

Lepení polymerů

Štěpán Žáček

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: **Štěpán ŽÁČEK**

Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Lepení polymerů**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracování literární studie na dané téma
2. Příprava zkušebních těles
3. Provedení testu pevnosti lepených spojů
4. Vyhodnocení naměřených výsledků



Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení ved. BP

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. David Mañas, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

19. února 2010


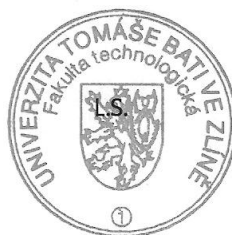
Termín odevzdání bakalářské práce:

2. června 2010

Ve Zlíně dne 15. ledna 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Mañas, 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 ¹⁾;
- 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 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ 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 ³⁾ 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 25.8.2010

.....
Štěpán Žáček

¹⁾ 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.

²⁾ 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).

³⁾ 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

Cílem práce je porovnat pevnost lepených spojů vybraných polymerních materiálů. Práce zahrnuje základní poznatky o lepení plastů. Mechanické vlastnosti spojů byly zjištěny tahovou zkouškou a naměřené hodnoty byly mezi sebou porovnávány.

Klíčová slova:

adheze, koheze, lepidla, pevnost lepeného spoje, lepení plastů

ABSTRACT

The goal of this study is to compare the strength of adhesive joints of selected polymeric materials. The study includes basic information on gluing together different types of plastics. The mechanical properties of the joints were examined by a tensile test and the measured values were compared among themselves.

Keywords:

adhesion, cohesion, adhesives, strength of glue joint, bonding of plastics

Poděkování

Tímto děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Davidovi Maňasovi, Ph.D. za poskytnuté rady a připomínky k této práci. Také děkuji zaměstnancům Univerzitní knihovny ve Zlíně za ochotu a zapůjčený knižní materiál, který mi byl zdrojem podnětných informací.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 TEORIE LEPENÍ	12
1.1 PŘEHLED TEORIE LEPENÍ.....	12
1.2 ČINITELÉ OVLIVŇUJÍCÍ SOUDRŽNOST LEPENÉHO SPOJE	14
1.2.1 Polarita	14
1.2.2 Krystalinita polymerů.....	14
1.2.3 Obsah plniv	14
1.2.4 Obsah změkčovadel.....	14
1.2.5 Soudržnost povrchu.....	15
1.2.6 Rovnost a hladkost povrchu	15
1.2.7 Čistota povrchu	15
1.2.8 Délková roztažnost.....	15
1.2.9 Rozpustnost, bobtnavost	15
1.3 PEVNOST LEPENÝCH SPOJŮ	16
b – šířka překlátovaného spoje	16
2 TECHNOLOGIE LEPENÍ	18
2.1 KONSTRUKCE LEPENÝCH SPOJŮ.....	19
2.2 VÝBĚR MATERIÁLŮ LEPENÉHO SPOJE.....	20
2.2.1 Výběr a určení lepeného materiálu (Adherendu)	20
2.2.2 Výběr lepidla	20
2.3 DRUHY A VLASTNOSTI LEPIDEL	23
2.3.1 Klasifikace lepidel.....	24
2.3.2 Základní vlastnosti lepidel	25
2.3.3 Základní rozdělení lepidel.....	26
2.4 PŘÍPRAVA MATERIÁLU NA LEPENÍ.....	28
2.4.1 Příprava povrchu lepeného materiálu (Adherendu)	28
2.4.2 Příprava lepidla k lepení.....	32
2.5 NANÁŠENÍ LEPIDLA	33
2.5.1 Základní způsoby nanášení	34
2.5.2 Způsoby nanášení a používané zařízení	35
2.6 HODNOCENÍ SOUDRŽNOSTI LEPENÝCH SPOJŮ.....	35
2.7 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ ZKUŠEBNÍCH METOD	36
2.7.1 Destruktivní zkušební metody.....	36
2.7.2 Nedestruktivní zkušební metody	38
II PRAKTICKÁ ČÁST	40
3 CÍL PRAKTICKÉ ČÁSTI	41
3.1 PŘÍPRAVA TECHNOLOGIE LEPENÍ	41
3.1.1 Proces lepení	41
3.1.2 Výroba lepených spojů.....	44

3.1.3	Lepidla.....	45
4	ZKOUŠKY LEPENÝCH SPOJŮ	46
4.1	VYHODNOCOVÁNÍ VÝSLEDKU MĚŘENÍ	46
5	PEVNOSTI LEPENÝCH SPOJŮ	48
5.1.1	PS	48
5.1.2	PC.....	50
5.1.3	PA.....	53
6	DISKUSE VÝSLEDKŮ	57
6.1.1	Použité typy polymerních materiálů (PS, PC, PA).....	57
6.1.2	Vyhodnocení materiálu PS.....	59
6.1.3	Vyhodnocení materiálu PC	61
6.1.4	Vyhodnocení materiálu PA	63
	ZÁVĚR	66
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	67
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	68
	SEZNAM OBRÁZKŮ	69
	SEZNAM TABULEK.....	70

ÚVOD

Lepení je v současné době velice progresivní a stále více uplatňovaná moderní technologie, která disponuje značnými konstrukčními výhodami oproti ostatním způsobům spojování materiálů, jež bychom nezískali klasickými metodami spojování. Nabízí také řadu dalších možností zpracování standardních i polymerních materiálů – vrstvení (kaširování), výroba tištěných spojů a konfekčních materiálů v oděvním průmyslu, antikorozi obklady a spojování potrubí, různé sendvičové konstrukce a velkoplošné panely, plechy laminované vrstvami plastické hmoty aj. Spojované materiály za pomoci adheziva vytváří nerozebíratelná spojení, často s vynikajícími mechanickými a fyzikálními charakteristikami – vysokou pevností, odolností vůči korozi, zvukovou, elektrickou a tepelnou izolací. Význam této technologie spočívá v zachování celistvosti a spojitosti materiálu a nenarušování jeho mechanických vlastností, např. vyvrtáváním otvorů, zůstává i zachována hladkost povrchu. Lepené spoje jsou na rozdíl od klasických spojů nýty a šrouby nepropustné pro kapaliny, respektive i pro plyny. Významná výhoda je rovnoměrnější rozvádění pnutí vzniklého při dynamickém zatěžování konstrukcí oproti mechanickým spojům, díky níž vykazují lepené spoje poměrně vysokou bezpečnost proti porušení.

Lepení je výhodné jak z hlediska upevňování velkého množství drobných součástí, ale především pro vytváření velkoplošných spojů a pro skládání rovnoměrných celků z prefabrikovaných např. laminátových dílců.[1, 4]

Tato bakalářská práce – lepení polymerů srovnávací zkušební metodou poukazuje na nutnost správné volby typu lepidla na spojování vybraných polymerních materiálů.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TEORIE LEPENÍ

1.1 Přehled teorie lepení

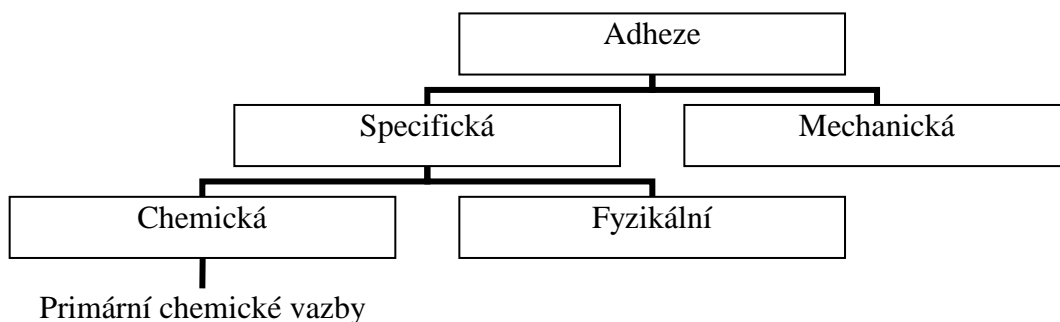
Teoretické předpoklady přilnavosti lepidla k podkladu (adheze) a jeho vlastní soudržnosti (koheze) jsou předmětem stálého zájmu.

Základním předpokladem k tomu, aby se mohly uplatnit adhezní síly, je dokonalý styk lepidla s povrchem lepené hmoty. Lepidlo musí povrch smáčet, což souvisí s různými faktory, např. s čistotou povrchu, povrchovým napětím roztoku, jejich viskozitou atd.

Adheze souvisí s molekulovou strukturou. Z toho vyplývá, že při adhezi se bude mezi molekulami uplatňovat :

- fyzikální síly,
- chemické vazby,
- mezimolekulární síly.

Je prokázáno, že molekulárně rovné povrchy hmot se vyznačují značnou vzájemnou adhezí, a to i bez použití lepidla. Na rozdíl od původních předpokladů, bude tedy zřejmě hledat hlavní podíl adheze v adhezi specifické a ne v adhezi mechanické, připisované mechanickému zakotvení lepidla v pórech lepeného povrchu. Na specifické adhezi se podílejí především primární chemické vazby.[1]



Obr. 1 Adheze

Teorie adheze:

- Molekulová (absorpční),
- Elektrostatická,
- Difúzní,
- Reologická,
- Chemická.

Ad Molekulová teorie (absorpční)

Základem adheze je vzájemné působení molekul adherendu a lepidla, pro které je nevyhnutelné, aby oba druhy molekul měly polární funkční skupiny schopné vzájemného působení.

Ad Elektrostatická

Tato teorie předpokládá dvojitou vrstvu vytvořenou dotykem dvou rozdílných substancí ve spoji jako základ pro vznik adheze.

Ad Difúzní

Podle této teorie vzniká pevnost spoje vzájemnou difúzí polymerů (nebo jiných materiálů) napříč rozhraní.

Ad Chemická

Na získání pevného spoje, který nebude vykazovat adhezivu, ale jen kohezivní lom, je podle této teorie potřebné, aby materiály, které se mají spojit, navzájem reagovali vytvořením primárních chemických vazeb napříč rozhraní.

Ad Reologická

Je to nejnovější teorie, podle které cokoliv způsobuje adhezi na rozhraní dvou materiálů. Pevnost lepeného spoje je dána zásadně fyzikálně-mechanickými a reologickými vlastnostmi materiálů, které vytvářejí lepený systém.[2]

1.2 Činitelé ovlivňující soudržnost lepeného spoje

Mezi činitele, které ovlivňují soudržnost lepeného spoje, se řadí polarita, krystalinika polymerů, obsah plniv, obsah změkčovadel, soudržnost povrchu, rovnost a hladkost povrchu, čistota povrchu, délková roztažnost a rozpustnost a bobtnavost.

1.2.1 Polarita

Vliv polarity hmoty na její lepitelnost lze shrnout následovně:

- a) Slabě až středně polární hmoty – jsou polymery lepitelné polárními lepidly stejného původu jako lepená hmota (polyvinylchlorid, polyestery, celulozid, fenoplasty, animoplasty, epoxidové hmoty).
- b) Silně polární hmoty – jde zejména o polyamidy, hydratovanou celulózu a některé z polyuretanových hmot. Tyto hmoty se lepí hůře než hmoty slabě polární.
- c) Některé nepolární hmoty – jako např. polyetylén, polypropylén, polytetrafluóretylén a vysokomolekulární polyizobutylen jsou velmi těžce lepitelné až nelepitelné.

1.2.2 Krystalinita polymerů

Ne všechny polymery mají amorfní strukturu. Některé termoplasty (polyetylén, polypropylén, polytetrafluóretylén, polyamid) jeví v důsledku rovnoměrné stavby makromolekulárního řetězce sklon ke krystalinitě. Vyznačují se zejména lepšími mechanickými a fyzikálními vlastnostmi než polymery amorfní.

1.2.3 Obsah plniv

S výjimkou grafitu a sazí je většina plniv obsažených v plastických hmotách (celulóza, dřevěná moučka, azbest, skleněná vlákna apod.) polárního charakteru a adhezi lepidel k povrchu hmoty zlepšuje nebo alespoň nezhoršuje.

1.2.4 Obsah změkčovadel

Měkké plastické hmoty, ať už folie, nebo lehčené materiály, pokud obsahují ve větším množství nízkomolekulární změkčovadla (ftaláty, fosfáty apod.), mohou být spolehlivě lepeny jen lepidly, která se s těmito změkčovadly nemísí.[1]

1.2.5 Soudržnost povrchu

Pevnost spoje závisí také na soudržnosti povrchové vrstvy lepené hmoty. Tato vlastnost je důležitá při zpracování lehčených pěnových materiálů, kaširovaných vícevrstvých hmot, dekoračních materiálů elektrostaticky poprašovaných a skelných laminátů.

V uvedených případech může být pevnost spoje zhoršena např. tím, že rozpouštědlo nebo tvrdidlo obsažené v lepidle naruší soudržnost. Ke zhoršení soudržnosti povrchové vrstvy může dojít i nevhodným zdrsněním povrchu.

1.2.6 Rovnost a hladkost povrchu

Každá styčná plocha představuje tři druhy povrchu:

- a) geometrický povrch – daný konstrukčními rozměry spoje,
- b) mikropovrch – tj. teoreticky možná styčná plocha, zahrnující veškeré nerovnosti a póry,
- c) účinný povrch – tj. část mikropovrchu, skutečně smáčená lepidlem.

1.2.7 Čistota povrchu

Absolutní kontakt lepidla s povrchem lepené hmoty předpokládá, že plocha určená k lepení je zbavena všech separačně působících látek, zejména mastnoty, korozních zplodin a absorbovaných plynů.

1.2.8 Délková roztažnost

Většina plastických hmot má 6 až 10krát větší délkovou roztažnost za tepla než klasické materiály.

1.2.9 Rozpustnost, bobtnavost

Řada termoplastických polymerů se rozpouští nebo bobtná v organických rozpouštědlech, která jsou obsažena v roztočových, popř. disperzních lepidlech.[1, 3]

1.3 Pevnost lepených spojů

Nosnost a v některých případech i deformace lepených konstrukcí závisí na mechanických vlastnostech spoje a na napěťovo-deformačním stavu lepeného spoje. Napěťovo-deformační stav lepených spojů je obvykle nerovnoměrný a lom spoje začíná v zóně, ve které napětí dosahují pro daný spoj kritické hodnoty. Z tohoto důvodu vede experimentální hodnocení pevnosti slepu ve většině případů k určení lomového namáhání lepeného spoje anebo určení „střední pevnosti“ tím, že se lomové namáhání dělí lepenou plochou.[5]

Standardní vzorec pro stanovení smykové pevnosti v tahu:

$$t_b = \frac{F_{\max}}{A} [MPa] \quad (1)$$

$$A = b * l \quad (2)$$

b – šířka přeplátovaného spoje

l – délka přeplátovaného spoje

Pevnost v odlupování je daná vztahem:

$$S_{wa} = \frac{F_A}{b} [N.mm^{-1}] \quad (3)$$

Dělíme ji na počáteční (absolutní) pevnost s_{wa} a střední pevnost s_{ws} , která je dána vztahem

$$S_{ws} = \frac{F_s}{b} [N.mm^{-1}] \quad (4)$$

F_A – maximální síla

F_s – průměrná síla

b – šířka lepeného spoje

Dle teorie lepení lepené spoje nejméně odolávají namáhání v odlupování a ohybovému namáhání. V případě konstrukčních spojů je důležité se vyvarovat ohybovému namáhání. Ve všeobecnosti se doporučuje při lepení volit tenké vrstvy lepidla, které vykazují kvalitnější pevnostní vlastnosti. Lepené spoje dosahují vysokých pevností ve smyku, tahu (tlaku) a dynamického (cyklického) namáhání (v případě nízkocyklové a vysokocyklové únavy materiálů překonávají lepené spoje svarové spoje), které jsou úspěšně již dlouhá léta aplikována v lepených konstrukčních spojích zejména v leteckém průmyslu.[5]

2 TECHNOLOGIE LEPENÍ

Technologie lepení se charakterizuje jako soubor operací , začínající konstruktérskou a ekonomickou analýzou, pak následuje uplatnění fyzikálních a chemických procesů, při kterých se vytváří nerozebíratelný spoj dvou stejných nebo různých substrátů pomocí vybraného adheziva.[2]

Základní podmínky na vytvoření kvalitního lepeného spoje:

- správný návrh konstrukce spoje,
- správná volba materiálu (lepidlo a adherend),
- správná povrchová úprava adherendu,
- zachování předepsaného postupu použití zvoleného lepidla,
- vytvoření dokonalých mechanických a fyzikálně-chemických podmínek pro vznik pevných vazeb.

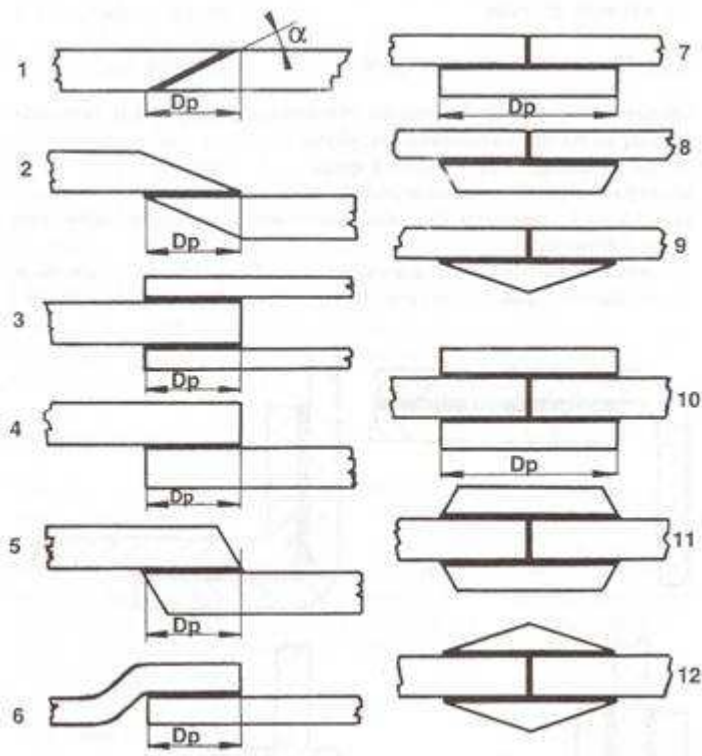
Z technického hlediska je důležité rozdělit průmyslové lepení a příležitostné lepení a dále sériové a kusové lepení, které se liší především používanými zařízeními, množstvím lepidla a jednotlivými postupy (např. odmašťování, nanášení lepidla atd.)[2]

Princip lepení a jeho technologický postup je vždy skoro stejný:

- příprava povrchu adherendu,
- příprava lepidla,
- nanášení lepidla,
- montáž spoje,
- vytvoření pevného spoje.

2.1 Konstrukce lepených spojů

Lepené spoje jsou mechanicky namáhány v tahu, tlaku, smyku, v odlupování, v rázové pevnosti, v kroucení apod. Ne všem těmto vlivům lepidla dobře odolávají. Proto musí být konstrukce upraveny tak, aby byl spoj namáhán co nejméně v odlupování a kroucení, na které je většina lepidel velmi citlivá. Namáhání se v takových případech soustřeďuje jen na určitá místa spoje, což vede k lokálnímu přetížení a poškození filmu lepidla.[3]



Obr. 2 Přehled konstrukčních možností plochých spojů
 (1 – spoj tupý, zkosený, 2 a 5 – spoj jednoduše
 přeplátovaný, zkosený, 3 – spoj dvojité přeplátovaný,
 4 – spoj jednoduše přeplátovaný, 6 – spoj lemový,
 jednoduše přeplátovaný, 7 – spoj čelní s jednou
 příložkou, 8 a 9 – spoje s příložkami různého tvaru,
 10 – čelní spoj s dvěma příložkami, 11 a 12 – čelní
 spoje se dvěma zkosenými příložkami)[6]

2.2 Výběr materiálů lepeného spoje

Před lepením jsou důležité dvě operace, a to návrh konstrukce a výběr materiálu. Důležitý je také výběr vhodného lepidla, který nám zabezpečí požadovanou pevnost spoje.[2]

2.2.1 Výběr a určení lepeného materiálu (Adherendu)

Výběr materiálu musí vyhovovat požadavkům kladeným na samotný spoj, a na jeho realizaci a na ekonomické podmínky.

Výběr materiálu pořizujeme pevnostním a tvarovým požadavkům. Vybraný materiál musí vyhovovat především pevnostním nárokům v daných podmínkách namáhání.

Materiál také hodnotíme podle chemické a korozní odolnosti a z vyhovujících pak vybíráme ekonomicky nejvýhodnější materiál. Vybraný materiál nakonec hodnotíme z hlediska technologie lepení a definujeme jeho povrch (chemicky a fyzikálně), pružnost a dilatační charakteristiky.[2]

Základní druhy plastů lze rozeznat zkouškou pozorováním kousku plastu, který nahříváme nad nesvítivým plamenem plynového hořáku.[3]

Při zkoušce pozorujeme:

- vzorek mění po nahřátí tuhost,
- jak se chová v plameni a mimo plamen,
- zbarvení plamene a zápach po uhasnutí,
- chování taveniny, zbarvení příškvarku na vzorku.

Údaje o materiálu jsou důležité pro vlastnost daného spoje a výběr lepidla.

2.2.2 Výběr lepidla

Důležitým hlediskem pro výběr lepidla a technologie lepení jsou vlastnosti lepeného souboru požadované při jeho použití.

Jsou to nároky na mechanickou pevnost, tepelnou odolnost, chemickou stálost, vodovzdornost spoje, odolnost vůči vlivům povětrnosti. Ne vždy je možné vyhovět všem

nárokům současně, a proto je třeba uvážit, které z nich jsou z hlediska funkce nejdůležitější, a volit kompromisní řešení.[3]

Požadované vlastnosti spoje

- Mechanické vlastnosti

Ve své funkci může být lepený spoj zatěžován buď staticky, např. jen hmotností adherendů, a nebo dynamicky, např. trvalým chvěním opakovanými rázy, kroucením.

Potřebná jakost staticky namáhaného spoje může být poměrně snadno definována hodnotami minimální pevnosti ve smyku, v tahu a odlupování.

Komplikovanější je hodnocení požadované jakosti spojů vystavených dynamickému namáhání. Takové spoje jsou velmi časté, a to zejména u výrobků automobilového a leteckého průmyslu a u sportovních potřeb.

- Tepelná odolnost

Tepelné namáhání lepeného spoje má být definováno údaji o minimální a maximální teplotě, časovým průběhem namáhání a spodními limity mechanických vlastností za daných podmínek.

Tepelně odolné spoje poskytuje vedle anorganických pojiv a silikonových pryskyřic většina termoreaktivních lepidel tvrzených za vyšší teploty. K tepelně nejodolnějším lepidlům patří lepidla polyamidová a polybenzimidazolová, jejichž filmy vydrží tepelné namáhání od 250 do 350 °C.

- Odolnost vůči vodě a vlhkosti

Většina lepidel na bázi přírodních surovin a lineárních polymerů rozpustných nebo dispergovatelných ve vodě poskytuje spoje neodolné nebo málo odolné vůči vodě a vlhkosti.

Dobrou odolností vůči vodě a vlhkosti se vyznačují po vytvrzení lepidla fenolická, fenol-rezorcinolová a melaminformaldehydová, a to i tehdy, je-li jejich aplikační formou vodný roztok.[3]

- Chemická odolnost

Při výběru lepidla je nutné taktéž uvážit i možnost chemického ovlivnění spoje agresivními výpary nebo kapalinami.

I tak běžný případ, jakým je lepení podlahové krytiny, přináší nebezpečí, že film lepidla bude v místě napojení jednotlivých pásů později rozleptán alkáliemi obsaženými v čistících prostředcích (např. roztokem sody).[3]

Lepidlo volíme podle jeho určitých charakteristik:

- chemické složení lepidla,
- konzistence,
- způsob tuhnutí ve spáře,
- odolnost lepidla proti vlhkosti.

V praxi se setkáváme s dvěma odlišnými specifikacemi lepidel, a to specifikace dle výrobců a spotřebitelů.

Výrobce udává kritéria, které získá z výroby. Jsou to obvykle hrubé složení, viskozita, sušina atd. Jen někdy se udává chemický adhezní základ. Spotřebitel zase hledá pomůcku pro výběr vhodného lepidla za dobrou cenu. Spotřebitel dává přednost specifikaci na kompozici lepidla, podle ní je schopen odvodit, co může od daného lepidla očekávat. Tento typ specifikace se nachází na obale lepidla.

Nejzákladnějším pravidlem je, aby se lepidlo svými vlastnostmi co nejvíce přibližovalo vlastnostem lepeného materiálu.[2]

Základní požadavky na výběr lepidla:

- Kohéze lepidla a jeho adheze k adherendu musí být velká.
- Elastické konstanty (modul pružnosti apod.) mají být stejné a nebo se alespoň přibližovat ke konstantám substrátu.
- Požadavky uvedeny výše se musí pohybovat v tepelném rozsahu v rozmezí od -30 do +80 °C.
- Maximální odolnost proti vnějším vlivům (např. pokles adheze a koheze, malá navlhavost, teplotě atd.).
- Lepidlo se má při tvrdnutí minimálně smršťovat.

- Musí mít vhodné elektrické vlastnosti (izolační schopnost, vodivost).
- Nemá při tvrdnutí uvolňovat látky, které by mohly korozně nebo jinak ovlivňovat substrát.
- Lepidlo má vyžadovat minimální úpravy a operace před lepením.
- Vytvrzování lepidla ve spoji má být co nejjednodušší (bez působení teploty a vysokých tlaků).
- Mělo by mít dlouhou trvanlivost a také by se mělo snadně nanášet.[2]

2.3 Druhy a vlastnosti lepidel

V minulosti bylo jen několik málo živočišných a rostlinných surovin na výrobu glejov, u kterých se vlastnosti a forma navzájem málo lišili a neměnila se ani technika jejich použití.

Vývoj chemie přinesl v této oblasti rychlý pokrok. Objevila se lepidla na bázi přírodního kaučuku a lepidla syntetická.

Od olejových přešel vývoj lepidel k lepidlům rozpouštědlovým i tuhým, objevila se lepidla vulkanizační, reaktivní, jednosložkové a vícesložkové, lepidla na dřevo, papír, textil, gumu, sklo, kovy, plasty, univerzální i jednoúčelové lepidla.

Sortiment lepidel se rozrostl natolik, že vznikla potřeba vytvořit přehledný systém, který by umožnil metodický, cílevědomý výběr lepidel na konkrétní použití.[2]

Lepidla lze dělit dle oblasti jejich použití:

- stavebnictví,
- obuvnictví,
- automobilový průmysl,
- výroba nábytku.

Velký rozvoj v používání lepidel byl v poslední době zaznamenán ve strojnictví, leteckém průmyslu a také elektronice.[2]

2.3.1 Klasifikace lepidel

Existuje mnoho způsobů pro kvalifikaci lepidel. Většina způsobů se omezuje na jedno nebo dvě základní kritéria. Nové typy lepidel, které přichází na trh, se tedy velmi obtížně zařazují.

Nejznámější klasifikační systémy lepidel vychází z následujících hledisek:

- podle chemického složení,
- podle druhu vazby,
- podle nosného média,
- podle formy a fyzikálního stavu,
- podle tekutosti,
- podle způsobu vytvrzování,
- podle lepivosti, odolnosti,
- podle použití.

Klasifikační systémy musí být poměrně všeobecné, aby se do nich mohly zařadit i nově vyvinuté druhy.

Nejvšeobecnějším základem pro rozdělení, resp. klasifikaci lepidel je chemické složení lepidel.

Při všeobecných systémech klasifikace je třeba uvažovat s určitými kompromisy, podle kterých vytvoříme skupinu lepidel, které mají společné jedno kritérium, avšak v ostatních hlediscích se mohou lišit. Čím užší kritérium si vezmeme za základ klasifikace, tím více tolerancí musíme připustit. V praxi a odborné literatuře se často setkáváme s klasifikací podle způsobu vytvoření vazby, podle nosného média a podle formy.

Nejpřesnější a nejkompaktnější systém vychází z principu moderní informatiky s využitím dokumentaristických metod, rozsáhlých kartoték, magnetických pamětí a počítačů. Takovýto systém obsahuje nejen charakteristiku lepidel, ale i kódy pro technologii lepení, konstrukci spojů, vlastnosti spoje, normy, patenty, výrobce.[2]

2.3.2 Základní vlastnosti lepidel

Lepidlo jsme si definovali jako látku, která je schopna navzájem spojit dva materiály pomocí povrchových sil. Tato schopnost však není vnitřní vlastností lepidla (adheze), ale vzniká jen za určitých podmínek a za podstatného přispění substrátu (adherendu).

Proto definice vytvoření zahrnují i tyto skutečnosti:

- Lepidlo je materiál, vytvářející spoj mezi povrchy adherendů účinkem adhezie.
- Lepidlo je materiál, který je schopen držet při sobě povrchy tuhých látek adhezivními a kohézními silami.

V těchto definicích jsou pojmy adhezivum a lepidlo totožné, ale za určitých okolností je potřebné je odlišovat.

Lepidlo totiž není jednoduchá látka, ale složitá směs. Jde o systém, který se skládá z více složek.[2]

Hlavní složky lepidel

- Adhezní základ (spojivo) - je látka, která má dodat lepidlu a zhotovenému spoji určité požadované vlastnosti (pevnost a odolnost).
- Nosné médium (nosič) – podle formy lepidla může jít o rozpouštědlo, ale také o folii, papír, textil a nebo vláknitou rohož.
- Katalyzátory a vytvrzovačla – tyto činidla nemusí být v každém lepidle. Funkce obou látek lze zabezpečit zesíťováním, tj. vytvrzovací reakcí.
- Urychlovače, retardéry – jsou látky, které kontrolují vytvrzovací proces. Jsou obsaženy v jednosložkových i ve vícesložkových reaktivních lepidlech.
- Modifikátory (modifikační přísady) – jsou přísady, které mají měnit technologické vlastnosti, použití a nebo výsledné vlastnosti spoje.
- Všechny tyto vlastnosti jsou důležité a je třeba je posuzovat už při výběru lepidla. A to nejen vzhledem k vlastnosti spoje, ale i vzhledem k jeho tvaru a technologii lepení.[2]

2.3.3 Základní rozdělení lepidel

Základní rozdělení lepidel rozlišujeme na organické a anorganické druhy. Organické lepidla dále dělíme na přírodní a syntetická, tedy lepidla vzniklá přírodou a lepidla vytvořena člověkem. Přírodní lepidla se dále člení na živočišná a rostlinná. Syntetická se dělí na reaktoplastická a termoplastická.[7]

Rozdělení lepidel dle chemické báze

- lepidla organického původu (např. glutinová lepidla, kaseinová lepidla, albuminová lepidla, škrobová lepidla, dextrinová lepidla atd.)
- lepidla anorganického a minerálního původu (např. vodní sklo, asfaltová lepidla, metalická lepidla, fosfátová lepidla, keramická lepidla atd.)[5]

Rozdělení lepidel dle složení

1. jednosložková lepidla – lepidla smíchaná s ředidlem, k vytvrzení dochází na vzduchu po odpaření ředidla, případně odebráním kyslíku, vlhkostí vzduchu nebo teplem, lepicí plochy se mohou spojit až po zaschnutí lepicího filmu.
2. dvousložková lepidla – působí po smíchání dvou složek (lepidla a tužidla), následuje rychlá reakce. Směs je nutno zpracovat během předepsané doby.[8]

Přehled lepidel podle principu tuhnutí ve spoji

- Lepidla tlačovac tuhnoucí vsáknutím a odpařením obsažené vody

Alespoň jedna část spoje musí být propustná a pórovitá. Spoje nejsou odolné vůči vodě (kaseinová, klišová, škrobová, dextrinová, na bázi derivátů celulózy, na bázi polyvinylalkoholu, z arabské gumy, vodního skla, sádry, cementu atd.)

- Lepidla disperzní tuhnoucí vsáknutím a odpařením obsažené vody (latexy)

Vyznačují se nízkou viskozitou i při velkém obsahu sušiny (50% hm). Obsahují jen malé množství organických rozpouštědel. Lze je ředit vodou. Zpracování se provádí za normální

teploty (ale ne za nižší, než je minimální filmotvorná teplota = minimální teplota, při které ještě vzniká souvislý polymerní film). Jeden z lepených materiálů musí být pórovitý a propustný pro vodní páru (asfaltové emulze, kaučukové latexy, polyvinylacetátové disperze, polyakrylátové disperze).

- Lepidla tlačovac tuhnoucí odtěkáním organických rozpouštědel

Vyznačují se nízkým obsahem sušiny (vzniká tenký film, který nemůže vyrovnat nerovnosti spojovaných povrchů). Ve filmu jsou delší dobu přítomny zbytky rozpouštědel, proto dochází k pomalejšímu nárůstu pevnosti spoje. Spoj je dlouho měkký (kaučuková, ze sloučenin celulózy, polyakrylátová, polyamidová, polystyrenová, na bázi tlačovacími idu).

- Lepidla reaktivní tuhnoucí vlivem zvýšené teploty

Tato lepidla se užívají v průmyslovém měřítku na bázi epoxidových, fenolformaldehydových, močovinoformaldehydových a melanminformaldehydových pryskyřic.

- Lepidla reaktivní tuhnoucí vlivem vlhkosti prostředí

Vteřinová-kyanakrylátová lepidla – spoj je elastický, houževnatý s širokou adhezí účinností, k lepení hladkých, nesavých a odmaštěných ploch.

Silikonová lepidla (tmely) – vyznačují se výbornou přilnavostí k čistým a odmaštěným povrchům.

- Lepidla reaktivní tuhnoucí po přidání tvrdidel

Epoxidová – v případě těchto lepidel je třeba dodržet poměr míšení pryskyřice s tvrdidlem. Lze je plnit anorganickými práškovými plnivými až do obsahu cca 40% hmotnosti základní pryskyřice (fenolformaldehydová, močovinoformaldehydová, polyesterová, polymethakrylátová, polyuretanová).[6]

- Lepidla stále lepivá, citlivá na tlak

Užívají se v kombinaci s nosiči, samolepicími pásy, fóliemi, štítky atd.[6]

2.4 Příprava materiálu na lepení

2.4.1 Příprava povrchu lepeného materiálu (Adherendu)

Příprava a úprava povrchu lepeného spoje jsou důležitými úkony pro maximální pevnost spoje. Rozlišují se dva hlavní úkony:

- fyzikální,
- chemický.

V podstatě jde o vyrovnaní povrchu a odstraňování nečistot a korozních zplodin, ale i vnitřní pnutí a zvýšení adhezních vlastností.

K těmto úpravám náleží i úprava vlhkosti nasákavých materiálu. Všechny druhy povrchových úprav se nemusí provádět současně. Záleží na tom, jaké materiály se spojují, jaké se požadují vlastnosti spoje a jaké prostředky jsou k dispozici.[3]

Při úpravě povrchu lepeného materiálu je důležité, aby na povrchu nezůstaly nějaké látky, vrstvy a nerovnosti, které by zhoršovaly přilnavost lepené vrstvy.[2]

Jak je již výše zmíněno, existují dva druhy úkonů, které jsou důležité pro pevnost spoje.

Fyzikální operace

a) mechanické:

- broušení,
- obrábění,
- šmirglování,
- pískování,

b) jiné fyzikální operace:

- ozařování (gama-záření, ultrafialové a infračervené),
- ultrazvukové čištění,
- polarizace oxidačním plamenem,
- vysoušení.

Při mechanických operacích se dosahuje vyrovnání hrubých povrchových nerovností, nebo se upravují horní okraje kapilár. Opískování se používá jen při nekorodujících substrátů.

Další úkony fyzikálních operací jsou více zaměřeny na zvýšení adheze. U těžce tlačovacích plastických materiálů, u kterých vzniká elektrický náboj, se používá ultrafialové záření, nebo ošlehnutí oxidačním plamenem, což podstatně zlepšuje adhezní vlastnosti. Těmito způsoby se upravují např. polyetylenové fólie pro lepší přilnavost barvy.[2]

Vliv ultrazvuku na zlepšení pevnosti se vysvětluje dvěma způsoby:

- 1) Při působení ultrazvuku na lepení plochy před nanášením lepidla se předpokládá, že se odstraní absorbované látky, nečistoty a voda a současně se uvolní aktivní centra.
- 2) Při působení ultrazvuku na plochy opatřené lepidlem se předpokládá zatlačení lepidla do povrchových nerovností a zvýšení jeho mechanického zakotvení.[2]

Ultrazvuk se používá při odmašťování v rozpouštědlech a v alkalických odmašťovacích roztocích.

Nejnovější metodou úpravy povrchu je iontové bombardování. Je to vakuový proces (vakuum 10^{-1} až 10^{-2} Pa). Při interakci iontů s povrchem nastává na základě přenosu hybnosti mezi ionty a atomy povrchu odprašování resp. Iontové leptání povrchu. Tímto získáme velmi čistý povrch s vhodnou geometrickou strukturou, současně se tak zabraňuje kontaminaci vlivem okolního prostředí.[2]

Přítomnost vody a vlhkosti snižuje přilnavost lepidla už při nanášení. Způsobuje slabou vazbovou vrstvu a zmenšuje životnost spoje. Tomuto zamezíme vysoušením nebo použitím vodorozpustného lepidla, které můžeme nanášet na vlhké materiály. Přebytková voda zvyšuje při vytvrzování nároky na energii.[2]

2. Chemické operace

- odmašťování (tampónem, v párách, v koupelích),
- moření,
- anodická oxidace.

Odmašťování

U náročných spojů je v pořadí druhou operací navazující na mechanické opracování a při nouzovém upravování je odmaštění operací konečnou.

Používají se těkavé organické rozpouštědla, ale také vodní roztoky saponátů. Podmínkou pro správnou volbu odmašťovacího prostředku je nerozpustnost upravovaného materiálu. Při odmašťování menších ploch se používají vatové tampony smáčené v rozpouštědle. Ve větším měřítku se odmašťování provádí rozpouštědly systémem dvou lázní (nečisté a oplachovací) nebo v párách vroucího rozpouštědla, které je sice méně bezpečné, ale zaručuje dobrý výsledek.

Chemické moření

Některé druhy polymerů, např. polyolefiny a polyamidy, se vyznačují tím, že v původním stavu nejsou dobře tlačovací. Z různých metod, které byly navrženy pro zlepšování adhezních vlastností spojovaných povrchů, se nejvíce používají metody spočívající v aktivaci pomocí roztoků chemikálií, např. silných minerálních kyselin.

Mořicí lázně musí být přechovávány ve skleněných nebo kameninových nádobách. Lázně obsahující fluorovodíkovou kyselinu se uchovávají v nádobách z PVC nebo v nádobách teflonových.[4]

Odstraňování vnitřního pnutí temperancí

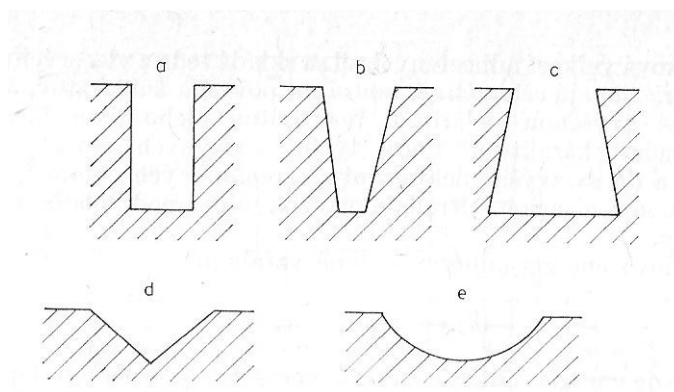
V místech těsně přilehlých spoji se v krátkém čase objevují stříbřité vlasové trhlinky, které způsobují, že se spoj stane neprůhledným a celkově neestetickým. Jde o uvolnění vnitřního pnutí hmoty, které je vyvoláno působením rozpouštědla obsaženého v lepidle. Příčinou pnutí je buď výrobní proces, nebo tlak a teplota vyvozené nástrojem při tepelném tvarování a opracování lepených ploch.

K úpravám povrchu lepeného materiálu se řadí také úprava roviny a hladkosti. Úprava roviny lepených povrchů se týká především tuhých materiálů. Úpravou roviny se současně odstraní značná část nečistot a nerovnosti povrchu.

Pokud nemáme k dispozici strojní vybavení, jsme odkázáni na ruční hoblování, pilování, vrtání a zdrsňování ocelovým kartáčem, ocelovými hoblinami nebo brusnými papíry.

V průmyslu se plochy nejčastěji upravují frézováním, strojním hoblováním nebo protahováním brusnými válci.[4]

Podle De Bruynea je vniknutí lepidla do povrchových nerovností (obr.3) dán jejich tvarem, který může být:



Obr. 3 Základní typy nerovností na lepených plochách

a – válcová, b – kónická, c – kónická uzavřená,

d – kónická plochá, e – miskovitá [2]

2.4.2 Příprava lepidla k lepení

Způsob přípravy lepidla závisí na čtyřech základních faktorech:

- a) druhu lepidla,
- b) stavu lepidla po uskladnění,
- c) způsobu nanášení,
- d) způsobu vytvrzování.

Tyto faktory se vzájemně ovlivňují.

Druh lepidla

Zde se zahrnují veškeré charakteristiky lepidla:

- chemická struktura,
- počet složek,
- fyzikální stav (tekuté, práškové, kusové),
- životnost lepících směsí.

Přehled operací na přípravu lepidel

- Ředění
 - Ředěním upravujeme viskozitu a sušinu lepidla. V praxi ředíme především rozpouštědly.
 - Je třeba vybrat vhodné ředidlo nebo rozpouštědlo tak, aby se dobře míchalo.
 - Požadovanou viskozitu zjistíme pomocí výtokového poháru po důkladné homogenizaci lepidla

- Přidání plniv (plnění)
 - zvýší se viskozita,[2]

- ovlivní nános lepené vrstvy,
- šetří se lepidlem, které je dražší.
- Přidání tvrdiv
 - Při přidávání tvrdiv musíme dodržet správný poměr lepidla a tvrdiva.
 - Dávkování ovlivňuje výslednou pevnost spoje.
 - Některé druhy tvrdiv působí jen za tepla, naopak jiné jen za studena.
- Homogenizace a odvzdušnění
 - Lepidla, které se skládají z více složek, často v rozdílných skupenstvích, se musí před nanášením dokonale homogenizovat.
 - Používají se různé druhy míchadel a homogenizačních zařízení.
 - Některá homogenizační zařízení mohou při míchání současně i odvzdušňovat.[2]

2.5 Nanášení lepidla

Základní tři body nanášení lepidla:

- kolik nanášet,
- jak nanášet,
- čím nanášet.

Množství nanášeného lepidla se udává vždy v gramech na jeden metr čtvereční (g/m^2) lepené plochy celkem. Limity spodní a horní hranice dávkování jsou zpravidla uváděny čísla 90 až 300 g/m^2 . Při zpracování lepivých tmelů může být spotřeba i vyšší, až 1000 g/m^2 . [4]

Lepidla mohou mít formu kapalin a pevných látek. Konzistence kapalných lepidel se liší podle jejich druhu. Mohou se pohybovat v širokém rozmezí od řídké kapaliny po mazlavou pastu. Pevná lepidla se dodávají v podobě drti, tyčinek, folií, rosolu.

Bez ohledu na počáteční formu musí být lepidlo nanášeno v takovém stavu, aby v určitém momentu zpracování (u tekutých lepidel ihned, u tavných lepidel po zahřátí) vytvořilo tekutou rozplývavou vrstvu, která smáčí mikropóry povrchu. Respektování této zásady je důležité zejména při zpracování lepidel rozpouštědlových a dvousložkových reaktivních lepidel, která při rychlém odpařování rozpouštědel a v průběhu chemické reakce rychle zvyšují svou viskozitu.

Rovnoměrný nános lepidla po celé ploše spoje je naprosto samozřejmý. Jsou tu však další dvě možnosti, a to nános jednostranný, nebo oboustranný.

Oboustranný nános lepidla je vhodný při aplikaci lepidel rozpouštědlových a lepidel disperzních. Při zpracování lepidel z rozpouštědlových, kontaktních, je naprosto nutný. Jako první v pořadí se provádí nános lepidla na povrch méně porézní.

Jednostranného nánosu se zpravidla používá při práci s lepidly reaktivního typu, při zpracování lepidel tavných a lepidel citlivých na tlak (lepící pásky).[4]

Existují různé druhy nanášení:

- navalování,
- válcové natírání,
- nanášení pomocí natíracího nože.

Tyto technologie jsou převzaty z oblasti povrchových úprav, kde se používají k vytvoření povlaků u nátěrových hmot. Zpravidla jde o velké rovné a hladké plochy. Tyto technologie se používají jen zřídka.[2]

2.5.1 Základní způsoby nanášení

- ruční nanášení,
- nanášení pomocí přípravků,

- nanášení pomocí velmi výkonných zařízení,
- nanášení pomocí tepelných procesů.

2.5.2 Způsoby nanášení a používané zařízení

Ruční nanášení

K ručnímu nanášení se užívají štětce, tyčinky, špachtle, tuby a síta.

- Štětce – nanášení lepidel si vyžaduje štětce s jemným a tužším vlasem, aby se dala přesněji nanášet tenká vrstva a aby se lepidlo nanaslo na lepenou plochu.
- Tyčinky – jsou určeny zpravidla na jednorázové použití. Existují skleněné nebo dřevěné. Určeny na nanášení na malé plochy, případně do dutin.
- Špachtle – mají různé velikosti a můžou být z plechu či z plastu, případně z tvrdé gumy. Podle šířky lopatky se mění použitelnost pro různé šířky lepených ploch. Tuhost špachtle umožňuje nanášení vysokoviskózních past a tmelů.
- Tuby – obaly upravené na nanášení. Výrobci dodávají s tubou rozlišné nadstavce. Používají se k nanášení lepidla na malé plochy, dále do tvarovaných spojů a dutin.
- Síta – různých velikostí a jemností se používají na nanášení práškovitých lepidel na různé, zpravidla předehřáté substráty.[2]

2.6 Hodnocení soudržnosti lepených spojů

Soudržnost lepeného spoje je podmíněna jakostí tří rovnocenných složek:

- lepidla,
- lepené hmoty,
- zpracovatelských podmínek.

Výrobce lepidel (právě tak jako výrobce spojovaného materiálu) ručí za jakost svého výrobku zaručenými hodnotami vybraných vlastností, které jsou v technických

podmínkách nebo normě dohodnuté s odběratelem. Je povinností výrobce i odběratele pravidelně zkoušet stanovené ukazatele jakosti.[4]

U lepidel se měří:

- viskozita,
- obsah sušiny,
- obsah volných složek,
- hodnoty Ph,
- doba tlačovací.

Jde-li o zboží určené pro malospotřební trh, provádí tyto zkoušky v zastoupení spotřebitele kontrolní orgán ministerstva vnitřního obchodu.[4]

2.7 Základní rozdělení zkušebních metod

2.7.1 Destruktivní zkušební metody

- Pevnost lepených spojů ve smyku

Běžné jsou lepené spoje přeplátované, trubkové nebo násuvné, u nichž se zkouší především pevnost ve smyku.

V ČR se hodnocení provádí podle ČSN 66 85 10 – Pevnost lepených spojů ve smyku při zatěžování v tahu. Zkouška spočívá v namáhání přeplátovaného spoje statickým tahem ve směru podélné osy do porušení vzorku. Spoj je při této zkoušce současně namáhán v ohybu.[4]

- Pevnost lepených spojů v tahu

Zkouška slouží k hodnocení tzv. čelných spojů. Provádí se na normalizovaných válcových tělesech o průměru 25 mm a výšce 10 mm. Spoj se v trhacím stroji podrobí namáhání v tahu a při tom se měří síla potřebná k roztržení vzorku.

- Pevnost lepených spojů v odlupování

Tato zkouška se provádí, je-li alespoň jeden ze spojovaných materiálů ohebný. Podle tuhosti spojovaných materiálů se určí úhel odlupování, u polotuhých materiálů je menší než 90°. Pevnost v odlupování se zaznamenává graficky. Rozumí se jí průměrná hodnota vypočtená z hodnot střední části průběhové křivky.

- Pevnost lepených spojů při namáhání rázem

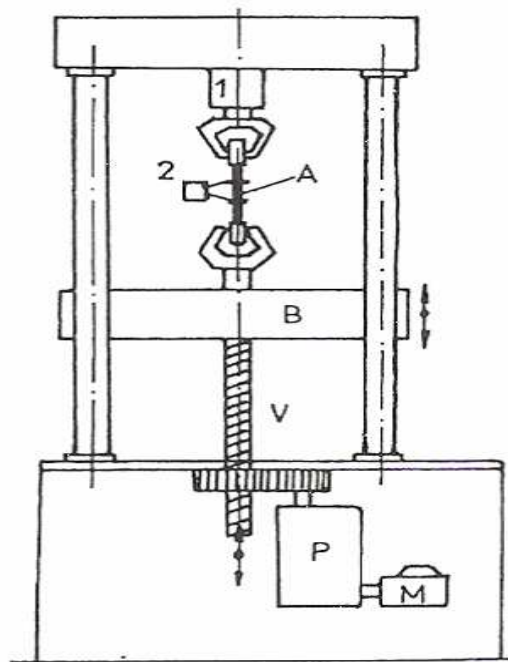
Rázová pevnost spojů je nejmenší síla potřebná k porušení zkušebního vzorku při působení rázem. Při zkouškách je lepený spoj namáhán ve smyku rázovým tlakem ve směru podélné osy. Zkouška se provádí na kyvadlovém přístroji.

- Zkouška lámavosti lepených spojů

Spoj je namáhán statickým tlakem kolmo na podélnou osu a plochu spoje do porušení zkušebního tělesa.

- Zkouška trvalé (časové) pevnosti a stárnutí

Umožňuje zjistit chování lepených spojů při trvalém použití. V praxi je spoj podroben nejen účinkům dlouhodobého namáhání, ale v některých případech též účinkům teploty, vlhkosti, povětrnostních vlivů a vlivů různých prostředí.[4]



Obr. 4 Schéma trhacího zařízení

2.7.2 Nedestruktivní zkušební metody

Jednotlivé metody nedestruktivních defektoskopie umožňují kontrolu lepených výrobků, aniž by byly poškozeny. Avšak nelze jimi měřit pevnost spoje. Naproti tomu dovolují odhalit skryté vady spojů, např. neslepená místa, místa s nedostatečným nánosem či trhliny.

- Akustická defektoskopie

Těleso vydává po rozkmitání v místech vadného spoje zvuk jiné amplitudy, jiné vlnové délky a zvukového spektra než v místech kvalitního spoje.

- Optické metody

Spočívají v prosvětlení tenkých lepených celků intenzivními světelnými zdroji nebo u silnějších lepených celků rentgenovými paprsky.

- Defektoskopie pomocí radioizotopů

Lepidlo se označuje vhodným radioaktivním izotopem a kontroluje se jeho rozložení ve spoji.[4]

- Ultrazvukové defektoskopie

Zkoušený celek se umístí mezi ultrazvukový generátor a přijímač ultrazvukových vln, tak se zjišťují místa s vadným slepením.[4]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 CÍL PRAKTICKÉ ČÁSTI

Cílem experimentální (praktické) části bakalářské práce bylo porovnat pevnost lepených spojů u dvou vybraných typů polymerních materiálů (PS, PC, PA). Byly vybrány tři typy lepidel a to dvě dvousložková – 2K (Ester Plexus MA 422 a MA 310) a jedno jednosložkové – 1K (sekundové lepidlo – Cyanofix). Pevnost lepeného spoje byla sledována provedením tahové zkoušky na trhacím stroji Zwick 1456 v laboratořích Ústavu výrobního inženýrství. Počet zkušebních těles pro každý typ použitého základního materiálu a zvolený typ lepidla při zkoušce tahem byl 5 kusů.

3.1 Příprava technologie lepení

Před procesem lepení byla připravena zkušební tělesa pro zkoušku pevnosti lepeného spoje. Tvar a rozměry tělísek jsou shodné s rozměry uvedenými v normě ČSN EN ISO 527 pro provádění tahových zkoušek plastů. Zkušební tělesa byla vyrobena technologií vstřikování na vstřikovacím stroji firmy Arburg v laboratořích Ústavu výrobního inženýrství.

3.1.1 Proces lepení

Lepení bylo prováděno v dílnách Ústavu výrobního inženýrství na speciálně vyrobených přípravcích (obr.5). Přípravky byly vyrobeny frézováním na školní frézce FC16CNC. Základním materiálem bylo zvoleno syntetické dřevo. Správný tvar zkušebního tělesa určeného pro tahovou zkoušku byla zajištěna ocelové kolíky. Celkem bylo vyrobeno 8 kusů pětinasobných přípravků.

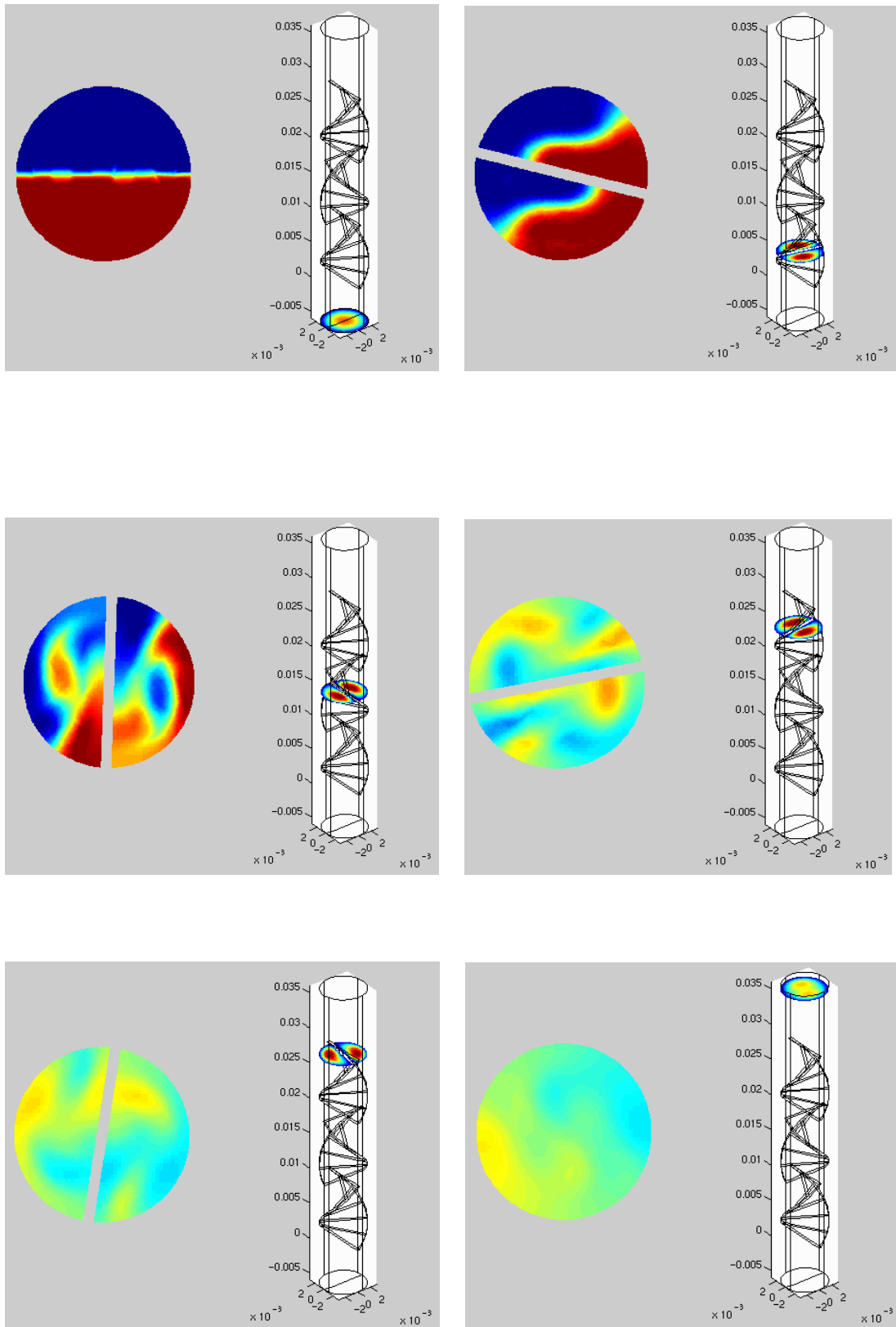


Obr. 5 Přípravky k lepení

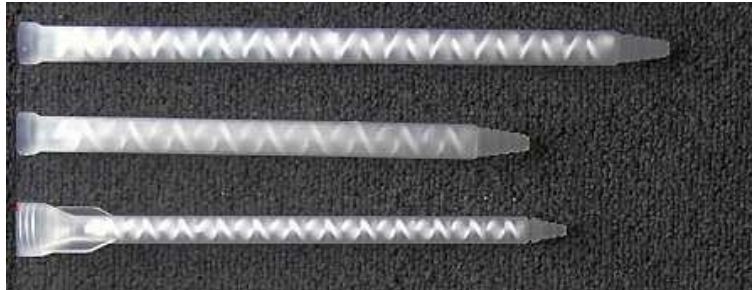


Obr. 6 Vytlačovací pistole

Aplikace dvousložkových lepidel byla realizováno tlačovacími pistolemi a je ukázáno na obrázku 6. Pro dosažení dokonale homogenní směsi byl použit statický mixer, který byl upevněn na vyústění pistole. Na obrázku 7 je znázorněno schéma principu statického mixeru, na následujícím pak samotný statický mixer.



Obr. 7 Schéma principu funkce statického mixeru

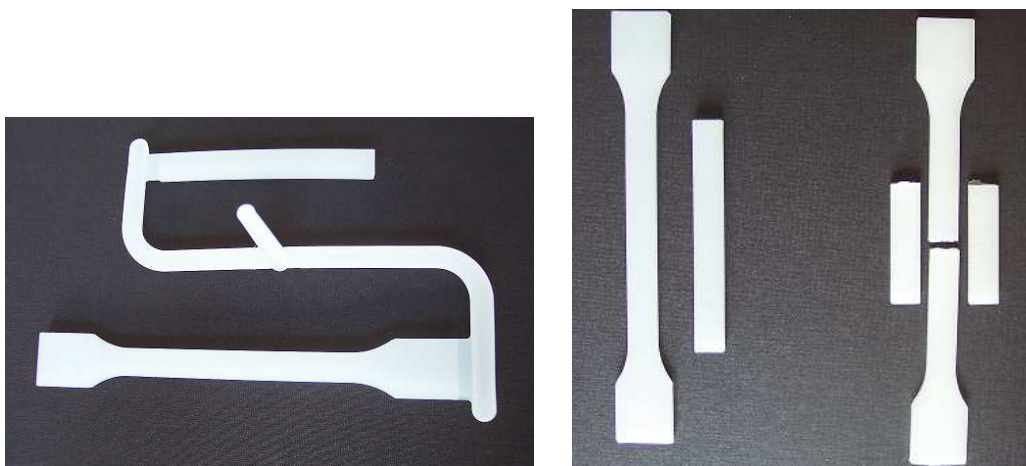


Obr. 8 Statický mixer

3.1.2 Výroba lepených spojů

Jako nejvhodnější typ spoje z hlediska dostatečné pevnosti jsme zvolili dvojité přeplátovaný spoj, jak je patrná z obrázku 9.

Před nanesením lepidla nebylo místo lepení nikterak chemicky očištěno. Do přípravku byly umístěny lepené díly a přeplátovány destičkou s dostatečně silnou vrstvou lepidla, kterou předepsanou výrobcem. Vrstva lepidla se pohybovala přibližně kolem 1mm, vyjma lepidla sekundového. Po uplynutí doby potřebné k zaschnutí jsme polotovary zkušebních těles otočili a přeplátování bylo provedeno i na druhé straně.



Obr. 9 Náčrt dvojité přeplátovaného spoje.

3.1.3 Lepidla

ITW PLEXUS (Illinois Tool Works)

Americká společnost zabývající se spojovacími, upevňovacími, utěšňovacími technologiemi a také technologiemi povlakování. Vyrábí dvousložková methakrylátová lepidla pro konstrukční lepení kovů, termoplastů a kompozitních materiálů. Spoje mají dlouhodobou pevnostní trvanlivost a povrch adherendu není nutné před samotnou aplikací upravovat. Tato adhesiva mají velmi široké uplatnění, například v automobilovém průmyslu nebo námořním průmyslu .

MA310

Dvousložkové adhesivo krémového zbarvení. Doba použitelnosti je 25-18 minut, tvrdnout začíná po 30 minutách. Nanášení za teploty 18-26°C, se zvyšující se teplotou roste rychlost tuhnutí. Teplotní odolnost je v rozmezí -55 až +120°C. Vhodné pro lepení ABS, PVC, akrylpolymerů, epoxidových pryskyřic, polyesterů, styrenů, vinylesterů a uretanů. Aplikace může být ruční vytlačovací pistolí, nebo automatizována. Směšování složky A a B v poměru 1:1 pomocí statického mixeru. Modul pružnosti v tahu $E=1000-1200$ Mpa.

Relativní prodloužení 5-15 %

MA422

Dvousložkové lepidlo pro spojování termoplastů, kovů i kompozitních materiálů. Směšovací poměr adhesiva a aktivátoru je 10:1. Doba aplikace směsi je 17-25 minut. Po 35 minutách dosahuje spoj již 70% výsledné pevnosti. Předností tohoto lepidla je vysoká pevnost a únavová trvanlivost spoje vůči namáhání. Spoj je odolný vůči kyselinám, zásadám, uhlovodíkům, citlivý vůči polárním rozpouštědlům a silným kyselinám. Vhodné k lepení PVC, ABS, uretanů, vinylesterů, styrenů, akrylových polymerů. Pevnost v tahu 14-17 Mpa, modul pružnosti v tahu $E= 480$ až 620Mpa. Relativní tažnost 70-100%. Kohezní pevnost 10-12 Mpa.

4 ZKOUŠKY LEPENÝCH SPOJŮ

Použití daného lepidla pro daný materiál v praxi je nutné předem analyzovat mechanickou pevnost spoje. Mechanické vlastnosti spojů jsme zjišťovali tahovou zkouškou na trhačím stroji Zwick 1456.

V průběhu zkoušky se trvale zaznamenává síla a prodloužení tělesa. Rozsah rychlosti zkoušky musí být v intervalu 0.5 ÷ 500 mm/min. My jsme zvolili rychlost 20mm/min, měřili jsme za pokojové teploty.



Obr. 10 Trhačka Zwick 1456

4.1 Vyhodnocování výsledku měření

Při statistickém vyhodnocení výsledku měření byly použity následující vztahy:

Aritmetický průměr: „ \bar{x} “ (výběrový) s n jednotlivých výsledku x_i ($i = 1, 2, 3 \dots n$) je suma výsledku dělená jejich počtem n :

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

Rozptyl: „ s^2 “ Je vhodný pro zjišťování řady n hodnot náhodného výběru se suma čtverců

odchylek jednotlivých hodnot od aritmetického průměru dělí tzv. počtem stupňů volnosti $f = n - 1$.

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

Směrodatná odchylka: „ s “ Absolutní hodnota druhé mocniny.

$$s = \sqrt{s^2} \quad (7)$$

Střední kvadratická chyba aritmetického průměru: „ $\bar{\sigma}$ “ Využití pro hodnocení přesnosti měření se vychází ze střední kvadratické chyby „ σ “ podělenou mocninou s n měření.

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (8)$$

5 PEVNOSTI LEPENÝCH SPOJŮ

5.1.1 PS

Nejjednodušším způsobem spojování PS je lepení rozpouštědly. Pevnost spojů je však poměrně nízká díky vnitřnímu pnutí, vznikající odpařováním rozpouštědla. Nežádoucím jevem je i vznik stříbření v okolí spoje. Typickými rozpouštědly je toluen, benzen nebo trichlorethylen. Vypařování je velmi pomalé, trvá až 14 dnů, proto se používá rychleji odpařitelný ethylacetát, methylethylketon, cyklohexan atd. Pouhé bobtnání PS způsobuje například benzín nebo alkohol. K lepení se nejčastěji používá směs těchto 3 skupin rozpouštědel.

Vyšší pevnost zajistíme roztokovými lepidly z polystyrenu nebo jeho kopolymerů. Nejpevnější spojení zajistí lepidla na bázi polyuretanů, epoxidů nebo nenasyčených polyesterů.

Ataktický, amorfní, málo ohebné řetězce = organické sklo

MONOMER – styren, příprava z benzenu a acetylénu

POLYMERACE : suspenzní radikálová

VLASTNOSTI . Mw = 100. – 400. tis., ataktický, nerozvětvený, Tg = 90 – 100°C

E = 3200 MPa, σ = 31 MPa, použitelný do 75°C

má sklon ke korozi za napětí, je tvrdý, ale značně křehký

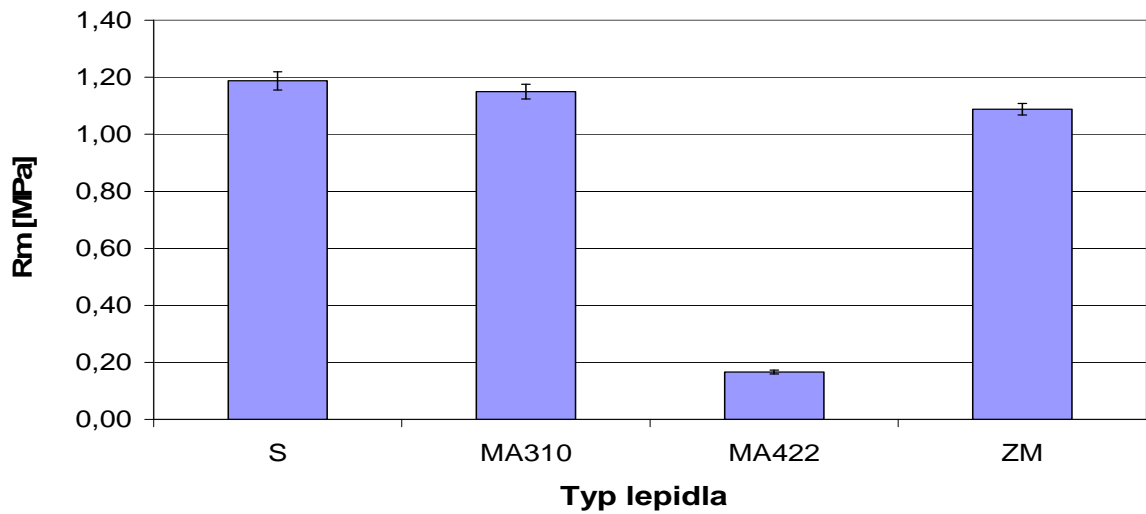
ZPRACOVÁNÍ : vstřikováním při 180 – 240°C

POUŽITÍ : spotř. Předměty, obaly, hračky, potravinové misky, kelímky

VÝROBCE : Kralupy nad Vltavou – KRASTEN

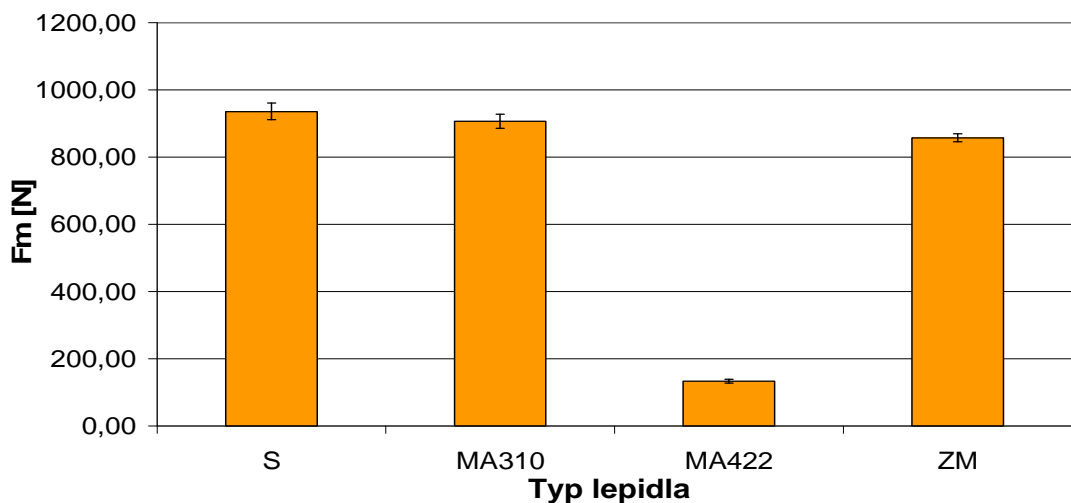
Tab. 1 Výsledky tahové zkoušky u materiálu PS

	Rm [MPa]	Nejistota měření A	Rm [-]	Fm [N]	Nejistota měření A	Fm [-]	E-Modulus [MPa]	Nejistota měření A	E-Modulus [-]
S	1.19	0.03	1.09	935.86	24.70	1.09	213.93	4.66	1.43
MA310	1.15	0.03	1.06	906.65	20.74	1.06	184.81	2.65	1.23
MA422	0.17	0.01	0.15	133.46	5.60	0.16	7.89	0.62	0.05
ZM	1.09	0.02	1.00	857.46	11.63	1.00	150.10	2.56	1.00



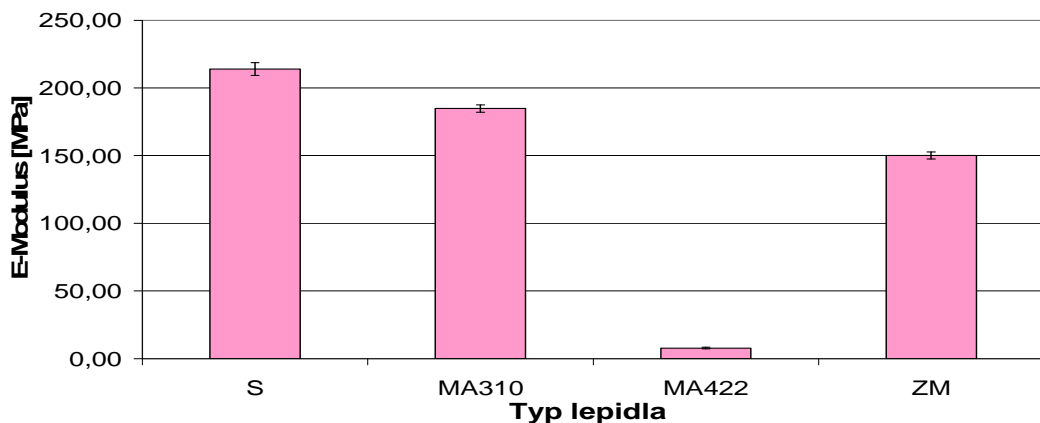
Obr. 11 Maximální pevnost v tahu lepeného spoje u materiálu PS

Maximální pevnosti v tahu lepeného spoje u materiálu PS bylo dosaženo u sekundového lepidla (1,19 MPa). Nejmenší hodnota pevnosti v tahu byla naopak zjištěna u lepidla MA 422 (0,17 MPa), jak je patrné z obrázku. Hodnota pevnosti v tahu základního materiálu je označena “ZM“ v obrázku 11.



Obr. 12 Maximální síla lepeného spoje u materiálu PS

Hodnota maximální síly zjištěná při pevnostní zkoušce lepeného spoje u materiálu PS byla naměřena u sekundového lepidla (935,86 N). Naopak nejmenší hodnota maximální síly byla naměřena u lepidla MA 422 (133,46 N), jak je patrné z obrázku 12. Hodnota maximální síly základního materiálu je označena “ZM“ v obrázku 12.



Obr. 13 Modul pružnosti v tahu E lepeného spoje u materiálu PS

Nejvyšší hodnota modulu pružnosti v tahu při pevnostní zkoušce lepeného spoje u materiálu PS byla naměřena u sekundového lepidla (213,93 MPa). Nejmenší hodnota modulu pružnosti v tahu byla změřena u lepidla MA 422 (7,89 MPa), jak je patrné z obrázku 13. Hodnota modulu pružnosti v tahu základního materiálu je označena “ZM“ v obrázku 13.

5.1.2 PC

Polykarbonáty patří mezi dobře lepitelné materiály. Velmi dobře se uplatňuje lepení rozpouštědly a roztoky 10-15% polykarbonátu např. v chloroformu, dioxinu, tetrachlorethan atd. Spoje se mohou vytvrzovat při teplotě max. 130°C. Vhodná jsou i kyanoakrylátová lepidla, epoxidy modifikované polysulfidy nebo polyamidy, ale i lepidla na bázi polyuretanů nebo styrenu.

Vykazují dobré mechanické vlastnosti.

PŘÍPRAVA : polykondenzací

VLASTNOSTI : $\rho = 1,2$ až $1,5 \text{ g/cm}^3$, $E = 2200 - 2450 \text{ MPa}$, $\sigma = 65 - 70 \text{ MPa}$

Transparentní (propustnost světla 85%), dobrá rozměrová stabilita až do 140°C , dobré elektroizolační vlastnosti, odolnost vůči UV

ZPRACOVÁNÍ : vstřikování při 280 až 310°C (forma $80 - 120^\circ\text{C}$)

vytlačování při 220°C až 320°C (nutnost sušení!)

třískové opracování, svařování horkým vzduchem

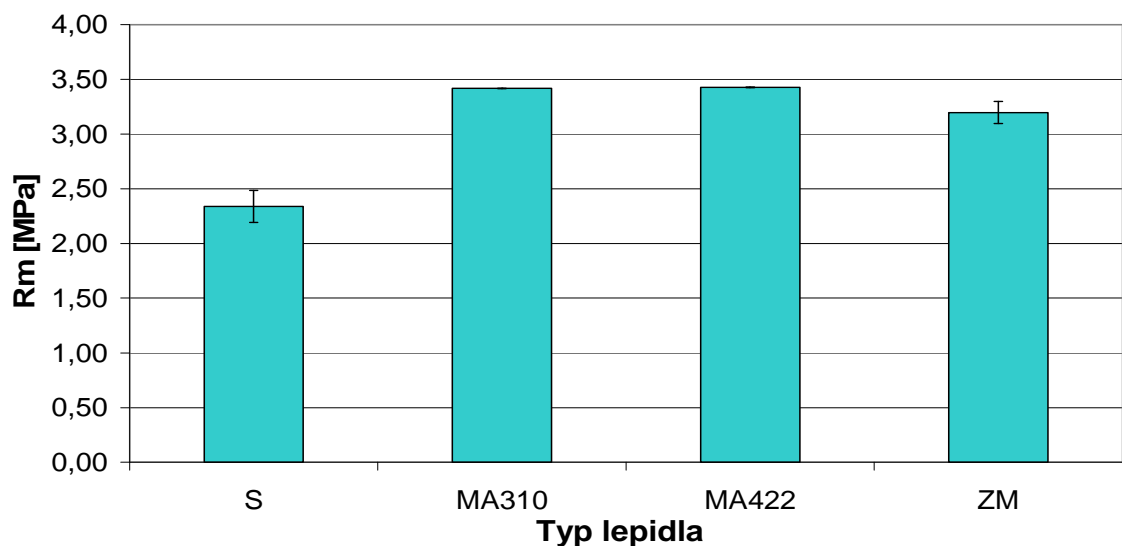
APLIKACE : konstrukční díly, fólie, trubky, tyče, desky

Směsi s ABS – součásti automobilů, elektrotechnika, CD nosiče

VÝROBCI : LEXAN – GE, USA, MAKROLOM – Bayer, SRN

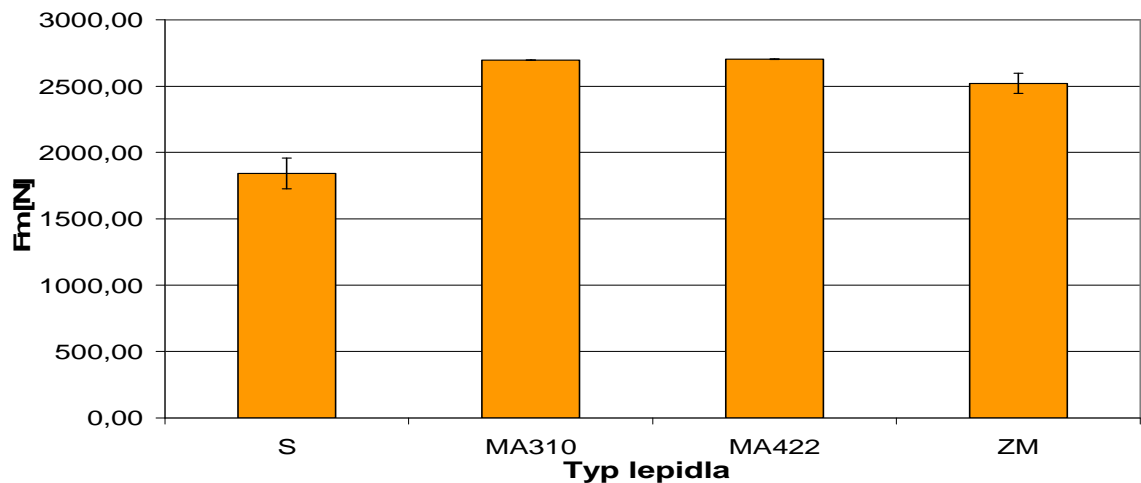
Tab. 2 Výsledky tahové zkoušky u materiálu PC

	Rm [MPa]	Nejistota měření A	Rm [-]	Fm [N]	Nejistota měření A	Fm [-]	E-Modulus [MPa]	Nejistota měření A	E-Modulus [-]
S	2.34	0.15	0.73	1842.91	115.70	0.73	186.99	5.41	1.54
MA310	3.42	0.00	1.07	2696.24	1.41	1.07	190.63	4.17	1.57
MA422	3.43	0.00	1.07	2703.73	2.06	1.07	207.29	9.14	1.70
ZM	3.20	0.10	1.00	2520.97	74.87	1.00	121.59	1.37	1.00



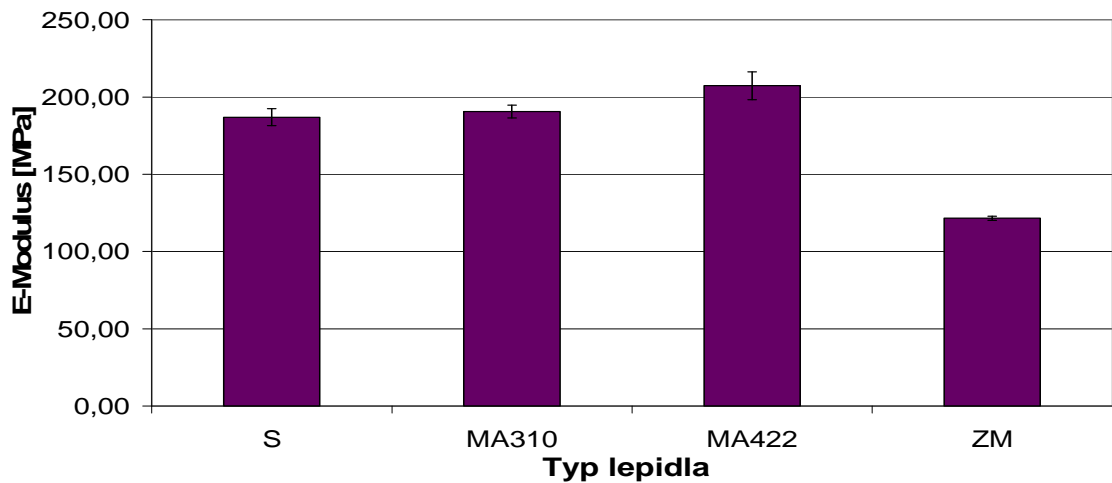
Obr. 14 Maximální pevnost v tahu lepeného spoje u materiálu PC

Maximální pevnosti v tahu lepeného spoje u materiálu PC bylo dosaženo u lepidla MA 422 (3,43 MPa). Nejmenší hodnota pevnosti v tahu byla naopak zjištěna u lepidla sekundového (2,34 MPa), jak je patrné z obrázku 14. Hodnota pevnosti v tahu základního materiálu je označena “ZM“ v obrázku 14.



Obr. 15 Maximální síla lepeného spoje u materiálu PC

Hodnota maximální síly zjištěné při pevnostní zkoušce lepeného spoje u materiálu PC byla naměřena u lepidla MA 422 (2703,73 N). Naopak nejmenší hodnota maximální síly byla naměřena u sekundového lepidla (1842,91 N), jak je patrné z obrázku 15. Hodnota maximální síly základního materiálu je označena “ZM“ v obrázku 15.



Obr. 16 Modul pružnosti v tahu E lepeného spoje u materiálu PC

Nejvyšší hodnota modulu pružnosti v tahu při pevnostní zkoušce lepeného spoje u materiálu PC byla naměřena u lepidla MA 422 (207,29 MPa). Nejmenší hodnota modulu pružnosti v tahu byla změřena u sekundového lepidla (186,99 MPa), jak je patrné z obrázku 16. Hodnota modulu pružnosti v tahu základního materiálu je označena “ZM“ v obrázku 16.

5.1.3 PA

Dříve se k lepení PA užívala kys. mravenčí nebo roztok PA v této kyselině. Po nanesení kyseliny se nechá asi 15 minut působit, až povrch nabobtná, poté se plochy přitisknou malými silami. Spoj je poměrně rychle ztuhlý, ovšem zbytky kyseliny se uvolňují velmi pomalu za přítomnosti nepříjemného zápachu. Spoje podléhají stárnutí, křehnou a nejsou odolné vůči vodě. Velmi dobrého spojení 2 PA dílů dosáhneme použitím fenylformaldehydové pryskyřice, vytvrzené přídavkem 15% kyseliny paratoluensulfonové. Spoj ztuhne během několika hodin, je-li spoj namáhán až po několika dnech je obvykle pevnější než vlastní adherend.

Pro spoje s jinými adherendy se používají fenolresorcinoformaldehydová lepidla.

VLASTNOSTI : $\rho = 1,13 \text{ g/cm}^3$, $E = 2800 \text{ MPa}$, $\sigma = 70 \text{ MPa}$, $T_m = 215 - 220^\circ\text{C}$

Použitelný od -30 do +100°C, houževnatý, odolný proti oděru

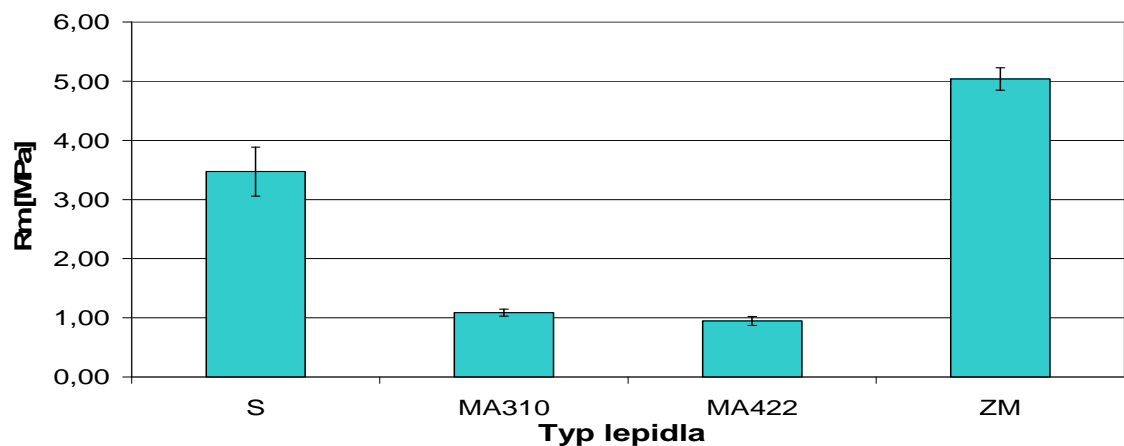
Je silně navlhavý

APLIKACE : textilní a technická vlákna, konstrukční materiál na ložiska, ozubená kola a ovládací elementy s 30% skl.vlákna, kluzná pouzdra, ozubená kola, kladky atd

VÝROBCI : CHEMLON Humenné, SILON Planá n. Lužnicí

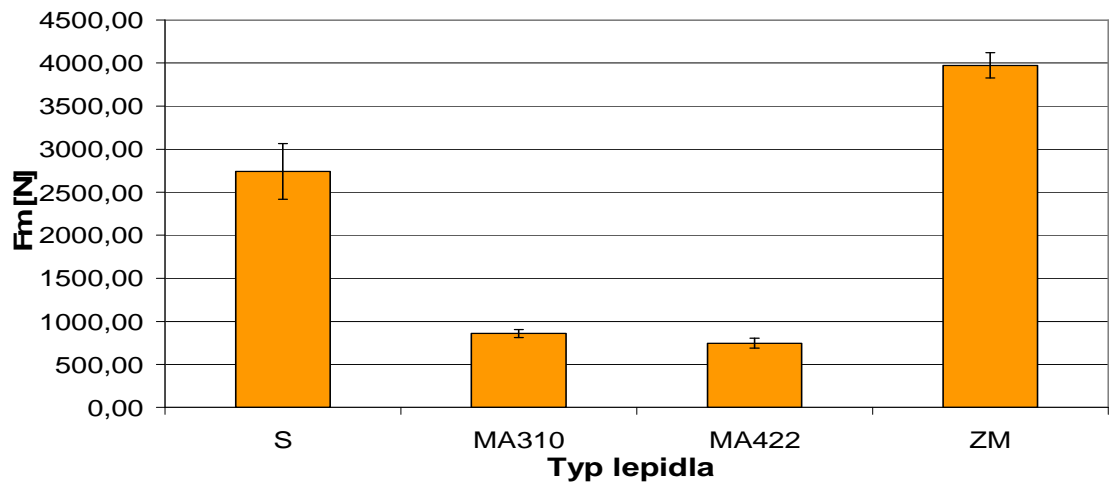
Tab. 3 Výsledky tahové zkoušky u materiálu PA

	Rm [MPa]	Nejistota měření A	Rm [-]	Fm [N]	Nejistota měření A	Fm [-]	E-Modulus [MPa]	Nejistota měření A	E-Modulus [-]
S	3.47	0.41	0.69	2740.35	325.26	0.69	657.17	25.77	1.60
MA310	1.09	0.06	0.22	857.98	47.77	0.22	157.41	45.91	0.38
MA422	0.95	0.07	0.19	747.25	57.84	0.19	121.43	32.79	0.30
ZM	5.04	0.19	1.00	3974.82	149.07	1.00	411.06	13.01	1.00



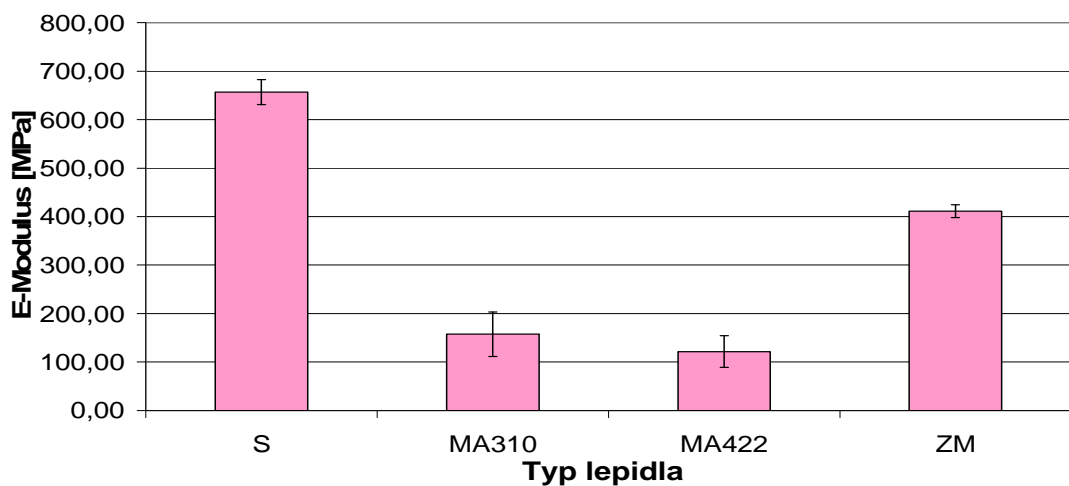
Obr. 17 Maximální pevnost v tahu lepeného spoje u materiálu PA

Maximální pevnosti v tahu lepeného spoje u materiálu PA bylo dosaženo u sekundového lepidla (3,47 MPa). Nejmenší hodnota pevnosti v tahu byla naopak zjištěna u lepidla MA 422 (0,95 MPa), jak je patrné z obrázku 17. Hodnota pevnosti v tahu základního materiálu je označena "ZM" v obrázku 17.



Obr. 18 Maximální síla lepeného spoje u materiálu PA

Hodnota maximální síly zjištěná při pevnostní zkoušce lepeného spoje u materiálu PA byla naměřena u sekundového lepidla (2740,35 N). Naopak nejmenší hodnota maximální síly byla naměřena u lepidla MA 422 (747,25 N), jak je patrné z obrázku 18. Hodnota maximální síly základního materiálu je označena “ZM“ v obrázku 18.



Obr. 19 Modul pružnosti v tahu E lepeného spoje u materiálu PA

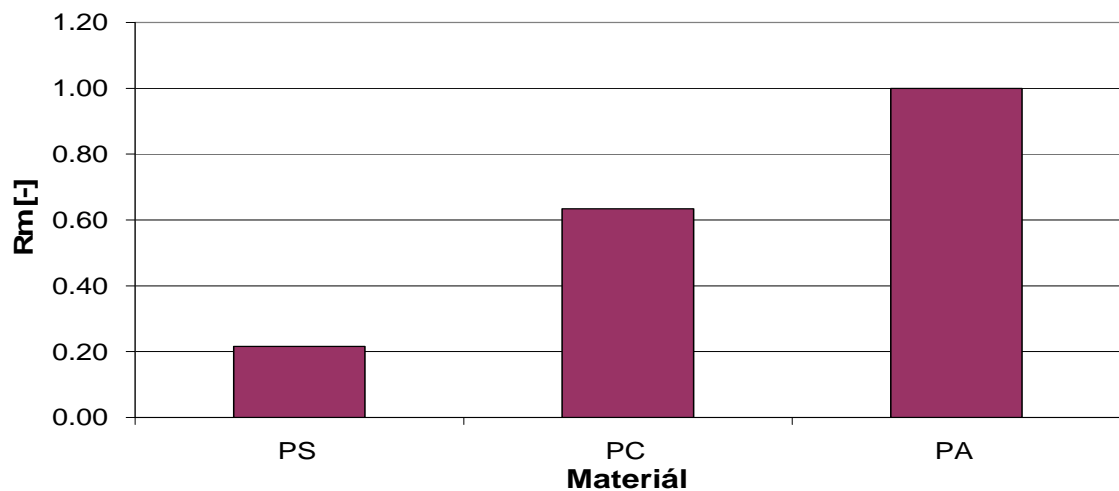
Nejvyšší hodnota modulu pružnosti v tahu při pevnostní zkoušce lepeného spoje u materiálu PA byla naměřena u sekundového lepidla (657,17 MPa). Nejmenší hodnota modulu pružnosti v tahu byla změřena u lepidla MA 422 (121,43 MPa), jak je patrné z obrázku 19. Hodnota modulu pružnosti v tahu základního materiálu je označena "ZM" v obrázku 19.

6 DISKUSE VÝSLEDKŮ

Bakalářská práce řeší problém pevnosti lepených spojů u vybraných typu polymerních materiálů (PS, PC, PA). Jako lepidla byla zvolena jak jednosložková (sekundové), tak dvousložková (MA 310 a MA 422 Plexus) typ lepidla. Zkušební tělesa byla připravena technologií vstřikováním na vstřikovací stroji Arburg v laboratořích Ústavu výrobního inženýrství. Počet lepených spojů určených pro zkoušku pevnosti na trhacím stroji Zwick 1456 byl 5 kusů pro každý typ materiálu a lepidla.

Z provedeného experimentu byl soubor naměřených hodnot zpracován a výsledky graficky znázorněny. Pro snadnější orientaci a rychlé porovnání naměřených hodnot, byly použity tzv. bezrozměrné hodnoty, vyjádřené jako poměr jednotlivých měření, k maximální hodnotě dosažené v průběhu příslušného měření.

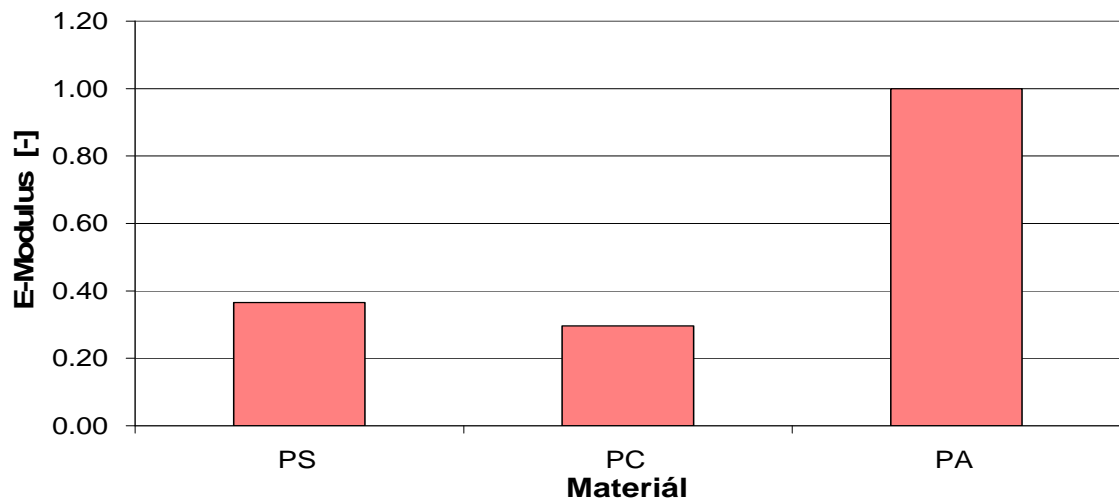
6.1.1 Použité typy polymerních materiálů (PS, PC, PA)



Obr. 20 Maximální pevnost použitých polymerů (PS, PC, PA)

Při porovnání pevnosti lepených spojů u vybraných typů polymerních materiálů (PS, PC, PA) bylo nutné porovnat pevnost použitých polymerů vzájemně mezi sebou. Poté bylo přistoupeno ke srovnání pevnosti základního materiálu s pevností lepených spojů, u kterých byly aplikovány tři druhy lepidel (sekundové, MA 310 a MA 422).

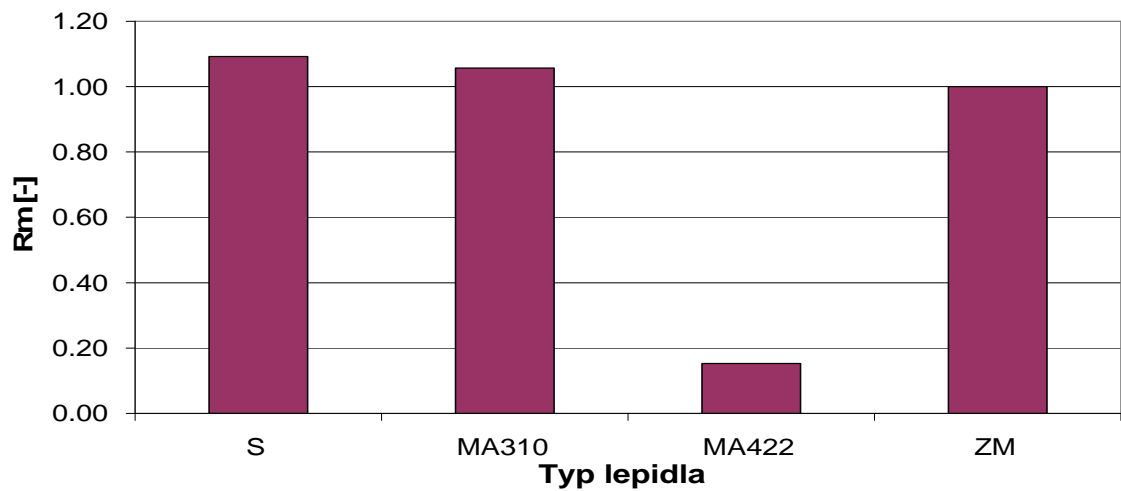
Porovnáním pevností použitých polymerů bylo zjištěno, že největší pevnost dosáhl polymer PA. Pokud se blíže podíváme na dva zbývající polymery zjistíme, že PC dosáhl 62% pevnosti PA a PS pouze 21% pevnosti jak je patrné z obrázku PA. Důvodem může být rozdílný typ polymerů a jejich vlastnosti. Zatímco polymery PS a PC jsou polymery amorfni, PA je polymerem krystalickým.



Obr. 21 Modul pružnosti v tahu - E použitých polymerů (PS, PC, PA)

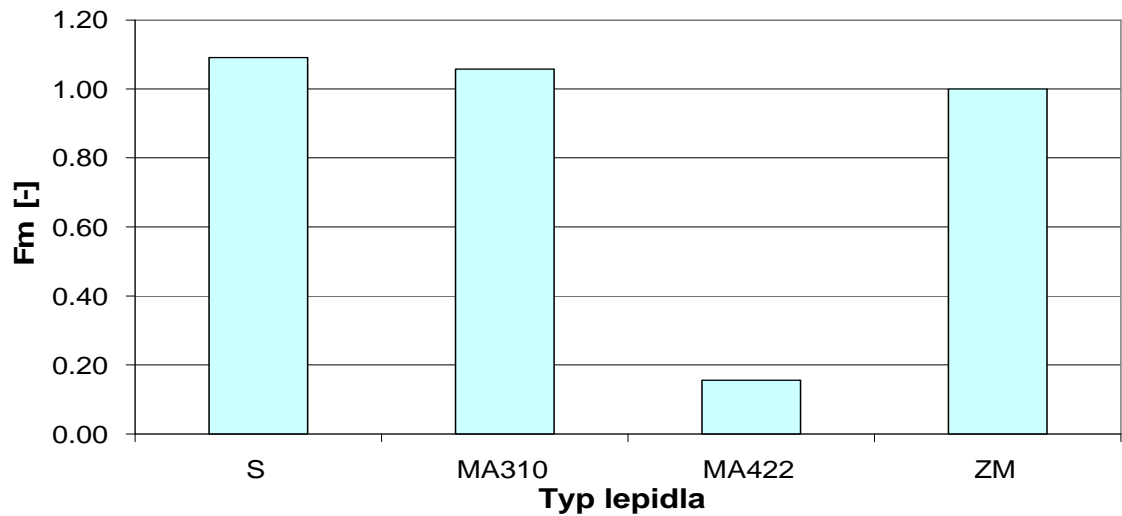
Při porovnání modulů použitých materiálů bylo zjištěno, že jako u maximální pevnosti v tahu dosáhl nejvyšších hodnot materiál PA. Na druhém místě se však umístil materiál PS, který dosáhl okolo 40% pevnosti PA. Nejmenší hodnotu modulů byly naměřeny u PC, kdy dosáhly hodnoty 35% PA, jak je patrné z obrázku 21.

6.1.2 Vyhodnocení materiálu PS



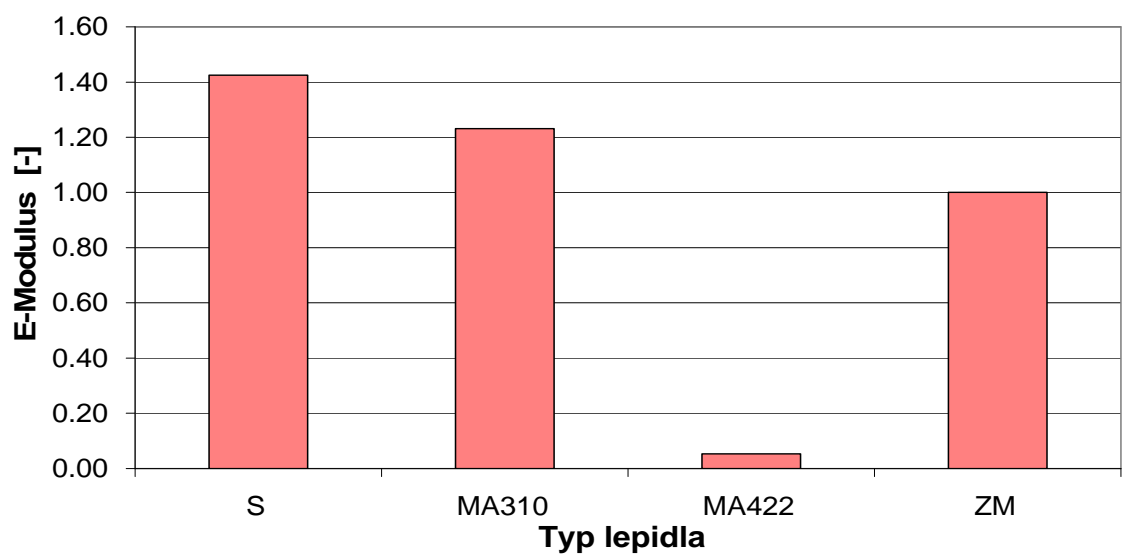
Obr. 22 Maximální pevnost lepených spojů u materiálu PS

Zkoušky lepených spojů u materiálu PS ukázaly, že nejvyšší pevnost lepeného spoje byla zjištěna u sekundového lepidla, jak je patrné z obrázku 22. Pevnost spoje realizovaného sekundovým lepidlem byla o 9% (1,19 MPa) vyšší, než je pevnost základního materiálu a porušení zkušebního tělesa bylo mimo lepený spoj. Jako druhé skončilo dvousložkové lepidlo MA 310, které dosáhlo o 6 % (1,15 MPa) větší pevnosti, než je pevnost základního materiálu. Porušení testovaného zkušebního tělesa bylo rovněž mimo lepený spoj. Nejhůře z použitých typů lepidel dosáhlo dvousložkové lepidlo MA 422, které dosáhlo pouze 15% (0,17 MPa) pevnosti základního materiálu.



Obr. 23 Maximální síla lepených spojů u materiálu PS

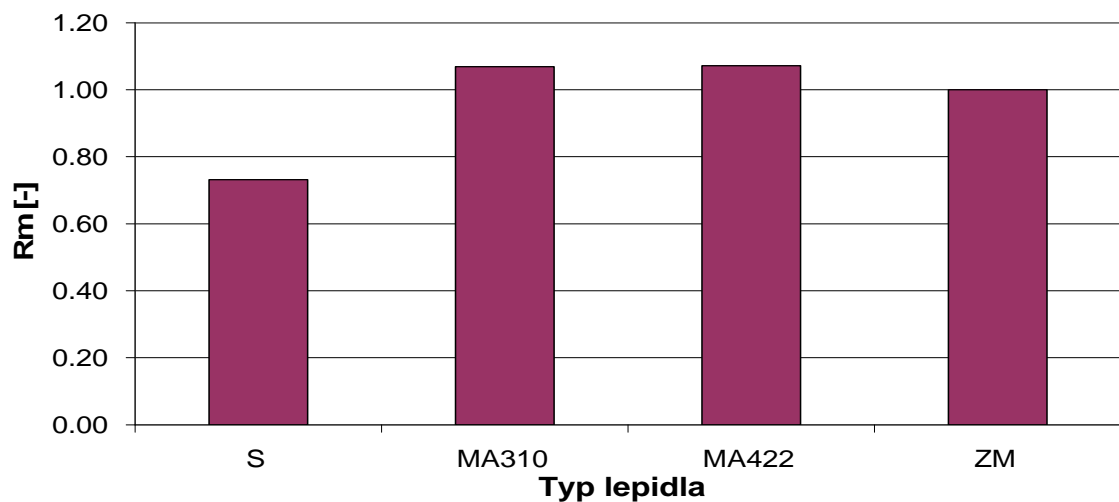
U maximální síly lepených spojů bylo zjištěno, že dosažené hodnoty korespondují s hodnotami maximální pevnosti. Nejvyšších hodnot dosáhlo jednosložkové - sekundové lepidlo (935,86 N), následované dvousložkovým – (906,55 N). Stejně jako u maximální pevnosti bylo dosaženo nejmenší síly lepeného spoje u lepidla MA 422 (133,46 N).



Obr. 24 Modul pružnosti v tahu – E u materiálu PS

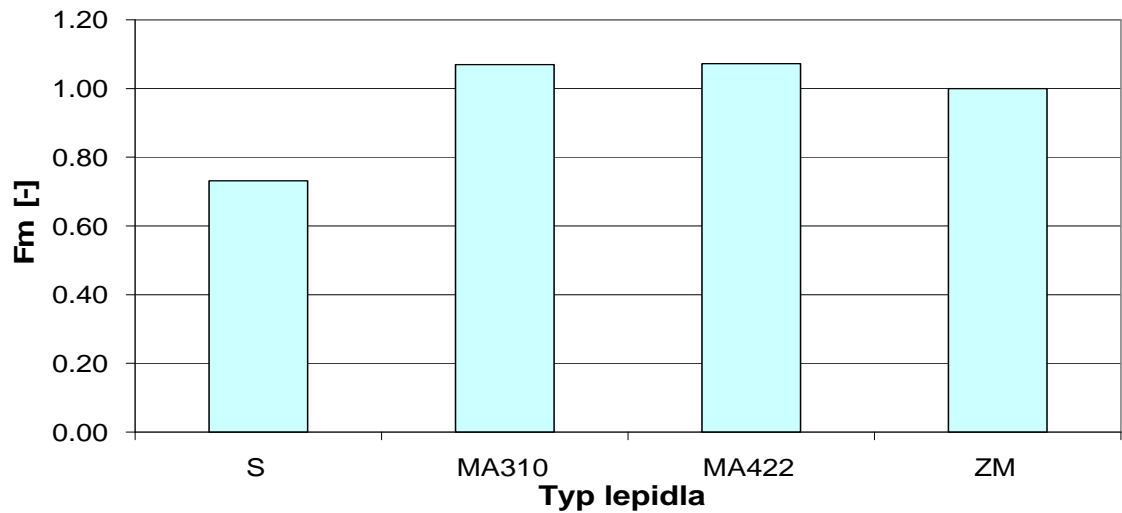
Moduly pružnosti v tahu ukázaly stejné výsledky co se týká použitých typů lepidel, jak je tomu u předchozích měřených veličin. Hodnoty modulů však byly výrazně vyšší a to tak, že sekundové lepidlo dosáhlo o 43 % (213,93 MPa) vyššího modulu než základní materiál. Lepidlo MA 310 dosáhlo o 23% (184,81 MPa) vyššího modulu, než základní materiál. U lepidla MA 422 bylo dosaženo velikosti modulu pružnosti v tahu pouze 5% (7,89MPa) modulu základního materiálu.

6.1.3 Vyhodnocení materiálu PC



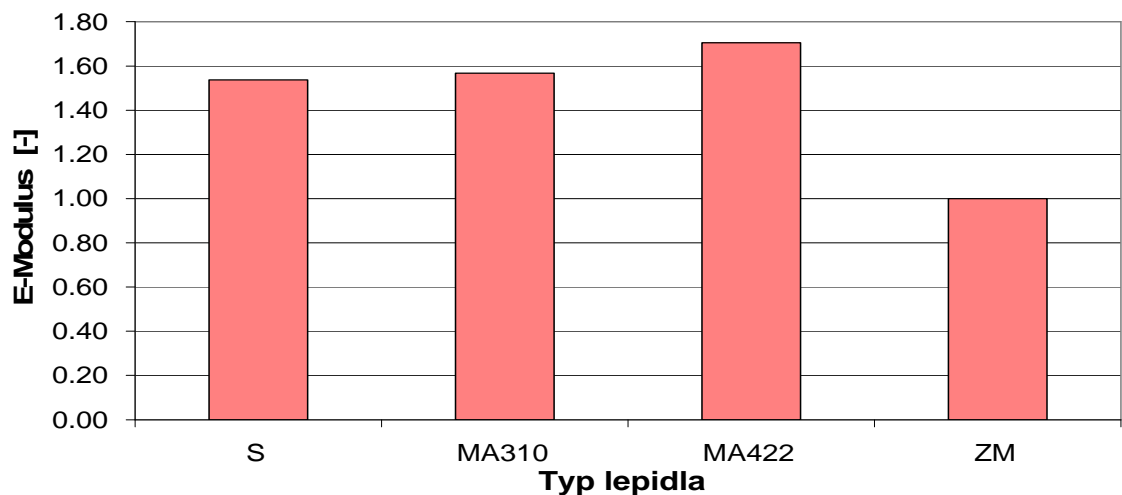
Obr. 25 Maximální pevnost lepených spojů u materiálu PC

Zkoušky lepených spojů u materiálu PC ukázaly, že nejvyšší pevnost lepeného spoje byla zjištěna u lepidla MA 422, jak je patrné z obrázku 25. Pevnost spoje realizovaného lepidlem MA 422 byla o 7% (3,43 MPa) vyšší, než je pevnost základního materiálu a porušení zkušební tělesa bylo mimo lepený spoj. Jako druhé skončilo dvousložkové lepidlo MA 310, které dosáhlo o 7 % (3,42 MPa) větší pevnosti, než je pevnost základního materiálu. Porušení testovaného zkušební tělesa bylo rovněž mimo lepený spoj. Nejhůře z použitých typů lepidel dosáhlo sekundové lepidlo, které dosáhlo 73% (2,34 MPa) pevnosti základního materiálu, jak je zobrazeno na obrázku 25.



Obr. 26 Maximální síla lepených spojů u materiálu PC

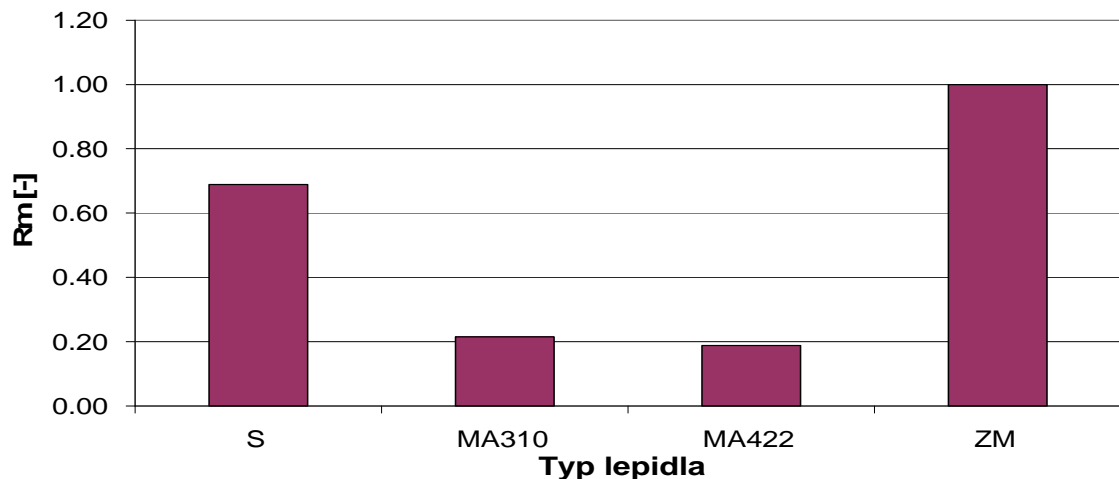
U maximální síly lepených spojů bylo zjištěno, že dosažené hodnoty korespondují s hodnotami maximální pevnosti. Nejvyšších hodnot dosáhlo lepidlo MA 422 (2703,73 N), následované dvousložkovým – MA 310 (2696,24 N). Stejně jako u maximální pevnosti bylo dosaženo nejmenší síly lepeného spoje u sekundového lepidla (1842,91 N), jak je ukázáno na obrázku 26.



Obr. 27 Modul pružnosti v tahu – E u materiálu PC

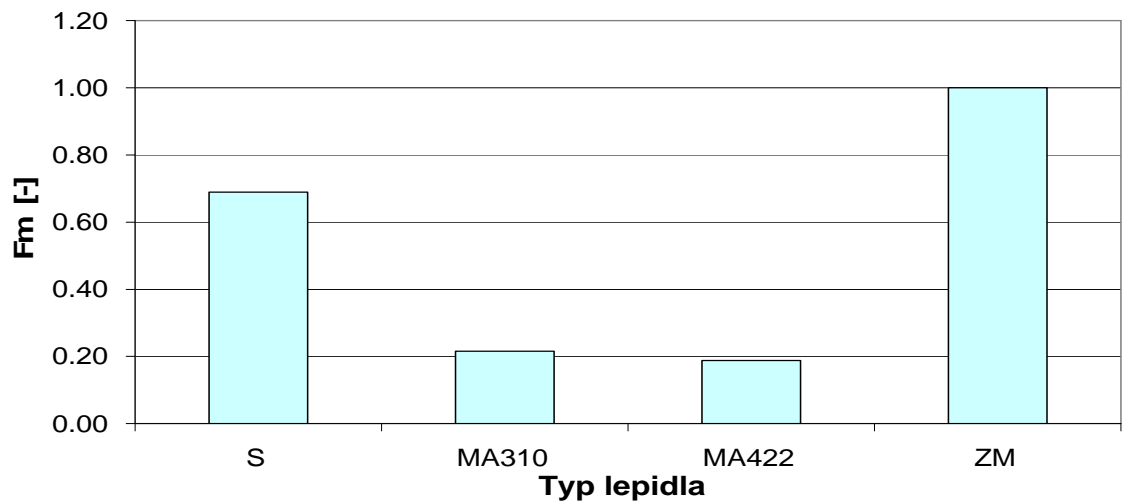
Moduly pružnosti v tahu u materiálu PC ukázaly stejné výsledky co se týká použitých typů lepidel, jak je tomu u předchozích měřených veličin. Hodnoty modulů však byly výrazně vyšší a to tak, že lepidlo MA 422 dosáhlo o 54 % (207,29 MPa) vyššího modulu než základní materiál (obr.27). Lepidlo MA 310 dosáhlo o 54% (190,63 MPa) vyššího modulu, než je modul základního materiálu. U sekundového lepidla bylo dosaženo velikosti modulu pružnosti v tahu o 54% vyšší (186,99 MPa), než modulu základního materiálu. Porovnání modulů je dobře vidět na obrázku 27.

6.1.4 Vyhodnocení materiálu PA



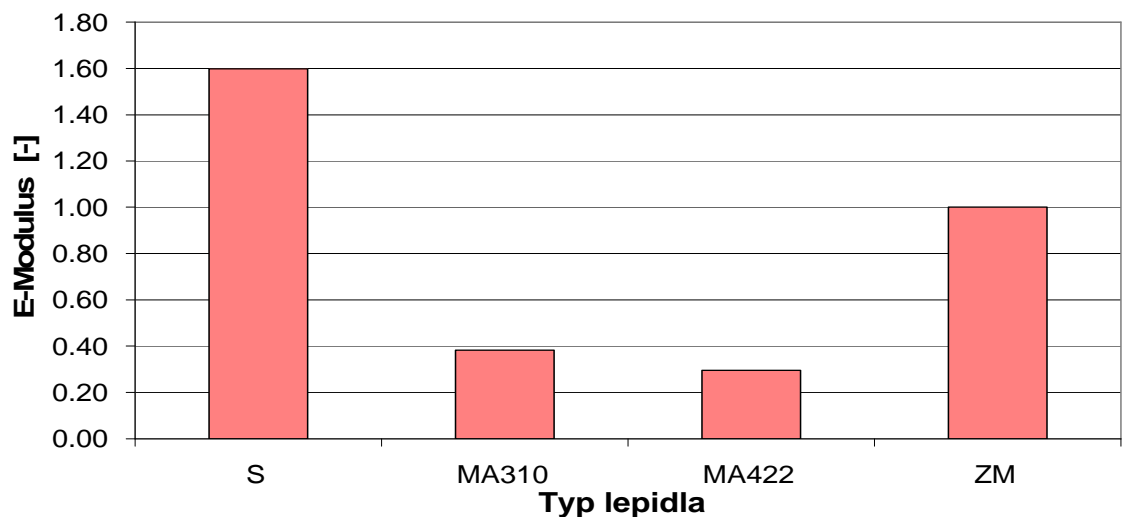
Obr. 28 Maximální pevnost lepených spojů u materiálu PA

Zkoušky lepených spojů u materiálu PA ukázaly, že nejvyšší pevnost lepeného spoje byla zjištěna u sekundového lepidla, jak je patrné z obrázku 28. Pevnost spoje realizovaného sekundovým lepidlem byla o 31% (3,47 MPa) menší, než je pevnost základního materiálu a porušení zkušební tělesa bylo ve spoji. Jako druhé skončilo dvousložkové lepidlo MA 310, které dosáhlo o 78 % (1,09 MPa) větší pevnosti, než je pevnost základního materiálu. Porušení testovaného zkušební tělesa bylo rovněž v lepeném spoji. Nejhůře z použitých typů lepidel dosáhlo dvousložkové lepidlo MA 422, které dosáhlo pouze 7% (0,95 MPa) pevnosti základního materiálu.



Obr. 29 Maximální síla lepených spojů u materiálu PA

U maximální síly lepených spojů bylo zjištěno, že dosažené hodnoty korespondují s hodnotami maximální pevnosti (obr.29) Nejvyšších hodnot dosáhlo jednosložkové - sekundové lepidlo (2740,35 N), následované dvousložkovým – (857,98 N). Stejně jako u maximální pevnosti bylo dosaženo nejmenší síly lepeného spoje u lepidla MA 422 (747,25 N).



Obr. 30 Modul pružnosti v tahu – E u materiálu PA

Moduly pružnosti v tahu ukázaly stejné výsledky co se týká použitých typů lepidel, jak je tomu u předchozích měřených veličin. Hodnoty modulů však byly výrazně vyšší a to tak, že sekundové lepidlo dosáhlo o 60 % (657,17 MPa) vyššího modulu než je modul základního materiálu. Lepidlo MA 310 dosáhlo 23% (157,41 MPa) velikosti modulu základního materiálu. U lepidla MA 422 bylo dosaženo velikosti modulu pružnosti v tahu pouze 30% (32,79 MPa) modulu základního materiálu. Porovnání modulů je vidět na obrázku 30.

ZÁVĚR

Bakalářská práce řeší problém pevnosti lepených spojů u vybraných typu polymerních materiálů (PS, PC, PA). Jako lepidla byla zvolena jak jednosložková (sekundové), tak dvousložková (MA 310 a MA 422 Plexus). Zkušební tělesa byla připravena technologií vstřikováním na vstřikovacím stroji Arburg v laboratořích Ústavu výrobního inženýrství. Zkouška pevnosti lepených spojů byla realizována na trhacím stroji Zwick 1456.

Z naměřených hodnot vyplývá, že nejvyšší pevnosti lepených spojů bylo dosaženo ve většině případů použitých polymerů u jednosložkového sekundového lepidla. Jako druhé se osvědčilo lepidlo dvousložkové MA 310 Plexus. Na třetím místě se umístilo lepidlo MA 422.

Pevnost použitých polymerních materiálů byla nejvyšší u materiálu PA. Druhá nejvyšší byla zjištěna u materiálu PC a nejmenší pevnost byla naměřena u PS.

Při pohledu na jednotlivé materiály bylo zjištěno, že u PS je nejvhodnější volbou sekundové lepidlo. Nejhorší variantou se jeví zvolení lepidla dvousložkového MA 422. Pro materiál PC se jeví jako nejlepší volba lepidla MA 422 a MA 310 (dosáhly téměř stejných výsledků). Nejhorší variantou je volba sekundového lepidla. U materiálu PA je situace podobná je u PS. Vhodnou volbou pro PA je lepidlo jednosložkové sekundové, špatnou volbou je dvousložkové MA 422 Plexus.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] OSTEN, Miloš. *Lepení plastických hmot*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1972. 149 s.
- [2] KOVAČIČ, Lubomír. *Lepenie kovov a plastov*. Bratislava: Alfa – vydavateľství technické a ekonomické literatury, 1980. 400 s.
- [3] OSTEN, Miloš. *Práce s lepidly a tmely*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1986. 288 s.
- [4] OSTEN, Miloš. *Práce s lepidly a tmely*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1975. 292 s.
- [5] GREGOR, Miroslav. [Http://www.gluetechology.eu/4852/lepeni-lepeni/](http://www.gluetechology.eu/4852/lepeni-lepeni/)[online]. 2010-07-27 [cit. 2010-08-17]. Lepidla a tmely. Dostupné z WWW: <<http://www.gluetechology.eu/4852/lepeni-lepenie/>>.
- [6] [Http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res_prace_s_lepidly/teorie.htm](http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res_prace_s_lepidly/teorie.htm) [online]. 2010-07-25 [cit. 2010-08-17]. Práce s lepidly. Dostupné z WWW: <http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res_prace_s_lepidly/teorie.htm>.
- [7] [Http://www.violinschool.eu/download/materialy/materialy.pdf](http://www.violinschool.eu/download/materialy/materialy.pdf) [online]. 2010-07-28 [cit. 2010-08-17]. Materiály 2 – Pomocné materiály. Dostupné z WWW: <<http://www.violinschool.eu/download/materialy/materialy.pdf>>.
- [8] [Http://www.mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-s-09_lepenespoje.pdf](http://www.mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-s-09_lepenespoje.pdf) [online]. 2010-07-28 [cit. 2010-08-17]. Dostupné z WWW: <http://www.mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-s-09_lepenespoje.pdf>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Adherend	Materiál, na který se nanáší adhezivum
Adheze	Přilnavost mezi povrchy
ČSN	Česká technická norma
E	Modul pružnosti
Fm	Maximální síla lepených spojů
ISO	International Standard Organisation
Koheze	Vnitřní soudržnost lepidla
Mw	Molární hmotnost
PA	Polyamid
PC	Polykarbonát
PS	Polystyren
Rm	Maximální pevnost lepených spojů
Tg	Teplota skelného přechodu

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Adheze</i>	12
<i>Obr. 2 Přehled konstrukčních možností plochých spojů</i>	19
<i>Obr. 3 Základní typy nerovností na lepených plochách</i>	31
<i>Obr. 4 Schéma trhacího zařízení</i>	38
<i>Obr. 5 Přípravky k lepení</i>	42
<i>Obr. 6 Vytačovací pistole</i>	42
<i>Obr. 7 Schéma principu funkce statického mixeru</i>	43
<i>Obr. 8 Statický mixer</i>	44
<i>Obr. 9 Náčrt dvojité přelátovaného spoje.</i>	44
<i>Obr. 10 Trhačka Zwick 1456</i>	46
<i>Obr. 11 Maximální pevnost v tahu lepeného spoje u materiálu PS</i>	49
<i>Obr. 12 Maximální síla lepeného spoje u materiálu PS</i>	49
<i>Obr. 13 Modul pružnosti v tahu E lepeného spoje u materiálu PS</i>	50
<i>Obr. 14 Maximální pevnost v tahu lepeného spoje u materiálu PC</i>	51
<i>Obr. 15 Maximální síla lepeného spoje u materiálu PC</i>	52
<i>Obr. 16 Modul pružnosti v tahu E lepeného spoje u materiálu PC</i>	53
<i>Obr. 17 Maximální pevnost v tahu lepeného spoje u materiálu PA</i>	54
<i>Obr. 18 Maximální síla lepeného spoje u materiálu PA</i>	55
<i>Obr. 19 Modul pružnosti v tahu E lepeného spoje u materiálu PA</i>	55
<i>Obr. 20 Maximální pevnost použitých polymerů (PS, PC, PA)</i>	57
<i>Obr. 21 Modul pružnosti v tahu - E použitých polymerů (PS, PC, PA)</i>	58
<i>Obr. 22 Maximální pevnost lepených spojů u materiálu PS</i>	59
<i>Obr. 23 Maximální síla lepených spojů u materiálu PS</i>	60
<i>Obr. 24 Modul pružnosti v tahu – E u materiálu PS</i>	60
<i>Obr. 25 Maximální pevnost lepených spojů u materiálu PC</i>	61
<i>Obr. 26 Maximální síla lepených spojů u materiálu PC</i>	62
<i>Obr. 27 Modul pružnosti v tahu – E u materiálu PC</i>	62
<i>Obr. 28 Maximální pevnost lepených spojů u materiálu PA</i>	63
<i>Obr. 29 Maximální síla lepených spojů u materiálu PA</i>	64
<i>Obr. 30 Modul pružnosti v tahu – E u materiálu PA</i>	64

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1</i> Výsledky tahové zkoušky u materiálu PS.....	48
<i>Tab. 2</i> Výsledky tahové zkoušky u materiálu PC.....	51
<i>Tab. 3</i> Výsledky tahové zkoušky u materiálu PA.....	54