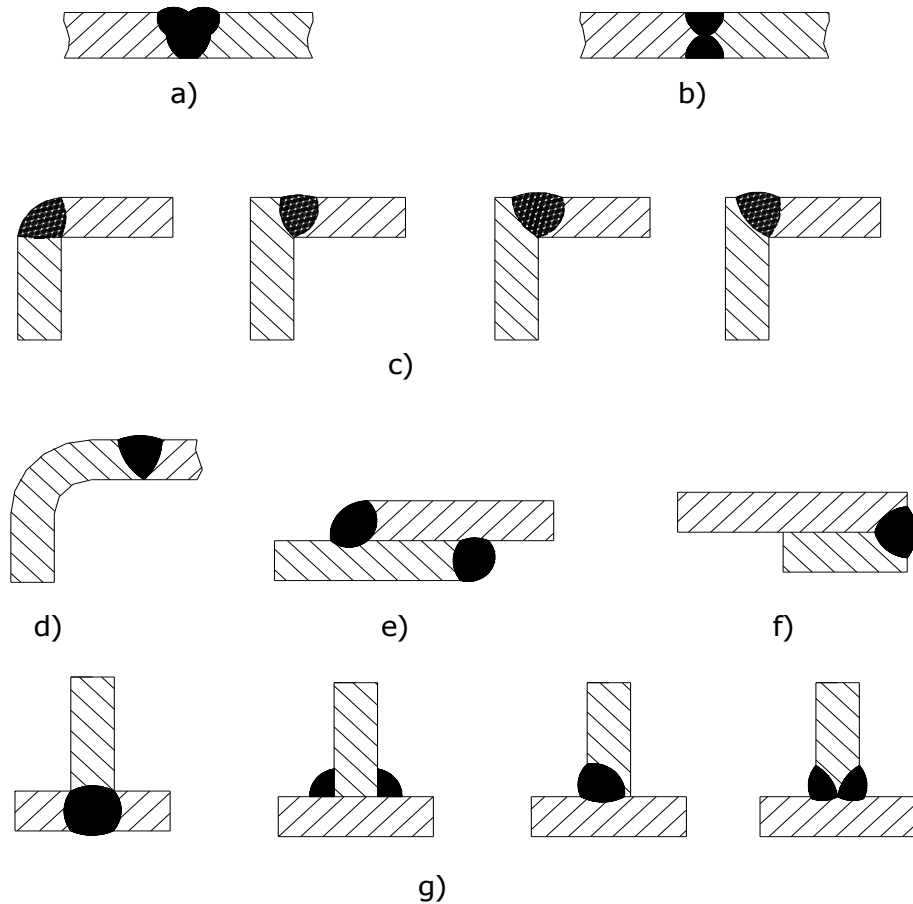
a) příprava pro svar s provařeným kořenem, b) vybrání kořene, c) zavaření kořene, d) svar „V“, e) koutové svary, f) rohové svary

## 1.5 Druhy svarů

Při návrhu svařovaných konstrukcí se používají základní druhy svarů. Jsou to stykové (tupé) typu „V“ a „X“, rohové svary, koutové svary a přeplátované svary.

Při návrhu konstrukcí ze svařovaných dílů platí zásada, že nejvhodnější je volit svar V nebo ještě lépe svar „X“. Předností svarů „X“ je, že nedeformují spoj a nevyvolávají v něm pnutí jako svary V. rohových svarů se používá méně (Obr. 5. c) Kde je to však možné, je lépe volit svary „V“ nebo „X“ a svařovaný ostrý roh nahradit ohýbáním. Spoj svarem „V“ nebo „X“ se tak přemístí do boční stěny, kde je lépe uskutečnitelný. Rohové svary jsou náchylné k praskání. Koutové svary lze zhotovit podle obr. 5. g. Pokud je to možné je i v

těchto případech vhodnější použít svarů „V“ a „X“ a celkovou konstrukci upravit tak, aby se dalo použít ohýbaných dílů. [2]



Obr. 5. Různé druhy svarů

a) svar V, b) svar X, c) rohové svary, d) přenesený rohový svar, e) přeplátovaný svar, f) přivařená výztuha, g) koutové svary

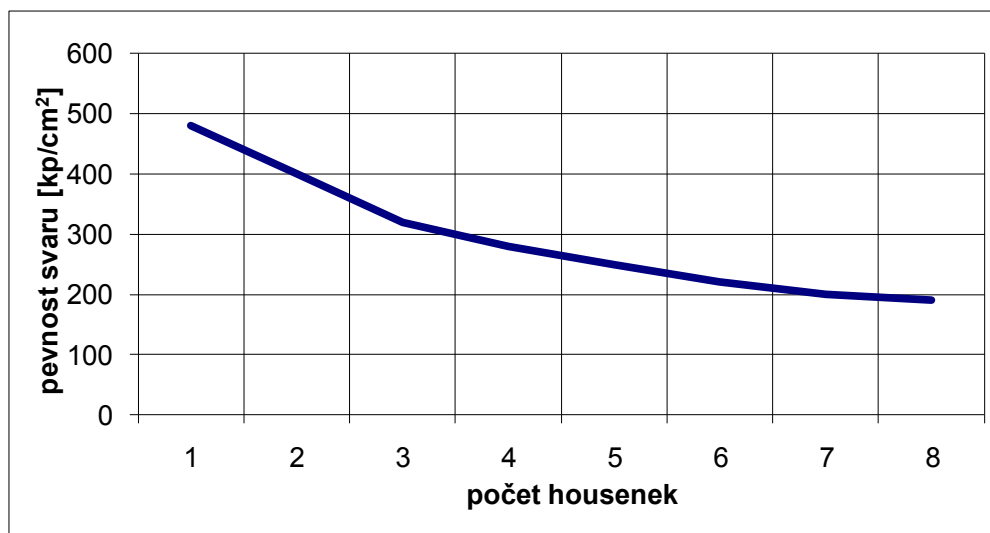
V některých případech se volí přeplátovaného svaru. Lze jich použít jen u málo namáhaných spojů. Při zatížení např. tahem vznikají v přeplátovaném svaru nepříznivá namáhání v ohybu a jejich pevnost je malá. Přeplátování se používá rovněž při spojování trubek, ale i zde zeslabují svary průřezy stěn, a tím snižují pevnost celého spoje. [2]

## 1.6 Svařovací drát

Jakost svařovacího drátu má souhlasit s jakostí svařovaného materiálu. Kde je to možné, použije se drátu s nepatrně nižším bodem měknutí. Volí se průměry 2 až 4 mm s tolerancí  $\pm 15\%$ . Jen výjimečně se používá drátu o průměru 6 mm. Dráty větších průměru se obtíž-

něji prohřívají, a proto jich lze použít jen tam, kde je možno zajistit optimální prohřátí. Povrch drátů má být hladký, bez uzlů nebo jiných vad. Průřez drátu má být bez bublinek, cizích těles nebo nečistot. Při zkoušce ohnutím o 180° nemají praskat. Např. pro PVC se používá drátu se změkčovadly (až 10 %) protože se s nimi lépe pracuje. Pro mechanicky a chemicky více namáhané spoje je nutné použít svařovací drát bez změkčovadel. [2]

Většinou se volí dráty s kruhovým průřezem, u kterých jsou nejlepší výsledky ohledně pevnosti. Zkoušky prokázaly, že je vhodnější použít méně housenek ze svařovacího drátu většího průměru než více housenek z drátů menšího průměru. Menším počtem housenek ve svaru se zvyšuje jeho jakost. [2]



Obr. 6. Vliv počtu housenek na pevnost svaru

## 1.7 Tlak na svařovací drát

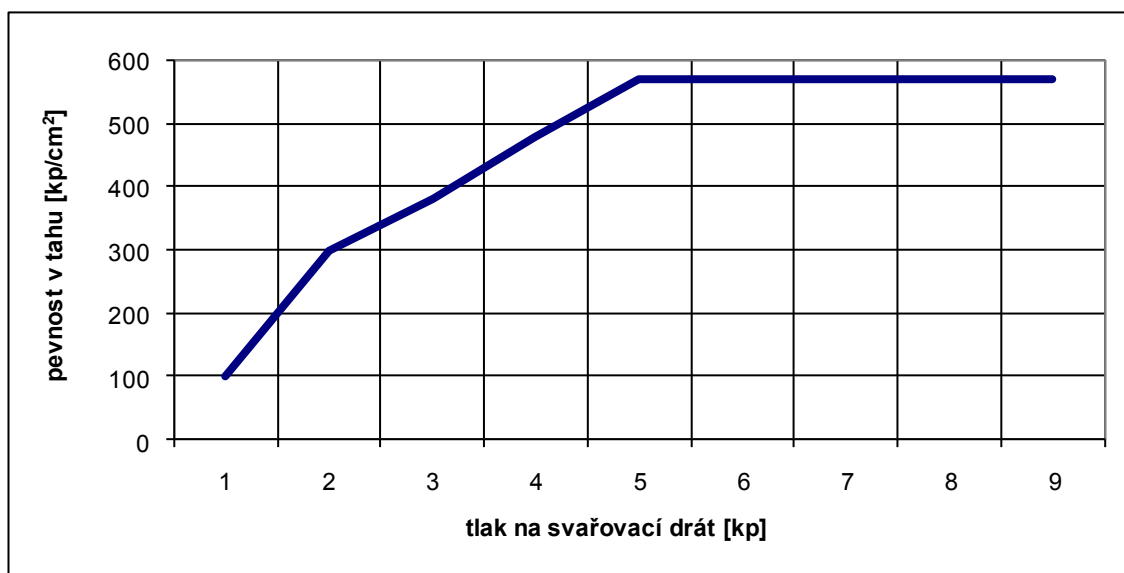
Tlak na svařovací drát závisí na jeho tloušťce a musí být přiměřený. Z praxe a laboratorních zkoušek se doporučují následující tlaky.

Tab. 2 Doporučené tlaky na svařovací drát [2]

Průměr drátu [mm]	2	3	4	5
Tlak [kp]	1	1,4 - 1,6	2,3 - 2,5	2,8 - 3,5

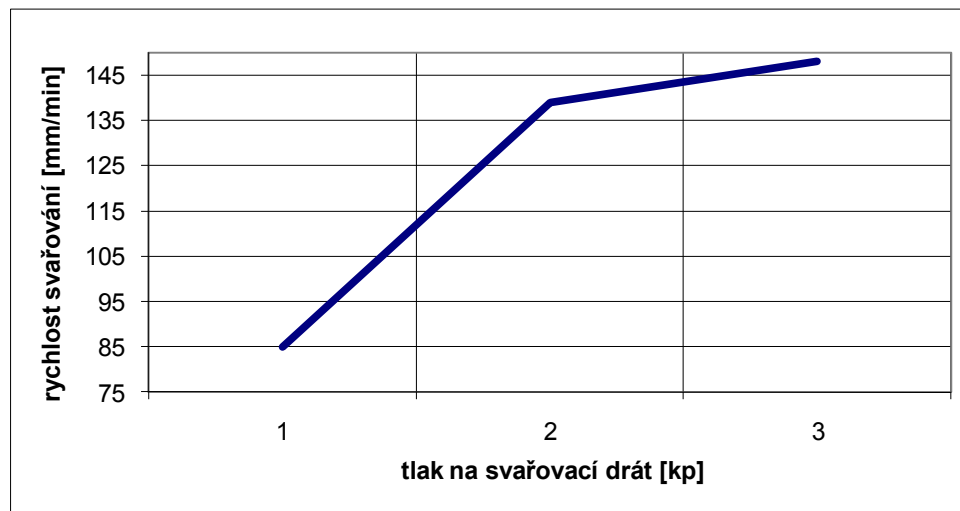
Při svařování se drát zatlačuje kolmo do svaru. Předkloněný drát se do v místě svaru předčasně ohřívá, měkne a ohýbá, a proto nepůsobí na materiál plným tlakem. Svařovaný materiál není ještě dostatečně prohřátý a drát se s ním dobře nespojí. Housenka je většinou jen „přilepena“ a nedosahuje jakostních ukazatelů. Při zakloněném drátu se prohřívá kořen svaru a tlakem dopředu se drát natahuje. V housence vzniká napětí, které může při novém ohřátí působit její trhání. Je – li dodržena správná teplota a tlak, vytváří se před čelem zatlačovaného drátu malá vlnka materiálu. Podobné vlnky vznikají i po stranách zhotoveného svaru. [2]

Jakost svaru se snižuje, použije – li se při svařování příliš vysokého tlaku nebo není – li drát zatlačován do svaru kolmo a bez pěchování a natahování. Dodržování vhodného tlaku musí proto každý svářeč řádně nacvičit. K procvičení lze použít dvoumiskové váhy. Na jednu misku se položí závaží rovnající se potřebnému tlaku. Na druhou misku se tlačí tak aby váha byla v rovnováze. Na velikosti tlaku závisí jakost a mechanické vlastnosti svaru. Například pro drát průměru 4,2 mm a při teplotě plynu (vzduchu) 270 °C jsou vhodné tlaky vyšší než 2,3 kp. Nižší tlaky prudce snižují pevnost svaru. [2]



Obr. 7. Vliv tlaku na svařovací drát při svařování horkým plynem na pevnost v tahu. Teplota vzduchu 207 °C, průměr drátu 4,2 mm.

Podobně také závisí na tlaku rychlost svařování. Větší rychlosti vyžadují větší tlaky na svařovací drát.

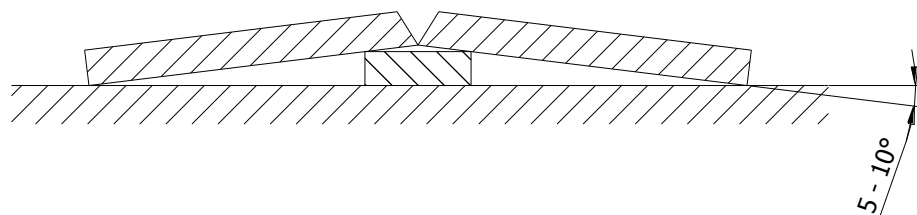


Obr. 8. Vliv tlaku na svařovací drát na rychlosti svařování

Teplota vzduchu 207 °C, průměr drátu 3,2 mm.

## 1.8 Pnutí ve svarech

Ve všech svarech zhotovených technologií svařování horkým plynem a přídavným materiálem vzniká vnitřní pnutí, které je způsobeno místním ohřátím. Velikost pnutí se zvyšuje neodborným zhotovením svaru. Největší vliv má pnutí na svary V, kde většinou vede k deformaci spojených dílů. Tam, kde tato deformace je na závadu, používá se při svařování vhodné podložky tak, aby svařované desky byly zvednuty pod úhlem 5 až 10° (Obr. 10.) Vzniklé předpětí spolu s vnitřním pnutím desky se vyrovná. Výhodné podmínky pro odstranění pnutí mají svary typu X, zejména zhotovují – li se pečlivě+ a housenky se střídají z obou stran. Také se doporučuje střídat směr kladení housenek. U náročných a namáhaných svarů lze vnitřní pnutí odstranit ohřátím na teplotu 80 °C. [2]



Obr. 9. Podkládání svarů typu V pro vyrovnání vnitřního pnutí



Ochlazování spoje musí probíhat pozvolna. Při rychlém ochlazení totiž vzniká nové pnutí. Je třeba vzít v úvahu fakt, že díly zhotovené tvarováním se mohou při opětovném zahřátí na odstranění vnitřního pnutí vrátit do původního stavu. [2]

## 1.9 Obrábění svarů

V praxi platí, že obrobené svary mají lepší mechanické vlastnosti než svary neobrobené. Toto tvrzení dokazují laboratorní zkoušky. Přechod mezi položenými housenkami a svařovaným materiálem není totiž zcela rovný. Abychom dosáhly větší pevnosti svaru, musí být povrch svaru obroben tak, aby na vytvořené ploše nezůstali žádné vady, které by mohli při trvalém zatížení způsobit trhliny. Povrch musí být hladký (lesklý). [2]

Svary můžeme obrábět běžnými metodami obrábění jako např. frézování, broušení.

## 1.10 Jakost svarů

Jakost svarů se hodnotí podle poměru pevnosti svaru k pevnosti základního materiálu. Na pevnost svaru má vliv:

- a) Typ zvoleného svaru
- b) Počet položených housenek – malý počet housenek z drátu většího průměru je lepší než větší počet housenek z drátu menšího průměru
- c) Jakost zhotovení svaru

Jakostní svar je možno posoudit již podle vzhledu. Každá housenka musí dobře držet. Nesmí být jen „přilepená“ a dát se odtrhnout. Položené housenky mají být hladké, rovnoběžné a mají do sebe přecházet malým, napěchovaným zaoblením. Podobně mají housenky přecházet mírně napěchovaným zaoblením i do svařovaného materiálu. Kde tyto ukazatele chybí, je nutno počítat se sníženou pevností svaru. V housenkách (krycích i spodních) nesmějí být přehřátá nebo spálená místa. Projeví se ztmavnutím až zčernáním barvy materiálu. Plné pevnosti dosáhnou svary až po několika hodinách. Přesněji lze jakost svaru zkontrolovat proříznutím zkušebních vzorků. Průřez musí být bez vad, dutin, přepálení nebo jinak vadných míst. [2]

Laboratorně se svary zkoušejí např. na tah nebo ohyb. Svary na trubkách se zkoušejí přetlakem kapaliny. Technologické zkoušky se provádí na kruhových destičkách, jejichž stře-

dem probíhá svar. Za optimálních tepelných podmínek se destičky protahují trnem do hloubky. Mírou pro tažnost svaru je délka pohybu trnu od nulové polohy až k hloubce kde se projeví první trhlina. [2]

Nepropustnost (hustota) svaru se kontroluje induktory s vysokým napětím. Pod svar se položí kovová destičky, kterou se připojí jeden pól iduktoru . Druhý pól se připojí ke zkušebnímu tykadlu, kterým se pohybuje podél svaru. Vady svaru se projeví proskočením jiskry. Použité napětí nesmí však být vyšší, než je napětí, kterému má materiál podle normy odolávat. [2]

### **1.11 Výhody a nevýhody svařovaných spojů horkým plynem**

Výhodou svařovaných spojů je jejich pevnost vzhledem k celkové ploše spoje a to především u svarů typu X. Další předností je např. trvanlivost a odolnost proti vlhkosti i vodě.

Nevýhodou těchto spojení může být obtížné svaření tenkostěnných výrobků protože hrozí jejich rozměrová deformace. Taktéž hrozí při nevhodném postupu spálení materiálu a tím dojde ke změně jeho mechanických vlastností. Také svaření rozdílných druhů materiálu je poměrně problémové.

## 2 LEPENÉ SPOJE

Lepené spoje mají jako způsob vytváření nerozebíratelných spojení mnoho výhod a předností. Jednou z nich je fakt, že nedochází k zeslabení konstrukce a tím k zhoršení mechanických vlastností původního materiálu jako např. u šroubových a nýtových spojů. Lepené spoje jsou nepropustné pro kapaliny popř. i pro plyny. Při dynamickém namáhání dochází k rovnoměrnějšímu rozvedení vzniklého pnutí než u jakýchkoliv jiných mechanických spojů. Lepení je výhodné nejen pro vytváření velkoplošných spojů, ale i pro upevňování velkého počtu malých součástí.

Vhodnost použití lepeného spoje se ovšem musí ověřit porovnáním hodnot dosažených pevností lepeného spoje s hodnotami původního nelepeného materiálu. Nevýhodou lepených spojů je riziko snížení pevnosti při zvýšených teplotách. [3]

Velmi důležitým požadavkem na lepený spoj je únosnost, která je dána přilnavostí lepidla k materiálu (adheze) a soudržností lepidla tedy koheze. Z laboratorních zkoušek vyplývá, že největší podíl na únosnosti lepeného spoje má adheze a to především adheze specifická včetně primárních chemických vazeb. Menší vliv na únosnost lepeného spoje má adheze fyzikální, která je vyvolaná mezimolekulárními přitažlivými silami včetně sil elektrostatických a disperzních. Specifická adheze je způsobena mezimolekulárním napětím na hraniční ploše mezi lepidlem a lepeným materiálem. [3]

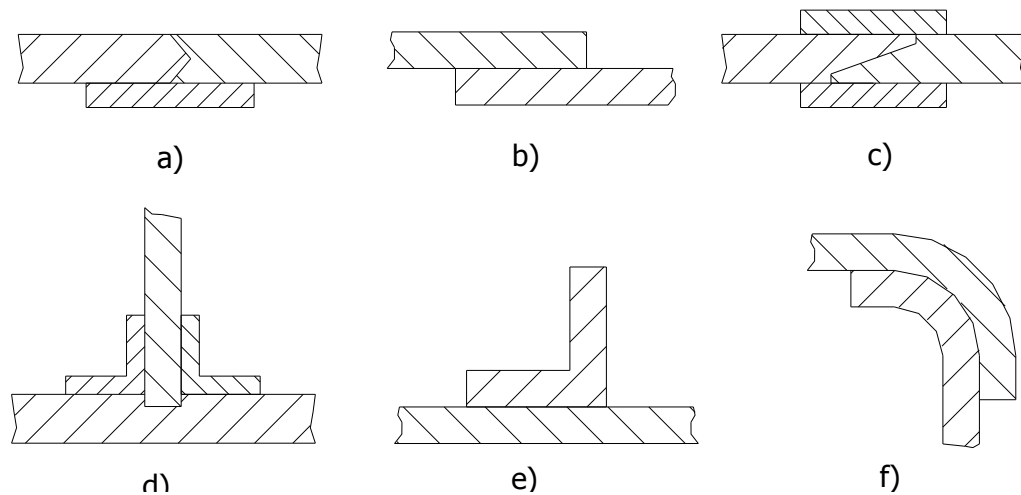
Vnitřní pevnost lepidla (soudržnost) nám charakterizuje koheze tj. souhrn všech přitažlivých sil zabráňujících oddělování molekul lepidla od sebe. V závislosti na tloušťku lepidla se mění jeho soudržnost a platí, že s ubývajícím tloušťkou se zvyšuje pevnost celého spoje. Velmi vhodné je použití lepidla, které nám vykazuje stejné hodnoty sil přilnavosti (adheze) se soudržnými silami (koheze). [3]

### 2.1 Konstrukce lepených spojů

Při navrhování konstrukce lepených spojů musíme zohlednit, že únosnost lepeného spoje je nejmenší při namáhání tahem a největší únosnost má lepený spoj pokud je namáhán smykem. Proto je nejvhodnější lepené spoje konstruovat tak, aby výsledné namáhání bylo smykové nebo tlakové. Lepení se nehodí pro díly, které jsou při montáži vystaveny odlupujícím silám. Velmi nebezpečné jsou spoje s malým přeplátováním. [3]

Lepidlo se musí volit takové, které má menší tuhost než tuhost spojovaných součástí z důvodu omezení napětí na hraně. Pokud nelze tento požadavek splnit musí se spoj navrhnout tak, aby lepené díly byly dostatečně vyztuženy a tvarové přizpůsobeny aby se napětí rozložilo co nejrovnoměrněji po celé ploše lepeného spoje.

Tloušťka a tvarová stálost slepovaných materiálů musí být co největší, aby se při namáhání konstrukce nedeformovali. Vztah smykové pevnosti spojů k tloušťce spojovaných materiálů je přímý. I když v řadě případů, např. jde – li o silné profily, výlisky apod., lze slepovat díly prostým přiložením „na tupo“, je vždy výhodnější zesílit spoj jedním nebo dvojnásobným přeplátováním. Rozměr přeplátování spoje má být asi pětinasobkem tloušťky lepeného materiálu. Větší délkou přeplátování se nezlepšuje adhezní účinnost použitého lepidla. [3]



Obr. 10. Obvyklé konstrukce lepených spojů

a) čelní spoj s vodící drážkou, b) spoj jednoduše přesazený, c) čelní spoj se zvětšenou kontaktní plochou, dvojitě přeplátovaný, d) úhlový spoj s vodící drážkou, e) další typ úhlového spoje, f) přesazený spoj oblouků – předpokládá dokonalý styk obou ploch

Z laboratorních zkoušek vyplývá, že při jednoduchém přesazení lepeného spoje se oproti spoji čelnímu spoji, zvyšuje několikanásobně pevnost. U čelního spoje s dvojnásobným přeplátováním jsou hodnoty pevnosti ještě vyšší než u předchozího případu. Pokud se nepočítá s účinky stranových sil, jsou velmi vhodné tupé spoje. [3]

U konstrukcí namáhaných rázovým zatížením se doporučuje sestavovat spoj místo ze dvou silnostěnných vrstev raději z více vrstev téhož materiálu nebo ze dvou různých materiálů. Protože více jednotlivých vrstev rozvádí lépe rázovou vlnu a snižují postupně její účinek. [3]

Při slepování plastů s klasickými materiály je třeba přihlížet k rozdílné roztažnosti spojovaných materiálů. [3]

## 2.2 Zásady pro volbu lepidla

Při výběru vhodného lepidla pro optimální vlastnosti lepeného spoje se musíme řídit třemi hlavními ukazateli:

- a) Určení přesného druhu materiálu, který chceme lepit
  - b) Předpokládané namáhání budoucího lepeného spoje
  - c) Za jakých technologických podmínek dojde k provedení lepeného spoje
- [3]

### 2.2.1 Učení druhu lepeného materiálu

Pokud nemáme údaje o charakteristikách lepeného materiálu jako např. tepelná stálost, tepelná roztažnost, rozpustnost v organických rozpouštědlech, podíl změkčovadel apod., musíme je dodatečně zjistit. Pro orientační posouzení lze využít zkoušky chování materiálu v plameni, kombinované se zkouškou rozpustnosti. Teprve po přesné identifikaci obou spojovaných materiálů je možno se zohledněním dalších požadavků zvolit optimální lepidlo. [3]

### 2.2.2 Namáhání lepeného spoje

Z lepidel, která byla zvolena jako vyhovující z hlediska specifické adheze, je nutno vybrat taková, která vyhovují i předpokládanému zatížení budoucího lepeného spoje. Obecně lze říci, že pro tepelně a chemicky namáhané spoje většinou vyhovují lepidla tvrditelná, popř. vlukanizovatelná. Houževnaté a čiré spoje, vyznačující se i dobrou odolností vůči vodě, poskytuje řada termoplastických lepidel. [3]

Pokud jsou požadavky na namáhání budoucího spoje protichůdné, musíme zvolit kompromis.

### 2.2.3 Technologie provedení lepeného spoje

Dalším důležitým faktorem pro volbu lepidla je zohlednění způsobu zpracování daného lepidla. Například nanášení, předsoušení a tvrzení.

Pro kontinuální nanášení jsou pochopitelně nejvhodnější lepidla, u nichž lze zajistit přiměřeně dlouhou životnost v tekutém stavu, přednostně tedy lepidla disperzní, a roztoková nebo tavná a jen v nevyhnutelných případech vybraná lepidla tvrditelná. [3]

V případech, kdy ekonomika provozu vyžaduje maximální zkrácení doby tvrzení, např. při lepení velkých ploch, je vhodné použít reaktivní lepidla. Asi nejdůležitějším, technologickým faktorem pro volbu lepidla je rozdělení lepidel na horká a studená. U velmi namáhaných spojů se používají převážně horká lepidla.

#### **2.2.4 Význam pevností lepených spojů pro výběr lepidla**

##### Pevnost v odlupování

Význam této zkoušky je dvojitý. Jednak jako zkoušky pro zjištění dodržení správné technologie lepení, jednak jako zkoušky sloužící pro výběr lepidla pro danou aplikaci. Nízké hodnoty pevnosti se mohou nepříznivě projevit například při místních zatíženích, ke kterým zpravidla dochází při montáži. Konstruktor by se měl snažit při lepení volit lepidlo s co největší pevností v odlupování. [4]

##### Pevnost ve smyku a pevnost při dlouhodobém zatížení za zvýšené teploty

Druhou důležitou vlastností lepených spojů, která rozhoduje o užitelnosti lepidla v určité konstrukci, je jejich tepelná odolnost při zatížení, charakterizovaný pevností ve smyku při požadované teplotě a statickou pevností ve smyku při této teplotě při dlouhodobém zatížení 200 nebo více hodin. Pro lepené díly vystavené slunečnímu záření jsou rozhodující hodnoty při teplotě 80° C. [4]

##### Únavová pevnost lepených spojů

Třetím druhem zkoušek, který charakterizuje vhodnost lepidla pro strojírenské aplikace, je únavová pevnost. Nižší hodnoty při zkouškách dlouhodobým statickým zatížením za zvýšené teploty jsou zpravidla spojeny i s nižšími pevnostmi při únavových zkouškách po dobu dosažení  $2 \cdot 10^7$  cyklů. [4]

##### Rázová pevnost lepených spojů za snížené teploty

Dosud nepříliš vžitou charakteristikou pro hodnocení vhodnosti lepidel jsou zkoušky rázové pevnosti, kde se nedostatky lepidel nejzřetelněji projevují za teplot -75 až 80° C. [4]

##### Vliv povětrnosti na pevnost lepených spojů

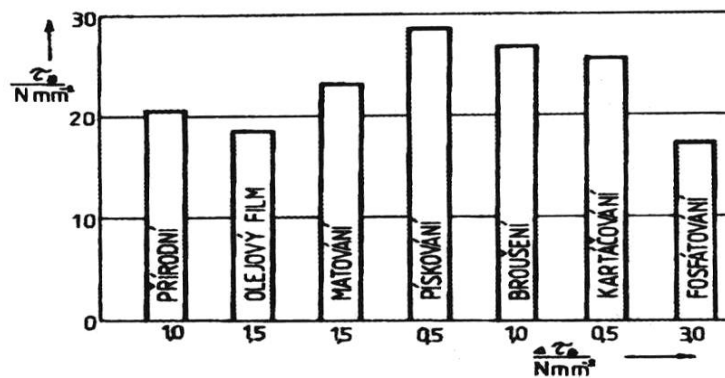
Rozhodující jsou hodnoty získané přímým vystavením vzorků vlivu povětrnosti. Pokud nejsou k dispozici, lze hodnotit lepidla buď podle zkoušek urychleného stárnutí, nebo podle zkoušek vystavení vlivu destilované vody. [4]

### 2.3 Příprava povrchu pro lepení termoplastů

Přípravou povrchu styčných ploch lepeného spoje se rozumí mechanické obrábění, odmašťování, aktivace povrchu, temperace aj. Všechny tyto úpravy mají velký vliv na pevnost a jakost lepeného spoje.

#### 2.3.5 Mechanické obrábění

Nerovnosti obrobené plochy u lepení termoplastů by neměly při použití lepidel s organickými rozpouštědly překročit hodnotu 0,025 mm. Při lepení rozpouštědlovými lepidly by neměla hodnota nerovností překročit 0,05 mm. Tomuto požadavku odpovídají např. frézované povrchy ale u tohoto druhu obrábění nesmí docházet k přehřívání materiálu a pokud toto hrozí, je nutné přivést chlazení vodou nebo vzduchem. [3]



Obr. 11. Pevnost lepeného spoje v závislosti na druhu obrábění

[8]

Jemné zdrsňení povrchu spojovaných ploch lze doporučit při lepení termoplastů s omezenou rozpustností zejména u polyolefinů, polyamidů, polyformaldehydů, polyvinilchloridů atd. Jemné zdrsňení povrchu není na škodu ani v jiných případech protože zvětšuje aktivní plochu, umožňuje rychlejší naleptání povrchové vrstvy rozpouštědlem a eventuálně odstraňuje film voskového separátoru. [3]

### 2.3.6 Odmašťování

K odmaštění povrchu spoje se přistupuje vždy až po mechanickém obrábění spáry, tj. po frézování a broušení, jelikož při těchto operacích dochází vždy ke znečištění materiálů mastnými nástroji. Odmašťování je nutné v každém případě, a to i tehdy, počítá-li se s chemickou úpravou povrchu mořením ve speciálních lázních. Pokud se tak nestane tak mastnota zůstane na povrchu mořidla a po vyjmutí opět přilne na styčnou plochu spoje. Ideálním postupem je postupné odmašťování ve dvou lázních v první lázni dojde k hrubému a v druhé k čistému odmaštění. [3]

Dokonalé odmaštění ovlivňuje dobrou smáčivost tj. vlastnost povrchu a lepidla dosáhnout mezi sebou přímého styku.

### 2.3.7 Úprava aktivity povrchu

Nerozpustné, nepolární polyolefiny, jako je polyetylén, polypropylén, polytetrafluóretylén, polytrifluórchlótylén a kopolymer fluórovaného etylénu s propylénem se mohou úspěšně slepovat je tehdy, je-li jejich povrch předem aktivován. Řada metod navržených k tomuto účelu je vesměs založena na procesech oxidačního charakteru nebo na úpravách, jimiž se zvětšuje počet adhezivních dvojných vazeb. [3]

Používají se různé typy aktivace povrchu:

- a) Aktivace povrchu rozpouštědly - pracuje se např. s toluenem, předmět se ponoří do rozpouštědla nahřátého na 80 °C na 15 sekund
- b) Kyselinou chromsírovou (vhodné pro polyetylén, polypropylén, polyamid a polystyren
- c) Sodíko – naftalenovou lázní (vhodné pro polytetrafluóretylén a polytrifluórchlótylén)
- d) Ožehnutím plamenem (vhodné pro polyetylén, polypropylén a polyizobutylén)

Další metody jsou založeny na ozařování povrchu ultrafialovými paprsky a naroubování vrstev s drobnými adhezivními vlastnostmi na polymer. [3]



### 2.3.8 Temperace

Při zpracování dochází v některých termoplastech ( PMMA, PS, PC) k vnitřnímu pnutí způsobenému většinou nesprávným režimem obrábění, tepelného tvarování, lisování a vstřikování. Toto vnitřní pnutí lze odstranit tepelnou úpravou tzv. temperací. [3]

K temperování dílů se používají horkovzdušné sušárny. Teplota a čas temperování se liší v závislosti na upravovaném materiálu a na jeho tloušťce stěny. Například u výlisků s polystyrenu se temperační teplota pohybuje mezi 70 až 80 °C pro díly s tloušťkou stěny do 10 mm po dobu 3 hodin. U větších tloušťek stěny o každé 3mm doba temperování zvětšuje asi o hodinu. Aby nevzniklo v materiálu nové pnutí, je nutné zajistit pozvolné ochlazení temperovaných dílů až na hodnotu 40 °C. [3]

### 2.3.9 Ochrana okolí lepeného spoje

Aby nedošlo ke znečištění bezprostředního okolí lepeného spoje lepidlem např. u průhledných dílů, nebo na pohledových stranách výrobku doporučuje se na exponovaná místa použít např. maskovací, papírové pásy vhodné šířky.

## 2.4 Jednotlivé fáze vzniku lepeného spoje a jeho struktura

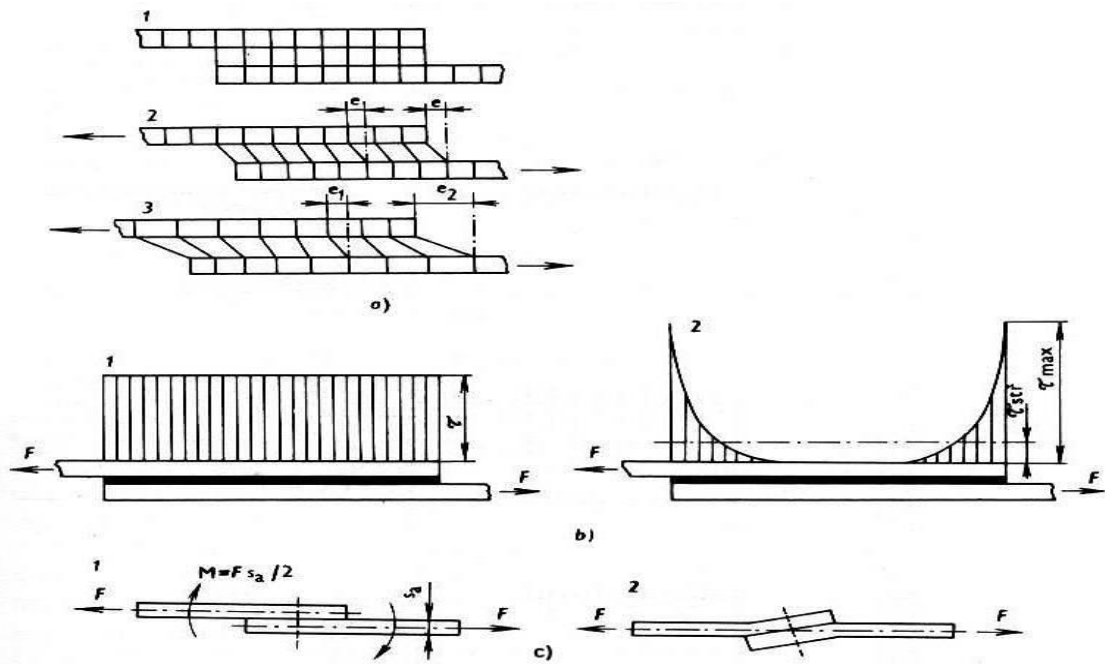
Každý konstrukčně pevný lepený spoj lze považovat za soubor pěti navzájem vázaných vrstev, kde míra adheze každé jednotlivé vrstvy k vrstvám sousedním i koheze vrstev samých může značně ovlivnit celkovou kvalitu spoje. Jedná se o tyto vrstvy: [3]

- 1.) lepený materiál na jedné straně spoje
- 2.) mikrovrstva, v níž se lepidlo a nerovnosti (póry) povrchu lepené hmoty prolínají, na druhé straně spoje
- 3.) vlastní film lepidla
- 4.) mikrovrstva, v níž se lepidlo a nerovnosti (póry) povrchu lepené hmoty prolínají, na druhé straně spoje
- 5.) lepený materiál na druhé straně spoje

## 2.5 Napětí v lepeném spoji

Rozložení napětí bude vysvětleno pro nejběžnější případ, pro jednoduše přeplátovaný lepený spoj. Příčiny nerovnoměrného rozdělení jsou podstatě dvě.

První má svůj původ ve vytvrzování lepidla. Rovnoměrné roztahování či smršťování dokonale homogenního tělesa, například změnou teploty, nemůže vyvolat vnitřní pnutí. Naproti tomu dilatují-li dvě tělesa navzájem více či méně pevně spojená, vzniknou zbytková napětí. Při vytvrzování se lepidlo smršťuje. Určitá část smrštění proběhne ještě před ztuhnutím lepidla a neovlivní nepříznivě rozdělení napětí. Podstatná část smrštění nastane po ztuhnutí lepidla a je příčinou zbytkových napětí v nezátíženém lepeném spoji. Rozdělení napětí je podobné jako na obr. 13. [4]



Obr. 12. a) Průběh deformace jednoduše přeplátovaného spoje po zatížení

1 nezátížený spoj, 2 zatížený spoj tuhých adherendů, 3 zatížený spoj elastických adherendů

b) Rozdělení napětí ve vrstvě lepidla u tuhých a elastických adherendů

1 tuhý adherent, 2 elastický adherend

c) Deformace spojů v důsledku ohybového momentu

1 tuhých adherendů, 2 elastických adherendů

Druhý příspěvek k nehomogenně napětí vzniká při zatížení spoje. V důsledku nerovnoměrné deformace neideálně tuhého materiálu dochází k rozdílné deformaci lepidla, která je největší na koncích přeplátování. Má za následek přibližně hyperbolický průběh napětí po celé délce přeplátování s charakteristickými špičkami u jeho konců, které mohou být i několiknásobkem středního smykového napětí ve vrstvě lepidla  $\tau_{stř} = F / bl_u$ , kde F je maximální síla, b je šířka lepené plochy a  $l_u$  délka přeplátování. Zcela jiné poměry jsou u zkosených spojů. Protože špičky napětí vzniklé smrštěním lepidla jsou zanedbatelné ve srovnání se špičkami napětí vzniklými při zatížení spoje, roste u zkosených spojů únosnost až na hranici pevnosti materiálu takřka lineárně. [4]

Vlivem nesymetricky působících sil je lepený spoj navíc namáhán ohybovým momentem, který vyvolává na koncích přeplátování ve vrstvě lepidla normálová napětí, která pevnost snižují a mají u delších přeplátování za následek ohýbání konců plechů. [4]

## 2.6 Vlivy na pevnost lepeného spoje

Pevnost spoje je soubor dílčích pevností nebo složek pevnosti, jako jsou pevnosti stanovené krátkodobými zkouškami, dále pevnosti při zvýšených či snížených teplotách, pevnosti při vlivu různých prostředí pevnosti spoje při dlouhodobém statickém a dynamickém zatěžování. [4]

Přestože není obecné zhodnocení vlivu teploty na pevnost lepených spojů možné, je účelné uvést aspoň přibližně platná pravidla, a to pro běžná konstrukční lepidla, která nejsou určena speciálně pro práci za vysokých teplot. [4]

- a) Pevnost ve smyku od teploty 20 °C do teploty 40 až 50 °C u některých lepidel nejprve stoupá, teprve pak začíná klesat. Kritický pokles pevnosti všech lepidel bývá obvykle v rozmezí teplot 60 až 100 °C.
- b) Rázová pevnost epoxidových a fenolformaldehydových lepidel dosahuje obvykle maxima v rozmezí 20 až 40 °C, u lepidel metakrylátových pak obvykle
- c) Pevnost v odlupování obvykle zpočátku se stoupající teplotou roste. Naopak pod teplotou 20 °C se může snižovat.

- d) při teplotě 80 °C. U všech lepidel dochází k význačnému poklesu rázové pevnosti v rozmezí +20 až -10 °C.
- e) U nižších hladin zatížení se rychlost creepu lepených spojů za zvýšených teplot po určité době snižuje. Pevnost při dlouhodobém zatížení lepených spojů ve smyku je snižována působením vlhkosti.

Závislost pevnosti ve smyku na délce přeplátování má za zvýšených teplot jiný průběh než za teploty laboratorní. Zatímco u malých délek přeplátování pevnost ve smyku s teplotou klesá, u větších délek přeplátování tomu tak být nemusí. [4]

### 2.6.1 Vliv prostředí na pevnost lepených spojů

Ve starší literatuře lze někdy najít značné výhrady, zejména k odolnosti lepených spojů proti vodě. Dnes se dá říci, že tyto obavy nebyly zcela opodstatněné. I když dále uvedené údaje nelze považovat za konečné řešení, vystihují současný stav znalostí. Při ponoření lepených spojů do vody můžeme pokládat její vliv za difúzní proces. V lepidlu se ustaví po určité době rovnováha (maximální nasycení). Pokud dojde vlivem prostředí (např. vlivem vlhkosti) ke snížení pevnosti spoje, je tato změna nevratná, nelze ji odstranit vysoušením spoje. [4]

## 2.7 Druhy lepidel

V současné době je na trhu mnoho značek a druhů lepidel. Odlišují se od sebe složením, vhodností použití pro dané materiály, podmínkami pro aplikaci a taktéž pracovními podmínkami budoucího lepeného spoje. Při volbě jednotlivých druhů lepidel musíme zohlednit jejich charakteristiky, abychom zajistily požadovanou pevnost a vlastnosti lepeného spoje.

Pomineme-li různé přechodové jevy, zůstává při výběru lepidel nejdůležitějším technologickým hlediskem rozdělení na studená a horká lepidla. Pro velmi namáhané díly se mohou použít převážně jen horká lepidla. [3]

Podle způsobu vytváření lepeného spoje dělíme lepidla:

- a) *disperzní nebo roztoková* – spoj je uskutečněn vsáknutím nebo odpařením rozpouštědla,
- b) *citlivá na tlak* – spoj se provede tlakem na lepicí pásku ve spojovaném místě,

- c) *tavná* – vytvoří spoj po ztuhnutí lepidla,
- d) *s vytvrzující chemickou reakcí* – ve strojírenství často používaná. Probíhá-li vytvrzovací reakce do 20 °C, jedná se o tzv. studená lepidla, probíhá-li v rozmezí teplot 21 až 144 °C, jsou to teplá lepidla, je-li teplota vyšší než 144 °C, jedná se o horká lepidla.

#### Dělení některých druhů lepidel podle jejich složení

- a) *epoxidová lepidla* - spojí kovy, kovy s dřevem či kůží, sklo, keramiku, beton s kovy, reaktoplasty
- b) *akrylová a metakrylová lepidla* - spojí kovy, reaktoplasty, keramiku, pryže
- c) *polyesterová lepidla* - spojí sklolamináty, dřevo, keramiku, kovy
- d) *fenolformaldehydová lepidla* - spojí dřevo, sklo
- e) *syntetický kaučuk* - spojí pryže, pryže s kovy, použití pro spoje s rozdílnou délkovou roztažností spojovaných materiálů

Při každé aplikaci studeného lepidla se musí rozhodnout, zda bude očekávaná pevnost dostatečná. Při volbě horkého lepidla se musí dále uvážit, zda konstruktér musí (z pevnostních důvodů) a může (podle zařízení, které má k dispozici) použít lepidla, která vytvrzují za vyšších tlaků. [4]

## **2.8 Výhody a nevýhody lepených spojů**

Jednou z výhod lepených spojů je, že nedochází k zeslabení lepeného materiálu a tím ke změně mechanických vlastností jako například u spojování materiálu nýtováním. Také napětí vzniklé pnutím ve spoji se lépe rozvádí než u jakýchkoliv jiných mechanických spojů. Výhodou lepení také je možnost spojování rozdílných druhů materiálů. Lepení je výhodné nejen pro vytváření velkoplošných spojů, ale i pro upevňování velkého počtu malých součástí.

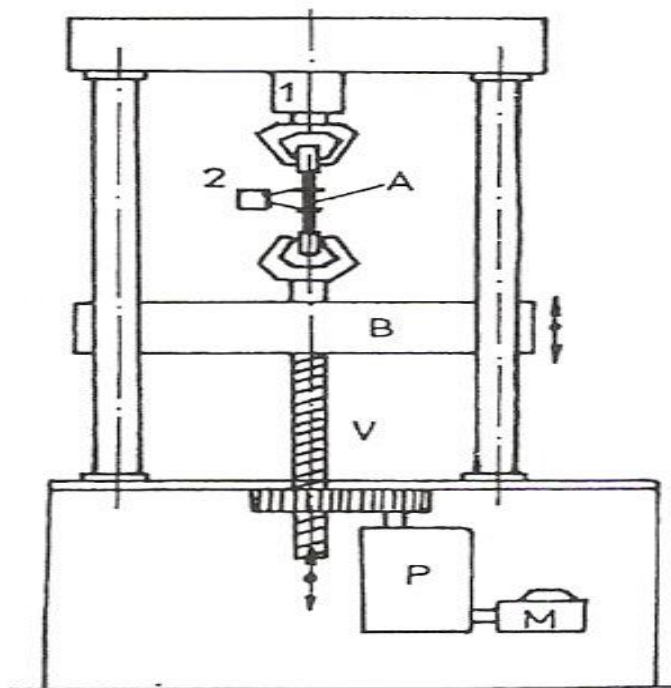
Nevýhodou je požadavek větší styčné plochy z důvodu menší pevnosti spoje. Náchylnost ke stárnutí, nižší odolnosti proti vlhkosti a vodě a obtížné kontrole jejich vlastností patří taktéž k nevýhodám. Lepené spoje nejsou příliš vhodné do náročných podmínek, např. při vysokých teplotách u nich dochází ke snížení pevnosti spoje.



### 3 MECHANICKÉ ZKOUŠENÍ MATERIÁLU

Pro provádění mechanických zkoušek materiálu nám slouží Univerzální zkušební stroj, který by měl patřit k základnímu vybavení laboratoře.

Stroj tvoří pevný rám, v jehož horní části je umístěn dynamometr 1 – zařízení pro měření síly (obr. 14). Zkušební těleso A je jedním koncem uchyceno k dynamometru a druhým koncem k pohyblivému příčnicku B. Příčnick je uváděn do pohybu motorem M, přes vřeteno V a převodovou skříň P. Při pohybu příčnicku dochází k postupnému zatěžování a deformaci zkušebního tělesa. Deformace tělesa je registrována průtahoměrem 2. Vhodnou úpravou uchycení zkušebního tělesa a průtahoměru se na tomto stroji provádí i ostatní mechanické zkoušky. [5]



Obr. 13. Univerzální zkušební stroj

1 – dynamometr, 2 – průtahoměr, A – zkušební těleso,

B – příčnick, V – vřeteno,

P – převodovka, M – motor

Pohon zkušebních strojů může být mechanický nebo hydraulický (stroje pro zatížení větší než 200 kN). Mechanické stroje byly původně vybaveny dynamometry, které měřily sílu na principu mechanické váhy. U hydraulických strojů se síla snímala z hydrostatického tlaku oleje v pracovním válci. Deformace se měřila při desetinásobném zvětšení pohybu příčnicku. [5]

Měření malých deformací (citlivost 1  $\mu\text{m}$  až 0,1  $\mu\text{m}$ ) a stejně tak i přesné měření síly umožnil až rozvoj elektroniky v padesátých letech, kdy začaly vznikat tzv. elektronické zkušební stroje. [5]

### 3.1 Zkouška tahem

Zkouškou tahem získáváme závislost napětí na deformaci a provádí se experimentálně na hladkých zkušebních tělesech. Zkušební těleso (jednoduchého tvaru nejčastěji kruhového či obdélníkového průřezu) uchytíme do čelistí zkušebního stroje a na těleso nasadíme průtahoměr. Během zkoušky se na zapisovači registruje (příp. do paměti počítače ukládá) závislost působící síly  $F$  (zatížení – snímané dynamometrem) na prodloužení zkušební tyče (snímané průtahoměrem, případně určené z pohybu příčnicku zkušebního stroje). [5]

#### 3.1.1 Smluvní diagram napětí - deformace

Závislosti síla – prodloužení, získané na zkušebních tělesech různých velikostí zhotovených z jednoho materiálu, je možné přepočítat na jedinou závislost smluvní napětí  $R$  – poměrná deformace podle vztahu:

- smluvní napětí:

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \text{ [MPa]} \quad (1)$$

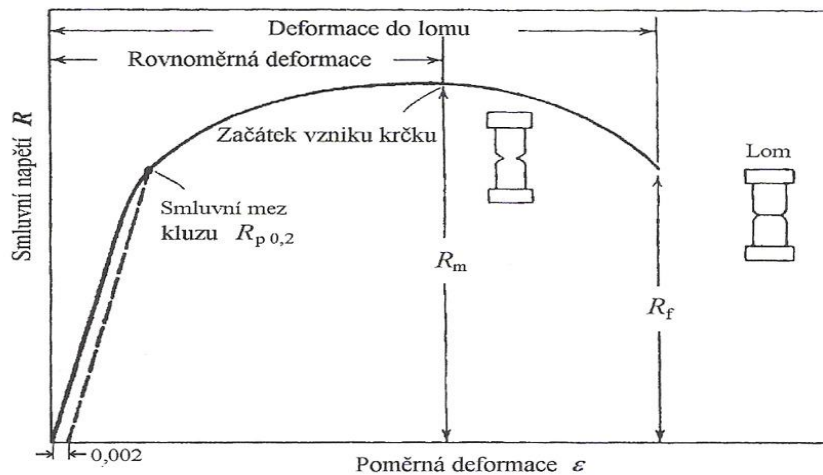
- poměrná deformace

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \text{ [-]} \quad (2)$$

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (3)$$



kde  $S_0$  [mm<sup>2</sup>] je původní průřez zkušební tělesa,  $L_0$  [mm] je původní měrná délka zkušební tělesa (výraz  $L - L_0$  vyjadřuje přírůstek délky na  $L_0$  a proto se často označuje  $\Delta L$ ). [5]



Obr. 14. Smluvní diagram napětí – deformace

Počáteční úsek diagramu je přímkový a odpovídá elastické deformaci. V případě, že prodloužení bylo snímáno snímačem umístěným na zkušebním tělese, pak tato přímka je popsána Hookovým zákonem: [5]

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad \text{MPa} \quad (4)$$

kde  $E$  [MPa] je modul pružnosti v tahu materiálu zkušební tyče.

Pro spolehlivý výpočet modulu pružnosti je nutné, aby zvětšení snímače bylo (500 – 1000) násobné. Je-li prodloužení zkušební tělesa odvozeno pouze z posuvu příčnicku zkušebního stroje, potom sklon počátečního úseku tahového diagramu zahrnuje vedle elastické deformace zkušební tělesa i elastické deformace zkušebního stroje (rám stroje, dynamometr, čelisti). Elastická deformace zkušebního stroje je zpravidla řádově větší ve srovnání s elastickou deformací zkušební tyče. Proto z takového záznamu nelze modul  $E$  vyhodnotit. [5]

V další části diagramu dochází k odklonu od přímkové závislosti v důsledku vzniku plastické deformace. Přírůstek napětí v závislosti na deformaci (deformační zpevnění) postupně klesá až na nulovou hodnotu. Až do tohoto okamžiku se měrná část zkušební tyče deformuje rovnoměrně (dochází k rovnoměrnému zužování průřezu). Další deformace je provázena poklesem a vznikem krčku na měřené části zkušební tělesa. V praxi se na

základě průběhu závislosti smluvní napětí – poměrná deformace vyhodnocují dvě napětí-ové materiálové charakteristiky: smluvní mez pevnosti a mez kluzu. [5]

### 3.1.2 Určení smluvní meze pevnosti

Mez pevnosti ( $\sigma_M$ ) je nejvyšší napětí dosažené ve smluvním diagramu napětí – deformace, což je poměr hodnot maximální síly dosažené při zkoušce a původního průřezu zkušební tělesa:

$$\sigma_M = \frac{F_{\max}}{S_0} \text{ [MPa]} \quad [5]$$

U tvárných materiálu je mez pevnosti dána hodnotou smluvního napětí, při němž se začíná vytvářet na zkušebním tělese krček. K lomu tělesa dojde při smluvním napětí ( $\sigma_B$ ) (lomové napětí) až po vzniku krčku. V případě, že k porušení zkušební tělesa dojde po malé nebo nulové plastické deformaci, pak hodnota ( $\sigma_M$ ) odpovídá napětí v okamžiku lomu ( $\sigma_B$ ), což je lomové napětí.

Smluvní mez pevnosti se nejčastěji uvádí jako základní mechanická charakteristika určená zkouškou tahem. Ve skutečnosti tato veličina nevystihuje přesně pevnost materiálu. Pro tvárné materiály smluvní mez pevnosti vyjadřuje zatížení, které materiál přenese za velmi přísných podmínek jednoosé napjatosti. Tato veličina prakticky nevystihuje skutečnou únosnost součástí, které jsou vystaveny působení víceosé napjatosti. [5]

Pro výpočty součástí mnoho let tvořila základ smluvní mez pevnosti vhodně redukovaná faktorem bezpečnosti. Dnes se při výpočtu konstrukcí z tvárných materiálu využívá druhé napětí-ové charakteristiky – meze kluzu. Z hlediska zkušeností inženýru z dřívějších let však smluvní mez pevnosti zůstává i v současné době v materiálových listech. Pro určení  $\sigma_M$  lze použít i jednodušší zkušební stroje, které nejsou vybaveny snímači prodloužení zkušební tělesa. Existuje řada empirických korelačních vztahů mezi smluvní pevností a dalšími charakteristikami (tvrdoostí, mezí únavy apod.). [5]

### 3.1.3 Určování deformačních charakteristik

Vedle uvedených dvou napětí-ových charakteristik meze pevnosti a meze kluzu, které určujeme ze záznamu síla – prodloužení zkušební tělesa jsou v materiálových listech ještě

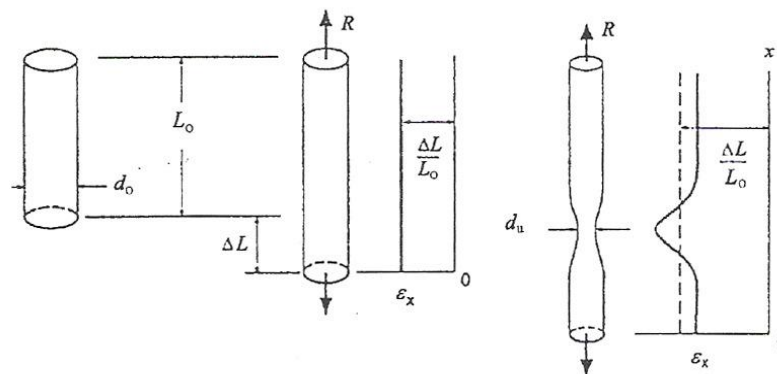
další dvě charakteristiky A a Z, které určujeme pouze na základě rozměru zkušební tyče před a po zkoušce. Jedná se o deformační charakteristiky tažnost A a zúžení Z. Před zkouškou na rovnoměrné části zkušební tyče vyznačíme ryskami vzdálenost  $L_0$ . Po přetržení obě části tyče přiložíme lomovými plochami těsně k sobě a změříme vzdálenost rysek  $L_u$  a průřez tyče  $S_u$  v místě lomu. Deformační charakteristiky vypočteme ze vztahů: [8]

$$A = 100 \cdot \frac{L_u - L_0}{L_0} [\%] \quad (6)$$

$$Z = 100 \frac{S_u - S_0}{S_0} [\%] \quad (7)$$

pro kruhovou tyč:

$$Z = 100 \cdot \frac{d_0^2 - d_{u_n}^2}{d_0^2} [\%] \quad (8)$$



Obr. 15. Schéma určování tažnosti

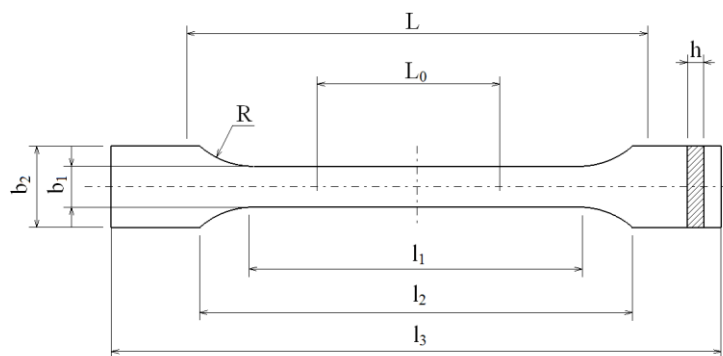
Měření hodnot A i Z provádíme na přetržených, tj. nezatížených zkušebních tělesech, a proto tyto materiálové charakteristiky souvisí pouze s plastickou deformací zkoušeného materiálu.[5] Z důvodu časové závislosti deformačního chování se tažnost a zúžení u plastů nevyhodnocuje.[6] Praktické provedení zkoušky u plastů je stejné jako u materiálů kovových. U kovů se pro napětí používá symbolu R, kdežto u plastů se napětí označuje  $\sigma$ . Průběh tahových diagramů je na rozdíl od kovů silně závislý na teplotě a čase.[6] Při krátkodobém namáhání se zanedbávají relaxační děje plastů. [7]

### 3.1.4 Určení meze kluzu

Mez kluzu je napětí, při němž začíná vznikat plastická deformace. Podle (obr. 8) bychom měli považovat za mez kluzu napětí, při kterém dochází k odklonu diagramu od přímky. Takto zjištěná hodnota meze kluzu by však byla závislá na citlivosti snímače prodloužení. Proto se zavádí smluvní mez kluzu ( $\sigma_y$ ) [MPa], což je napětí, které vyvolává plastickou deformaci o velikosti  $\varepsilon = 0,002$  (0,2 %). I v tomto případě je nutné při měření tahového diagramu použít snímače prodloužení. Ve srovnání s měřením modulu pružnosti  $E$  však zvětšení snímače může být o řád menší (50 – 100 násobné). Ze záznamu napětí – deformace hodnotu meze kluzu ( $\sigma_y$ ) určíme následujícím postupem. Na ose poměrných deformací vyznačíme hodnotu deformace 0,2 %. Tímto bodem vedeme rovnoběžku s přímkovou částí tahového diagramu. Bod, kde protíná rovnoběžka závislost napětí – deformace, je napětí smluvní meze kluzu ( $\sigma_y$ ). [5]

### 3.2 Zkušební tělesa

Zkušební tělesa pro tahovou zkoušku se od sebe liší nejen svými rozměry, ale i tvarem. Různý je také způsob výroby, tělesa mohou být vyrobena tvářením, mechanickým obráběním, vysekáváním z lisovaných nebo vstřikovaných desek a vstřikováním. Normalizovaná tělesa pro zkoušku tahem jsou uvedena v normě ČSN EN ISO 527. [9]



Obr. 16. Rozměry zkušebního tělesa pro zkoušku tahem [9]

## II. PRAKTICKÁ ČÁST

## 4 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Úkolem této práce je porovnat mechanické vlastnosti spojů vytvořených svařováním horkým plynem a lepením. Podle získaných výsledků vyhodnotit vhodnost použití daného spoje pro využití v autoopravárenství, proto jsme jako materiály zkušebních těles zvolily plasty ABS, PP, PP+PE, které se používají v automobilovém průmyslu pro výrobu nárazníků, blatníků, podběhů a různých součástí automobilu či motocyklu. Mechanické vlastnosti získáme provedením statické zkoušky v tahu na trhacím stroji ZWICK ROELL 1456. Pro tento účel byly vytvořeny zkušební tělesa z výše popsanych materiálů na vstřikovacím stroji ARBURG ALLROUNDER 420C.

Budeme porovnávat lepené spoje s dvojitým přeplátováním s použitím tří druhů lepidel se svary typu X a se svary přeplátovanými.

Získané výsledky budou porovnány za účelem určení vhodnějšího typu spojení pro daný materiál.

## 5 POUŽITÉ MATERIÁLY

V této Bakalářské práci byly pro experimentální porovnání mechanických vlastností svařovaných a lepených spojů zvoleny tyto termoplasty: Akrylobutadienstyren - ABS, Polypropylen – PP, Polypropylen + Polyetylen – PP + PE (1 : 1).

Všechny použité materiály se hojně využívají v automobilovém průmyslu.

### 5.1 Materiál ABS

Jedná se o amorfni plast, který je tuhý, pevný, ale bez přísad křehký a čirý.  $T_g = 80$  až  $100$  °C. Vhodný pro použití do  $70$  °C. Je hořlavý. Chemicky odolává kyselinám, zásadám, tukům, olejům, alkoholu. Neodolává rozpouštědlům a uhlovodíkům. Dá se dobře barvit, potiskovat, lakovat i lepit. ABS vlivem slunečního záření křehne, takže tento materiál vyžaduje vrstvu ochranného prostředku např. barvy. [1]

#### 5.1.1 Použití ABS

Z materiálu ABS se vyrábí různé součásti automobilů: nárazníky, přístrojové desky, kliky dveří, mřížky chladičů, blatníky, podběhy, výplně dveří. Také kapotáže silničních motocyklů jsou vyráběny z ABS. Dále se tento materiál využívá pro výrobu různých domácích přístrojů. [1]

### 5.2 Materiál PP

Polypropylen je semikrystalický, středně pevný, tuhý a houževnatý materiál. Stupeň krystalinity 50%.  $T_g = -15$  až  $-10$  °C. Teplota použití je do  $130$  °C. Lze ho použít i na některé technické výrobky. Často se plní vyztužujícím plnivem, hlavně sklenými vlákny, které zlepšují jeho mechanické vlastnosti. [1]

Je mléčně zakalený, lehčí než voda a tužší než PE. Dá se dobře svařovat, ale není příliš vhodný pro lepení. PP. Chemická odolnost je velmi dobrá, odolává kyselinám, zásadám a solným roztokům. Podléhá oxidaci, pod bodem mrazu homopolymer křehne, mechanické vlastnosti závisí na poměru a uspořádání monomeru. Nenavlhá a dá se dobře barvit. Polypropylen má výhodnou kombinaci ceny a užitných vlastností. Elektroizolační a dielektrické vlastnosti jsou dobré. [1]

### 5.2.1 Použití PP

Tento materiál má velký rozsah použití, používá se na výrobu automobilových dílů: nárazníky, přístrojové desky, kryty zavazadlového prostoru, komponenty klimatizační jednotky, víka, vrtule ale také se z tohoto materiálu vyrábí např.: injekční stříkačky, obalové výrobky, folie a vlákna. [1]

## 5.3 Materiál PP+PE

Tento materiál jsme připravili objemovým smícháním granulátu PP a PE v poměru 1:1.

Jedná se o semikristalický plast s nižší pevností a tuhostí a s velkou houževnatostí. Stupeň krystalinity 60%, spotřebitelský ale i konstrukční plast.  $T_g = -80^\circ\text{C}$ .

Teplota použití je 80 až 100 °C. Je hořlavý, odkapává. Elektroizolační a dielektrické vlastnosti jsou velmi dobré. Má nízkou odolnost proti UV záření a vlivům povětrnosti. Odolává alkoholům, kyselinám, zásadám a solným roztokům. Neodolává chlorovaným uhlovodíkům a částečně benzínu. Dá se modifikovat velkou řadou plniv. [1]

### 5.3.1 Použití PP + PE

Také tento materiál se používá v automobilovém průmyslu např. pro výrobu nárazníků, blatníků a různých krytů. Dále jsou z tohoto plastu vyrobeny misky, láhve, sudy, trubky, folie i desky. [1]

## 5.4 Použité zařízení

V této kapitole jsou popsány všechny použité stroje a zřízení potřebné k vypracování praktické části této Bakalářské práce. Materiál na výrobu zkušebních vzorků (ABS) se před vstřikováním musel sušit. Sušení proběhlo na sušícím zařízení ARBURG THERMOLIFT 100 - 2. Zkušební tělesa se vyráběli na vstřikovacím stroji ARBURG Allrounder 420C. Svařované spoje jsme vytvořili pomocí horkovzdušné pistole STEINEL HL2010E a rychlosvařovacího nástavce. Tahová zkouška proběhla na trhacím stroji ZWICK ROELL 1456.

### 5.4.1 Sušící zařízení ARBURG THERMOLIFT 100 – 2

Toto zařízení je určeno jak pro vysoušení polymerního materiálu před samotným vstřikováním, tak pro jeho dopravu do plastikací jednotky vstřikovacího stroje. Obsluha stroje



probíhá pomocí kontrolního panelu. Výhodou je mobilita tohoto zařízení, které lze posouvat mezi vstřikovacími stroji. [9]



Obr. 17. Sušící zařízení ARBURG THERMOLIFT 100 – 2

Tab. 3. Technické parametry sušícího zařízení

ARBURG THERMOLIFT 100-2		
objem zařízení	100	l
objem zařízení s připojeným kontejnerem	200	l
provozní napětí	220/400	V
topný element	4,5	Kw
ventilátor	0,95	Kw
dopravní výška	3	m
dopravní tlak	0,05	bar
zdroj sušícího vzduchu	0,74	Kw
celková spotřeba energie	5,5	Kw
celková spotřeba energie zahrnující zdroj sušícího vzduchu	6,2	Kw
množství sušícího vzduchu	90	m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>
množství obnoveného sušícího vzduchu	20	m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>
přípojka stlačeného vzduchu pro vakuové dopravní zařízení	4 – 6	bar
vzduchový filtr / jmenovitý maximální průtok	180	m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>

### 5.4.2 Vstřikovací stroj ARBURG Allrounder 420

Tento vstřikovací stroj může sloužit jak pro základní vstřikování, tak pro některé speciální druhy zpracování jak pro základní vstřikování, tak pro některé speciální druhy zpracování jako např. vícekomponentní vstřikování plastů. Ke své činnosti využívá řídicí systém SELOGICA, který umožňuje rychlou a jednoduchou obsluhu. Na obrazovce stroj graficky zobrazuje všechny cykly vstřikování a obsluha může kontrolovat správnost naprogramovaných dat. [9]



Obr. 18. Vstřikovací stroj ARBURG ALLROUNDER 420C

Tab. 4. Technické parametry vstřikovacího stroje

Vstřikovací stroj ARBURG Allrounder 420C		
Uzavírací jednotka		
uzavírací síla	1000	max. kN
otevírací síla / zvýšená otevírací síla	35/250	max. kN
otevření	500	max. mm
vzdálenost mezi vodícími sloupy	420x420	mm
velikost upínací desky	570x570	mm
vyhazovací síla	40	max. kN
zdvih vyhazovače	175	max. mm
Hydraulika, pohon		
výkon čerpadla	22	kW
celkový příkon stroje	33,9	kW
Vstřikovací jednotka		
průměr šneku	40	mm
poměr šneku	20	L/D
zdvih šneku	145	max. mm
objem dávky	182	max. cm <sup>3</sup>
vstřikovací tlak	2120	max. bar
vstřikovací rychlost (objemová)	168	max. cm <sup>3</sup>
kroučící moment šneku	700	max. Nm
přítláčná síla trysky	70	max. kN
objem násypky	50	l
Olejová náplň a hmotnost		
množství oleje	235	l
hmotnost stroje, bez oleje	3700	kg

#### 5.4.3 Horkovzdušná pistole Steinel HL 2010 E

Jedná se o mikroprocesorem řízenou horkovzdušnou pistoli s regulací teploty a studeným stupněm.

Požadovaná a skutečná teplota se dá snadno kontrolovat na vhodně umístěném LCD displeji. Plynulá regulace teploty po 10 °C v rozsahu od 50 do 630 °C.

Při výrobě svařovaných spojů bylo použito redukční trysky o průměru 9mm, na kterou byl nasunut rychlosvářovací nástavec pro zpracování svařovacího drátu do průměru 6mm. [11]



Obr. 19. Horkovzdušná pistole Steinel HL 2010 E [11]



Obr. 20. Redukční tryska 9mm a rychlosvařovací nástavec pro drát do průměru 6mm. [11]

Tab. 5. Technické parametry horkovzdušné pistole Steinel HL 2010 E [11]

Steinel HL 2010 E		
Příkon	2000	W
Rozsah teploty	50-630	°C
Proud vzduchu	150/300/500	l/min
Rozměry (d x š x v)	260x90x205	mm
Ovládání horkovzdušné pistole 3 stupňovým provozním spínačem.		
Studený stupeň k rychlému ochlazení při výměně trysky.		
Nastavení teploty v krocích po 10°C za pomoci tlačítka.		

#### 5.4.4 Zkušební stroj ZWICK ROELL 1456

Toto zařízení umožňuje zkoušku tahem, tlakem a ohybovou zkoušku. K ovládání stroje slouží osobní počítač, který je součástí tohoto zařízení. Stroj používá pro zpracování výsledků software Test Xpert. Po provedení zkoušky za požadované teploty je k dispozici temperanční komora, která se dá lehce nainstalovat posunutím po kolejkách. [9]



Obr. 21. Zkušební stroj ZWICK ROELL 1456

Tab. 6. Technické parametry zkušebního stroje ZWICK ROELL 1456

ZWICK ROELL 1456		
Rozměry a hmotnost stroje		
strojová výška	1284	mm
celková výška	2012	mm
celková šířka	630	mm
šířka pracovního prostoru	420	mm
hmotnost	150	kg
Dynamika stroje		
maximální zkušební síla	20	kN
maximální rychlost posuvu příčnicku	750	mm.mm <sup>-1</sup>

## 5.5 Výroba zkušebních těles

Všechny zkušební tělesa potřebné k experimentální části této bakalářské práce byla vyrobena vstřikováním na vstřikovací stroji ARBURG ALLROUNDER 420C. Jako materiál zkušebních těles jsme zvolili ABS, PP a PP + PE. Materiál ABS se musel před vstřikováním 3 hodiny sušit při teplotě 80 °C. Vstřikovací parametry pro ABS jsou v tabulce č. 7. Pro polypropylen a polypropylen + polyetylen jsou vstřikovací parametry stejné – Tab. 8.

Tab. 7. Vstřikovací parametry pro materiál ABS

Teploty pásem plastikační jednotky		
teplota pod násypkou	40	°C
teplotní pásmo	225	°C
teplotní pásmo	235	°C
teplotní pásmo	250	°C
teplotní pásmo	260	°C
teplota trysky	270	°C
Další parametry		
vstřikovací tlak	800	bar
dotlak	600	bar
dráha dávkování	28,6	mm
doba chlazení	20	s
teplota formy	50	°C
vstřikovací rychlost	40	m/s

Tab. 8. Vstřikovací parametry pro materiály PP a PP+PE

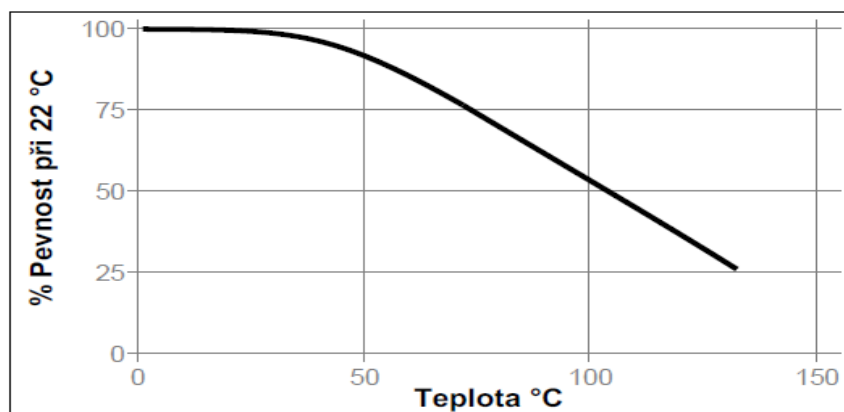
Teploty pásem plastikační jednotky		
teplota pod násypkou	40	°C
teplotní pásmo	220	°C
teplotní pásmo	230	°C
teplotní pásmo	245	°C
teplotní pásmo	250	°C
teplota trysky	260	°C
Další parametry		
vstřikovací tlak	800	bar
dotlak	600	bar
dráha dávkování	28,6	mm
doba chlazení	15	s
teplota formy	30	°C
vstřikovací rychlost	40	m/s

## 5.6 Použitá lepidla

Pro vytvoření lepených spojů byla použita tři lepidla. Jako první bylo použito sekundové lepidlo LOCTITE 406. Další dvě lepidla byla dvousložková methakrylátová pro konstrukční lepení kovů, termoplastů a kompozitních materiálů. Jedná se o lepidla PLEXUS MA310 a MA422.

### 5.6.1 Vteřinové lepidlo LOCTITE 406

Lepidlo LOCTITE 406 je přednostně určeno pro lepení plastických hmot, pryže (včetně EPDM, SBR, NBR) a elastomery tam, kde je požadována velmi krátká doba fixace. Umožňuje vysokou pevnost spoje - spoj je často pevnější než lepený materiál.



Obr. 22. Závislost pevnosti spoje na teplotě pro LOCTITE 406 [12]

Obecně jde o vhodné lepidlo pro většinu termoplastů, termosetů a elastomerů. [12]

Tab. 9. Vlastnosti lepidla LOCTITE 406 [12]

LOCTITE 406	
Technologie	Kanoakrylát
Chemický typ	Ethylkyanoakrylát
Vzhled (nevytvrzený)	Průhledná, čirá
Složky	Jednosložkový
Viskozita	Nízká
Vytvrzení	Vlhkostí
Určeno zejména pro	Plasty a pryž

Tab. 10. Adhezní vlastnosti lepidla LOCTITE 406 pro různé materiály [12]

Pevnost ve smyku		
Ocel	18 až 26	N/mm <sup>2</sup>
Hliník	11 až 19	N/mm <sup>2</sup>
ABS	4 až 6	N/mm <sup>2</sup>
PVC	5 až 6	N/mm <sup>2</sup>
Polykarbonát	3,5 až 4,5	N/mm <sup>2</sup>
Neoprén	5 až 15	N/mm <sup>2</sup>

#### Provozní vlastnosti při vytvrzování

Za normálních podmínek spouští proces vytvrzování atmosférická vlhkost. Přestože plné funkční pevnosti je dosaženo v relativně krátkém čase, vytvrzování pokračuje nejméně 24 hodin, než je dosaženo plné chemické odolnosti.

Výrobce nedoporučuje používat toto lepidlo v čistě kyslíkových nebo na kyslík bohatých systémech a také by se nemělo používat pro těsnění chloru či silně oxidačních materiálů. [12]

#### **5.6.2 Lepidlo PLEXUS MA 310**

Jedná se o dvousložkové methaakrylátové lepidlo vyvinuté pro strukturální lepení termoplastů, kovu a kompositů.<sup>1</sup> V poměru 1 : 1 má dobu zpracování 15- 18 minut a dosahuje 75 % celkové pevnosti během 30- 35 minut při pokojové teplotě.



MA310 se zvláště dobře hodí pro lepení termoplastických materiálů. Toto lepidlo kombinuje vysokou pevnost a tuhost se schopností přilnout k obtížně lepitelným materiálům. Plexus MA310 může být míchán jako nestékavý gel při použití standardního míchacího zařízení. Výhodou je použití bez nutnosti přípravy povrchu. [8]

### Fyzikální vlastnosti

	<u>Lepidlo</u>	<u>Aktivátor</u>
Viskozita, cP	40,000 - 60,000	40,000 - 60,000
Barva	bělavá	žlutá
Hustota, g/cm <sup>3</sup>	1.03	0.97
Směsný poměr objemový	1	1
Směsný poměr váhový	1	1

### Mechanické vlastnosti (vytvrzené lepidlo)

#### Tah (ASTM D638)

Pevnost, MPa	27.5 - 31
Modul, MPa	1034 - 1206.5
Deformace k selhání (%)	5 - 15

#### Přeplátovaný smyk (ASTM D1002)

Kohezní pevnost, MPa	20.5 - 24
----------------------	-----------

### Chemická odolnost

#### Vynikající odolnost proti

- uhlovodíkům
- kyselinám a zásadám (3-10 pH)
- solným roztokům

#### Citlivý na:

- polární rozpouštědla

### 5.6.3 Lepidlo PLEXUS MA 422

Jedná se o dvousložkové methakrylátové lepidlo vyvinuté pro strukturální lepení termoplastů, kovu a kompozitů. V poměru 10 : 1 má dobu zpracování 17- 24 minut a dosahuje 75 % celkové pevnosti za 35- 40 minut. Plexus MA422 nachází široké uplatnění při lepení kompozitů v oblasti dopravních prostředků a loďařství, protože nevyžaduje vlastně žádnou přípravu povrchu. Navíc poskytuje unikátní kombinaci vysoké pevnosti, skvělé únavové odolnosti, mimořádné odolnosti proti nárazům a maximální tuhost. Plexus MA422 může být nanášen jako nestékavý gel při použití standardního míchacího zařízení. [8]

#### Fyzikální vlastnosti

	<b>Lepidlo</b>	<b>Aktivátor</b>
Viskozita, cP	100,000 - 125,000	40,000 - 60,000
Barva	bělavá	modrá
Hustota, g/cm <sup>3</sup>	0.96	1.06
Směšný poměr objemový	10	1
Směšný poměr váhový	9.0	1

#### Mechanické vlastnosti (vytvrzeného lepidla)

##### **Tah (ASTM D638)**

Pevnost, MPa	13.7 - 17.2
Modul, MPa	482.7 - 620.6
Deformace k selhání (%)	75 – 100

##### **Přeplátovaný smyk (ASTM D1002)**

Kohezní pevnost, MPa	10.3 - 12.4
----------------------	-------------

#### Chemická odolnost

##### **Vynikající odolnost proti**

- uhlovodíkům

- kyselinám a zásadám (3-10 pH)
- Solným roztokům

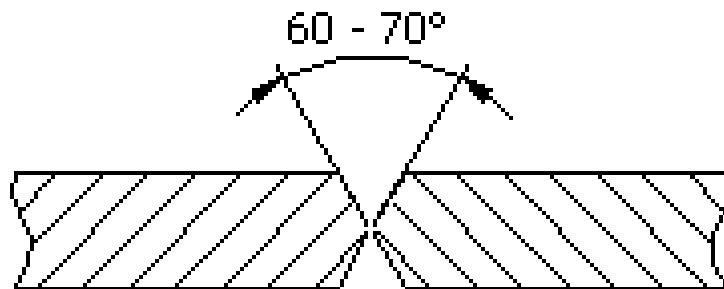
**Citlivé na:**

- polární rozpouštědla
- silné kyseliny a zásady

## 5.7 Výroba svařovaných spojů

V této práci byly zvoleny dva druhy svarů. Jako první byl zvolen svar „X“, který se nejčastěji používá při opravách plastových částí v praxi. Jako další byl zvolen přeplátovaný svar.

Po vystříknutí zkušebních těles bylo nejprve potřeba odstříhnout vtokový systém z výstřiku. Poté následovalo rozdělení lopatky na polovinu a příprava svařovacího drátu. Svařovací drát byl odstřížen z destičky pro přeplátování. Šířka svařovacího drátu byla 4mm. Dále následovalo zkosení polovin lopatek pod úhlem 70°.



Obr. 23. Zkosení lopatek pro svar „X“



Obr. 24. Zkosení lopatek pro přeplátovaný svar

Po přípravě svařovacího drátu a zkosení hran v místě svarů na 70° proběhlo svaření obou lopatek a tím vznikly zkušební tělesa, která byla svařena výše popsaným zařízením. Zkušební tělesa z materiálu ABS byla svařena za teploty 350 °C, z materiálu PP za teploty 320 °C a z materiálu PP + PE za teploty 300 °C. Všechny tři materiály byly svařovány proudem vzduchu 300 l/min. U přeplátovaných svarů byla délka přeplátování 10 mm. Dále následovalo obroušení housenek svaru, podle odborné literatury dosahují obrobene svary lepší únosnost než svary neobrobene. Tato problematika je popsána v teoretické části této práce.



*Obr. 25. Zkušební těleso – svar X, materiál ABS*

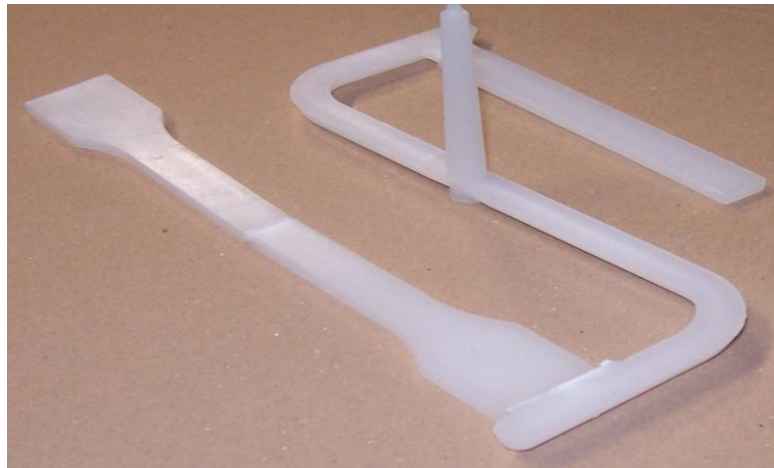


*Obr. 26. Zkušební těleso – přeplátovaný svar, materiál ABS*

Svarem typu „X“ bylo vyrobeno pět zkušebních těles a přeplátovaným svarem taktéž pět kusu

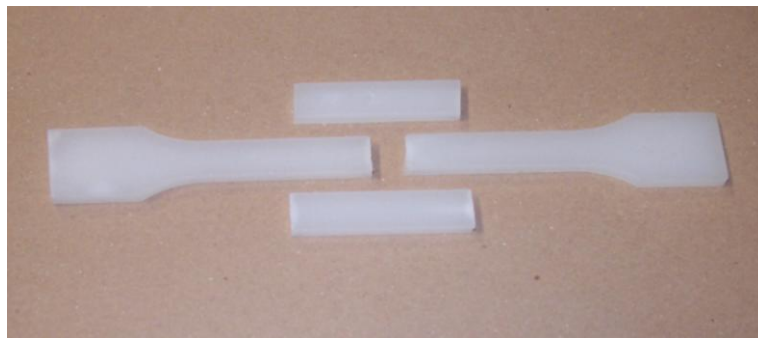
## **5.8 Výroba lepených spojů**

Pro tuto práci byl zvolen typ lepeného spoje s oboustranným přeplátováním. Po vystříknutí zkušebních těles bylo nejprve potřeba odstříhnout vtokový systém z výstřiku.



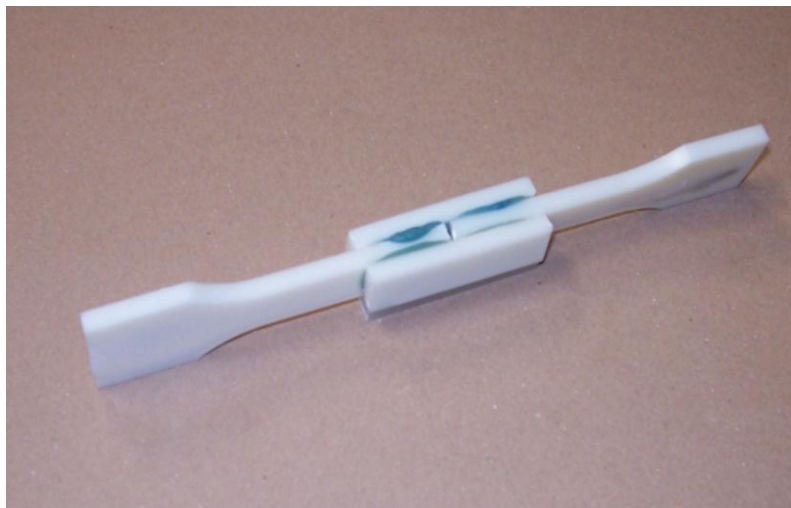
*Obr. 27. Zkušební těleso před odstřížením vtokového systému*

Po odstranění vtokového systému došlo k rozdělení lopatky na polovinu spolu s destičkou pro přeplátování.



*Obr. 28. Zkušební těleso před slepením*

Pro zajištění přesné polohy před vytvrzením lepidla, jsme zkušební vzorky vkládaly do přípravku k tomu určenému.

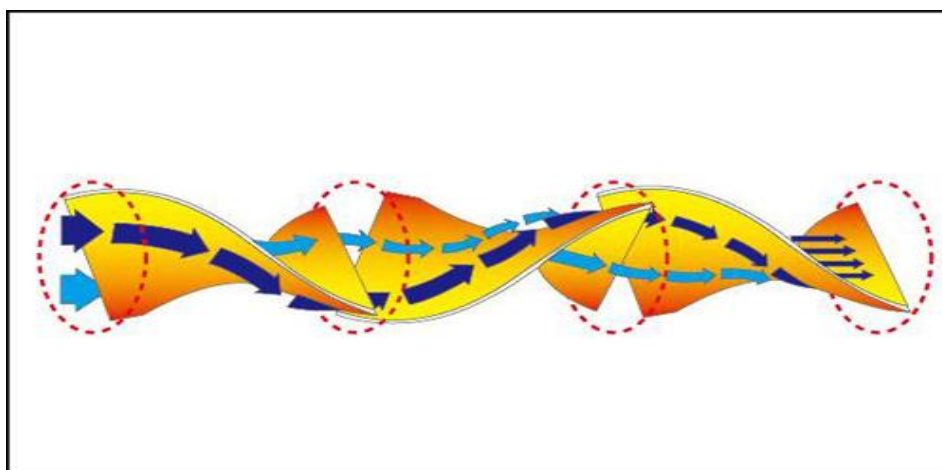


*Obr. 29. Lepený spoj – materiál ABS, lepidlo MA422*

Nanášení dvousložkových lepidel PLEXUS MA310 a MA422 proběhlo za pomoci vytlačovací pistole. Pro dokonalé smíchání obou složek lepidla, byl použit statický mixer, který byl připevněn na ústí zásobníků složek lepidla.



*Obr. 30. Vytlačovací pistole a statický mixer*



*Obr. 31. Princip statického mixeru [8]*

Bylo vytvořeno pět zkušebních těles z výše popsaných materiálů pro každý druh lepidla.

## 6 YHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

V následujících tabulkách a grafech jsou získané výsledky u jednotlivých materiálů pro svařované i lepené spoje po provedení zkoušky tahem. Jsou zde porovnány hodnoty maximálního napětí a modulu pružnosti u svařovaných a lepených spojů. U průměrných hodnot měření je uváděna i střední kvadratická chyba pro vyhodnocení přesnosti měření. Při vyhodnocování výsledků byly použity následující vztahy.

Aritmetický průměr – je to součet vybraných hodnot dělený jejich počtem, který vyjadřuje typickou hodnotu popisující soubor mnoha hodnot. [10]

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (9)$$

Směrodatná odchylka – je kvadratický průměr odchylek hodnot znaku od jejich aritmetického průměru. [10]

$$\sigma = \sqrt{\left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i^2 \right) - \bar{x}^2} \quad (10)$$

Střední kvadratická chyba – vychází se směrodatné odchylky dělené druhou odmocninou z počtu měření. [10]

$$\delta = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (11)$$

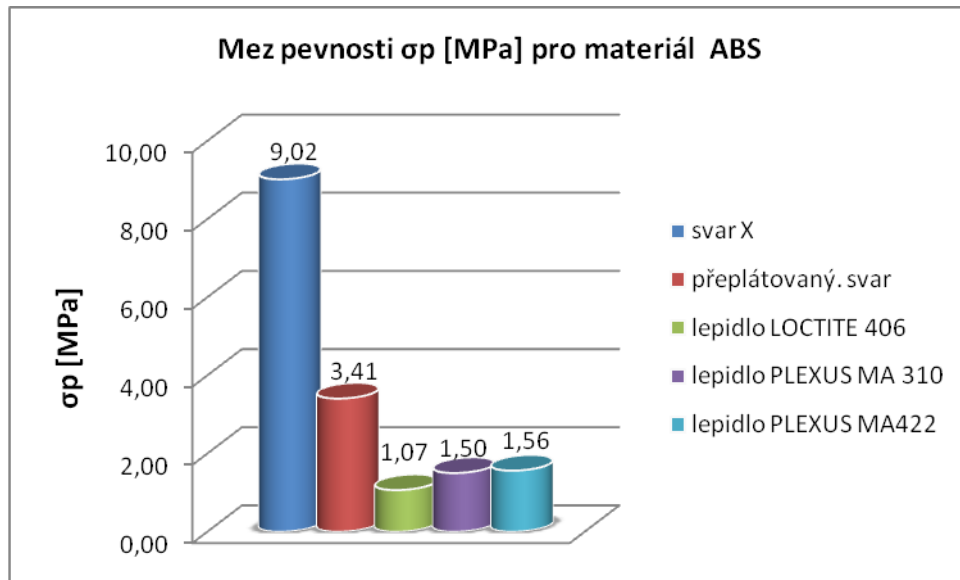
### 6.1 Hodnoty meze pevnosti $\sigma_p$ a modulu pružnosti E – ABS

Tab. 11. Naměřené hodnoty pro materiál ABS

Materiál ABS						
		Svařované spoje		Lepené spoje		
		svar X	přepřátovaný svar	LOCTITE 406	PLEXUS MA310	PLEXUS MA422
$\sigma_p$ [MPa]	$\bar{x}$	9,02	3,41	1,07	1,50	1,56
	s	3,06	0,35	0,45	0,21	0,19
	$\sigma$	1,36	0,15	0,19	0,09	0,08
E [MPa]	$\bar{x}$	1052,80	675,47	206,47	196,58	185,09
	s	64,85	46,73	15,19	16,51	18,42
	$\sigma$	29,00	20,89	7,59	8,25	8,23
Hodnoty neporušeného zkušebního tělesa materiálu ABS						
$\sigma_p$ [MPa]	38,55					
E [MPa]	2714,3					

Z výsledných hodnot pro materiál ABS vyplývá, že svar typu x má oproti přeplátovanému svaru a oproti lepeným spojům nejlepší výsledky únosnosti spoje.

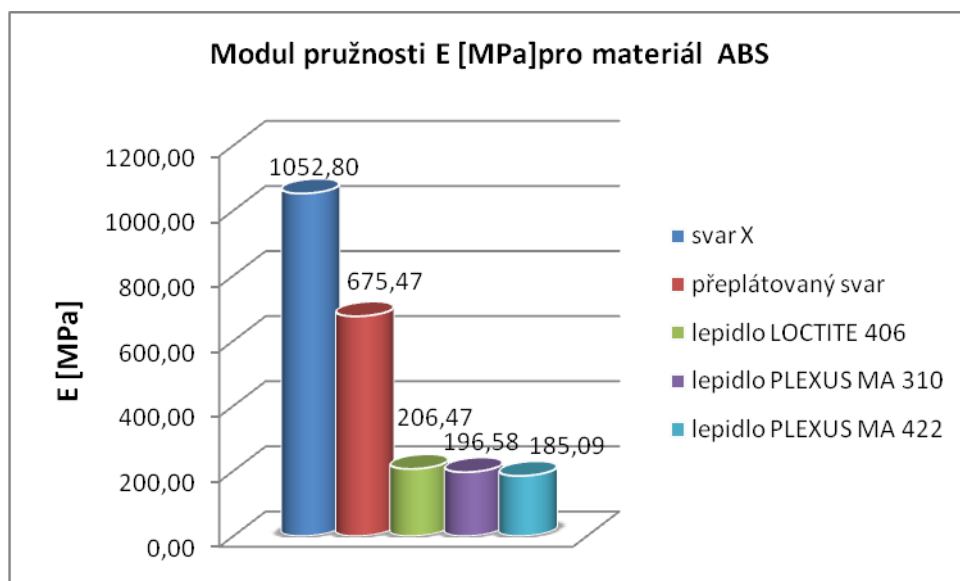
### 6.1.1 Porovnání meze pevnosti $\sigma_p$ pro materiál ABS



Obr. 32. Porovnání meze pevnosti svařovaných a lepených spojů - ABS

Při porovnání meze pevnosti svařovaných a lepených spojů z materiálu ABS mají výrazně lepší výsledky spoje svařované, a to zejména svar X.

### 6.1.1 Porovnání modulu pružnosti E pro materiál ABS



Obr. 33. Porovnání modulu pružnosti svařovaných a lepených spojů - ABS



Také při porovnání modulu pružnosti  $E$  dosáhly svařované spoje u materiálu ABS značně lepších výsledků než spoje lepené.

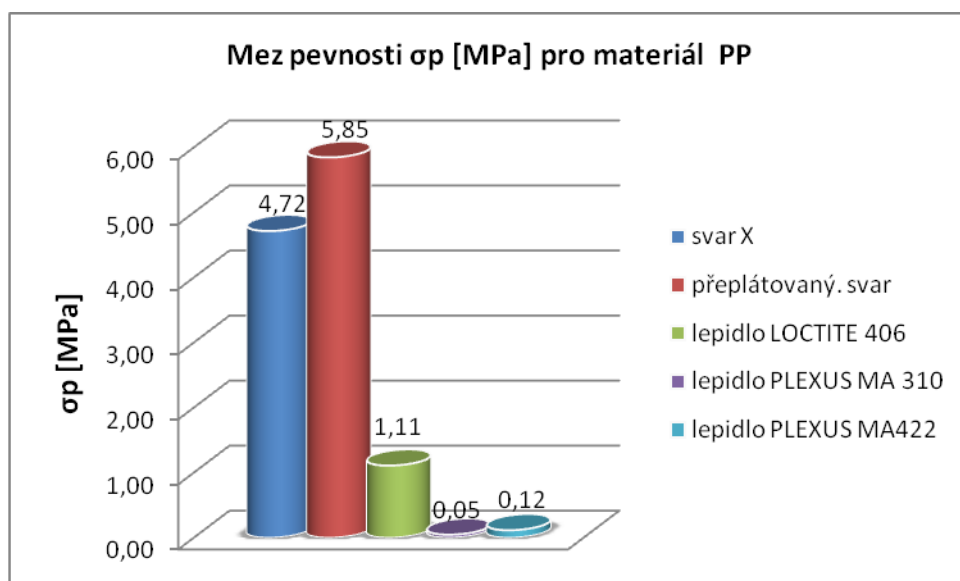
## 6.2 Hodnoty meze pevnosti $\sigma_p$ a modulu pružnosti $E$ pro materiál PP

Tab. 12. Naměřené hodnoty pro materiál PP

Materiál PP						
		Svařované spoje		Lepené spoje		
		svar X	přeplátovaný svar	LOCTITE 406	PLEXUS MA310	PLEXUS MA422
$\sigma_p$ [MPa]	$\bar{x}$	4,72	5,85	1,11	0,05	0,12
	s	0,91	1,22	0,11	0,03	0,03
	$\sigma$	0,40	0,30	0,04	0,01	0,01
$E$ [MPa]	$\bar{x}$	611,93	334,64	104,4	10,39	66,14
	s	90,80	34,36	1,69	36,55	14,36
	$\sigma$	40,60	15,99	0,75	16,34	6,42
Hodnoty neporušeného zkušebního tělesa materiálu PP						
$\sigma_p$ [MPa]	18,18					
$E$ [MPa]	1146,28					

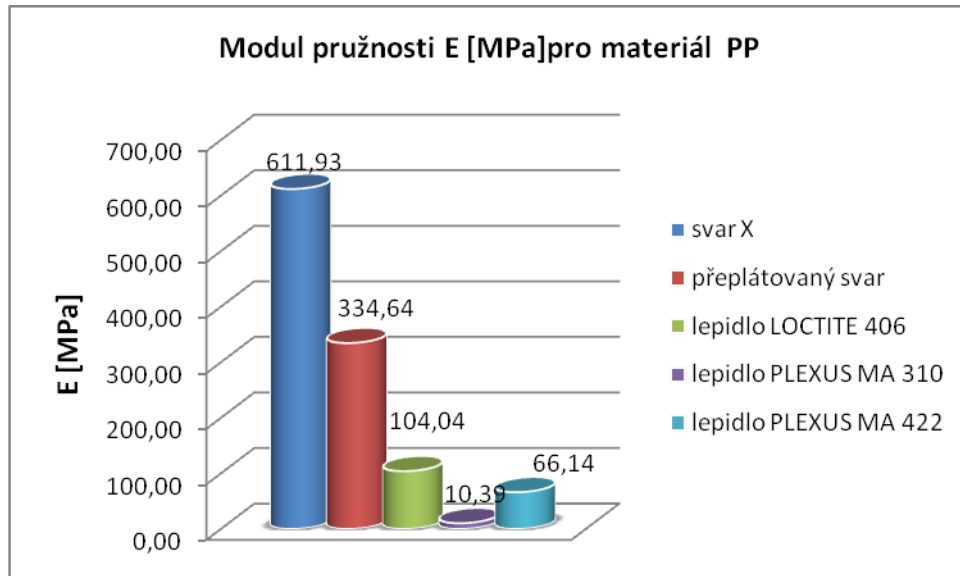
V tomto případě dosahují nejlepších výsledků přeplátované svařované spoje.

### 6.2.1 Porovnání meze pevnosti $\sigma_p$ pro materiál PP



Obr. 34. Porovnání meze pevnosti svařovaných a lepených spojů – PP

### 6.2.2 Porovnání modulu pružnosti E pro materiál PP



Obr. 35. Porovnání modulu pružnosti svařovaných a lepených spojů – PP

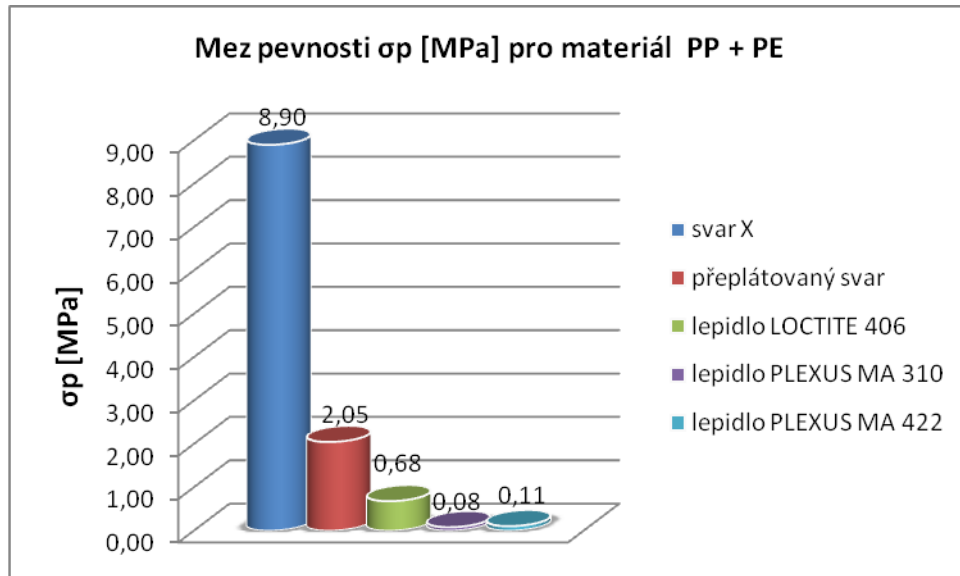
Při porovnání výsledných hodnot meze pevnosti a modulu pružnosti u zkušebních těles z materiálu PP

### 6.3 Hodnoty meze pevnosti $\sigma_p$ a modulu pružnosti E pro materiál PP + PE

Tab. 13. Naměřené hodnoty pro materiál PP+PE

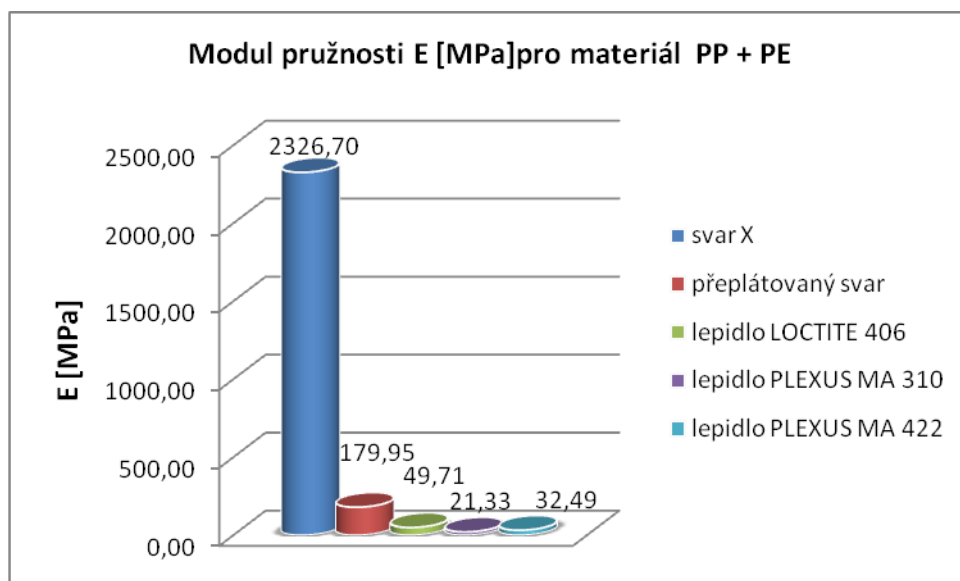
Materiál PP +PE						
		Svařované spoje		Lepené spoje		
		svar X	přeplátovaný svar	LOCTITE 406	PLEXUS MA310	PLEXUS MA422
$\sigma_p$ [MPa]	$\bar{x}$	8,90	2,05	0,68	0,08	0,11
	s	1,73	0,20	0,11	0,03	0,04
	$\sigma$	0,77	0,08	0,04	0,01	0,01
E [MPa]	$\bar{x}$	2326,70	179,95	49,71	21,33	32,49
	s	313,72	12,57	4,20	25,13	16,28
	$\sigma$	140,29	5,62	1,87	11,20	7,28
Hodnoty neporušeného zkušebního tělesa materiálu PP + PE						
$\sigma_p$ [MPa]	21,33					
E [MPa]	1106,83					

### 6.3.1 Porovnání meze pevnosti $\sigma_p$ pro materiál PP + PE



Obr. 36. Porovnání meze pevnosti svařovaných a lepených spojů – PP + PE

### 6.3.2 Porovnání modulu pružnosti E pro materiál PP + PE



Obr. 37. Porovnání modulu pružnosti svařovaných a lepených spojů – PP + PE

## 7 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo v praxi určit vhodnost použití svařovaného nebo lepeného spoje při opravách plastových součástí. Pro tento účel byly zkušební vzorky vyrobeny z materiálů ABS, PP a PP + PE. Ze všech těchto materiálů se vyrábí různé součásti automobilů či motocyklů, které bývá potřeba opravovat.

Vyhodnocení výsledků spočívalo v porovnání meze pevnosti a modulu pružnosti u svařovaných a lepených spojů.

Výsledky tahové zkoušky pro materiál ABS:

V tomto případě dosáhl nejlepších výsledků jednoznačně svar „X“, který měl oproti přeplátovanému svaru téměř trojnásobně vyšší mez pevnosti a téměř dvojnásobně vyšší modul pružnosti. Lepené spoje dosahovali v porovnání se svařovanými spoji velmi malých hodnot. Nejlepší výsledek byl zaznamenán u lepidla LOCTITE 406.

Výsledky tahové zkoušky pro materiál PP:

U tohoto materiálu dopadlo porovnání meze pevnosti a modulu pružnosti také ve prospěch svařovaných spojů. Tentokrát byla vyšší hodnota zaznamenána u přeplátovaného svaru než u svaru X, avšak hodnota modulu pružnosti byla vyšší než u přeplátovaného svaru. Nejlepšího výsledku dosáhlo vteřinové lepidlo LOCTITE 406, které mělo obě hodnoty nesrovnatelně vyšší než lepidla PLEXUS MA 310 a MA 422.

Výsledky tahové zkoušky pro materiál PP + PE:

Také v tomto případě vykazuje svar typu „X“ nejlepší výsledky. Ani jeden druh lepidla nedosáhl srovnatelných hodnot, můžeme tedy zkonstatovat, že žádné z použitých lepidel není vhodné pro spojování tohoto materiálu.

Při statistickém vyhodnocení hodnot svařovaných spojů, došlo k poměrně velké směrodatné odchylce, tzn. rozdílné hodnoty u jednotlivých zkušebních těles z důvodu nestejně jakosti svarů. Tato byla způsobena tím, že byly svary vyráběny ručně a na velmi malé vzdálenosti (10mm). Svařování horkým plynem totiž vyžaduje určitou zručnost a také se dosahuje konstantnější jakosti svaru při jeho větší délce.

Podle porovnání mechanických vlastností vyhodnocených z výsledků tahových zkoušek použitých materiálů svařovaných a lepených spojů můžeme říct, že pro opravy plastových součástí je jednoznačně vhodnější použít metodu svařování horkým plynem. A to přede-

vším použití svaru „X“, který dosahuje v porovnání s přeplátovaným svarem a s lepenými spoji jednoznačně vyšších hodnot meze pevnosti. V případě poškození malých nebo tenkostěnných výrobků či více poškozených míst na malé vzdálenosti však této metody i přes její značné pevnostní výhody použít nelze. Z důvodů rozměrových deformací. V takových případech bude výhodnější použití lepidla, v našem případě by se jednalo o vteřinové lepidlo LOCTITE 406.

Žádný spoj nedosáhl původní pevnosti materiálu, pouze svar „X“ z materiálu PP + PE dosáhl téměř poloviční pevnosti.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] **Technologie spojování plastů** [online]. [cit. 2010-02-17]. Dostupný z WWW:  
<<http://www.ksp.tul.cz>>
- [2] **František Blabolil.: Svařování plastických hmot**, SNTL - Nakladatelství technické literatury, Praha 1966
- [3] **Miloš Osten.: Lepení plastických hmot**, STNL – Nakladatelství technické literatury, Praha 1972.
- [4] **Jindřich Peterka.: Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství**, SNTL - Nakladatelství technické literatury, Praha 1980.
- [5] **Ptáček L.: Nauka o materiálu I., Brno, 2001.**
- [6] **Ptáček L.: Nauka o materiálu II., Brno, 2002.**
- [7] **Březina R.: Technologie I. - Část 2.** Ostrava, 1999.
- [8] **Holcmanová, Miroslava. Porovnání lepených spojů se šroubovými.** [s.l.], 2009. 79 s. Bakalářská práce. UTB - Zlín.
- [9] **VACULÍK, Jan. Vlastnosti radiačně síťovaných polymerů se šroubovými.** [s.l.], 2010. 126 s. Diplomová práce. UTB - Zlín.
- [10] **Wikipedie.: Otevřená encyklopedie:** [online]. [cit. 2010-02-17]. Dostupný z WWW:  
<<http://cs.wikipedia.org>>
- [11] **Nářadí a nástroje Landsmann.:** [online]. [cit. 2010-05-28]. Dostupný z WWW:  
<<http://www.landsmann.cz>>
- [12] **Loctite.as.:** [online]. [cit. 2010-05-28]. Dostupný z WWW:  
<<http://www.loctite.as>>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

ABS	Akrylobutadienstyren
PP	Polypropylen
PE	Polyetylen
PE – LDPE	Polyetylen s menší hustotou (měkčený)
PE – HDPE	Polyetylen s vyšší hustotou
PA	Polyamid
PS	Polystyren
PVC	Polyvinylchlorid
$\tau_{Ds}$	Dovolené napětí ve smyku
$\tau_p, \tau_M$	Smyková pevnost
$R_m$	Mez pevnosti u kovů
Ra	Střední aritmetická výška nerovnosti povrchu
$\tau_{stř}$	Střední smykové napětí
b	Šířka lepené plochy
lu	Délka přeplátování
$\alpha$	Úhel
E	Modul pružnosti
$\alpha_1, \alpha_2$	Úhly boků
P	Rozteč
d	Průměr
Fo	Síla
R	Reakce
f	Součinitel tření

---

$\sigma_t$	Napětí v tahu
$M_k$	Kroutící moment
$n$	Součinitel bezpečnosti
$S_0$	Počáteční průřez
$L_0$	Měřená délka
$F$	Síla
$\sigma_0$	Smluvní normálové napětí
$\sigma$	Skutečné normálové napětí
$\sigma_{Pt}$	Mez pevnosti v tahu
$s$	Směrodatná odchylka
$\varepsilon$	Poměrné prodloužení
$\psi$	Poměrné zúžení
$\bar{x}$	Průměrná hodnota
$\sigma$	Střední kvadratická chyba
$\sigma_p$	Mez pevnosti ve smyku
$E$	Modul pružnosti



## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Princip svařování horkým plynem s přídavným materiálem .....</i>	17
<i>Obr. 2. Princip svařování horkým plynem při použití rychlosvařovacího nástavce .....</i>	18
<i>Obr. 3. Příprava dílů pro svařování .....</i>	19
<i>Obr. 4. Příprava svarů.....</i>	20
<i>Obr. 5. Různé druhy svarů .....</i>	21
<i>Obr. 6. Vliv počtu housenek na pevnost svaru.....</i>	22
<i>Obr. 7. Vliv tlaku na svařovací drát při svařování horkým plynem na pevnost v tahu. Teplota vzduchu 207 °C, průměr drátu 4,2 mm. ....</i>	23
<i>Obr. 8. Vliv tlaku na svařovací drát na rychlosti svařování.....</i>	24
<i>Obr. 9. Podkládání svarů typu V pro vyrovnání vnitřního pnutí .....</i>	24
<i>Obr. 10. Obvyklé konstrukce lepených spojů.....</i>	28
<i>Obr. 11. Pevnost lepeného spoje v závislosti na druhu obrábění [8].....</i>	31
<i>Obr. 12. a) Průběh deformace jednoduše přeplátovaného spoje po zatížení .....</i>	34
<i>Obr. 13. Univerzální zkušební stroj .....</i>	39
<i>Obr. 14. Smluvní diagram napětí – deformace.....</i>	41
<i>Obr. 15. Schéma určování tažnosti .....</i>	43
<i>Obr. 16. Rozměry zkušebního tělesa pro zkoušku tahem [9] .....</i>	44
<i>Obr. 17. Sušící zařízení ARBURG THERMOLIFT 100 – 2 .....</i>	49
<i>Obr. 18. Vstřikovací stroj ARBURG ALLROUNDER 420C.....</i>	50
<i>Obr. 19. Horkovzdušná pistole Steinel HL 2010 E [11] .....</i>	52
<i>Obr. 20. Redukční tryska 9mm a rychlosvařovací nástavec pro drát do průměru 6mm. [11] .....</i>	52
<i>Obr. 21. Zkušební stroj ZWICK ROELL 1456.....</i>	53
<i>Obr. 22. Závislost pevnosti spoje na teplotě pro LOCTITE 406 [12] .....</i>	55
<i>Obr. 23. Zkosení lopatek pro svar „X“ .....</i>	59
<i>Obr. 24. Zkosení lopatek pro přeplátovaný svar .....</i>	59
<i>Obr. 25. Zkušební těleso – svar X, materiál ABS .....</i>	60
<i>Obr. 26. Zkušební těleso – přeplátovaný svar, materiál ABS.....</i>	60
<i>Obr. 27. Zkušební těleso před odstřížením vtokového systému .....</i>	61
<i>Obr. 28. Zkušební těleso před slepením.....</i>	61
<i>Obr. 29. Lepený spoj – materiál ABS, lepidlo MA422 .....</i>	62

---

<i>Obr. 30. Vytlačovací pistole a statický mixer .....</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 31. Princip statického mixeru [8] .....</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 32. Porovnání meze pevnosti svařovaných a lepených spojů - ABS.....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 33. Porovnání modulu pružnosti svařovaných a lepených spojů - ABS.....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 34. Porovnání meze pevnosti svařovaných a lepených spojů – PP.....</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 35. Porovnání modulu pružnosti svařovaných a lepených spojů – PP .....</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 36. Porovnání meze pevnosti svařovaných a lepených spojů – PP + PE .....</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 37. Porovnání modulu pružnosti svařovaných a lepených spojů – PP + PE.....</i>	<i>67</i>

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1. Přehled svařovacích teplot vybraných termoplastů .....</i>	16
<i>Tab. 2 Doporučené tlaky na svařovací drát [2] .....</i>	22
<i>Tab. 3. Technické parametry sušícího zařízení.....</i>	49
<i>Tab. 4. Technické parametry vstřikovacího stroje.....</i>	51
<i>Tab. 5. Technické parametry horkovzdušné pistole Steinel HL 2010 E [11] .....</i>	53
<i>Tab. 6. Technické parametry zkušebního stroje ZWICK ROELL 1456 .....</i>	54
<i>Tab. 7. Vstřikovací parametry pro materiál ABS .....</i>	54
<i>Tab. 8. Vstřikovací parametry pro materiály PP a PP+PE .....</i>	55
<i>Tab. 9. Vlastnosti lepidla LOCTITE 406 [12] .....</i>	56
<i>Tab. 10. Adhezni vlastnosti lepidla LOCTITE 406 pro různé materiály [12] .....</i>	56
<i>Tab. 11. Naměřené hodnoty pro materiál ABS.....</i>	63
<i>Tab. 12. Naměřené hodnoty pro materiál PP.....</i>	65
<i>Tab. 13. Naměřené hodnoty pro materiál PP+PE .....</i>	66

## SEZNAM PŘÍLOH

PI Tahová zkouška – celkové naměřené hodnoty

PII Vybrané závislosti napětí na prodloužení pro jednotlivé typy spojů a materiálů.

Přílohy PI a PII jsou umístěny na přiloženém CD.