

Vliv plazmové úpravy povrchu na pevnost lepeného spoje

Jaroslav Kotrla

Bakalářská práce
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jaroslav Kotrla**
Osobní číslo: **T130191**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Vliv plazmové úpravy povrchu na pevnost lepeného spoje**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracování literární rešerše na dané téma.
2. Výroba a příprava těles pro experiment.
3. Provedení experimentu.
4. Vyhodnocení naměřených výsledků.

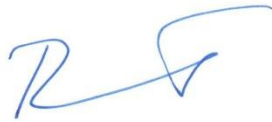
Rozsah bakalářské práce: cca 70 stran
Rozsah příloh:
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. BROCKMANN, Walter. Adhesive bonding: materials, applications and technology. Weinheim: Wiley-VCH, c2009, xviii, 414 s. ISBN 978-3-527-31898-8.
2. OSTEN, Miloš. Lepení plastických hmot. 2., opr. vyd. Praha: SNTL – Státní nakladatelství technické literatury, 1974, 150 s.
3. PETERKA, Jindřich. Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství. 1.vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980, 788 s.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Bednařík, Ph.D.
Ústav výrobního inženýrství
Datum zadání bakalářské práce: 8. ledna 2016
Termín odevzdání bakalářské práce: 20. května 2016

Ve Zlíně dne 8. února 2016



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

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 20.5.2016



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 nevydělečně 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 přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Bakalářská práce pojednává o vlastnostech spojení obtížně lepitelných materiálů. Teoretická část se zabývá vlastnostmi lepeného spoje a charakterizuje se zde pojem lepení plastů. Jsou zde popsány vlivy působící na pevnost spojení. Dále jsou uvedeny základní informace o lepidlech a stručná charakteristika lepených materiálů. V praktické části práce popisují použitá lepidla, lepené polymery, přípravu zkušebních těles, měření pevnosti lepených vzorků a vyhodnocení naměřených výsledků.

Klíčová slova: Adheze, lepený spoj, plazma, polyamid, polyacetal, pevnost.

ABSTRACT

This bachelor's thesis discusses the properties of difficult to bond materials. The theoretical part describes the properties of the bonding of polymers and characterizes the notion of bonding plastics. It describes the operating properties of the bonding strength. It follows basic information concerning adhesives, and bonded materials are described there. The practical part describes the use of adhesives, bonding of polymers, preparation of test specimens, measuring the strength of bonded samples and evaluation of test results.

Keywords: Adhesion, adhesive bonding, plasma, polyamide, polyacetal, strength.

Zde bych rád poděkoval panu Ing. Martinu Bednaříkovi, Ph.D. za vynaložený čas, vstřícný přístup, trpělivost a průvod problematikou lepených spojů při řešení tématu této bakalářské práce.

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

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 LEPENÍ PLASTŮ	13
1.1 OBEČNÁ TEORIE LEPENÍ.....	13
1.1.1 Molekulová (adsorpční) teorie adheze	13
1.1.2 Elektrostatická teorie adheze.....	14
1.1.3 Difúzní teorie adheze	14
1.1.4 Chemická teorie adheze	14
1.1.5 Reologická teorie adheze	14
1.2 FÁZE VZNIKU LEPENÉHO SPOJE A JEHO STRUKTURA	14
1.2.1 Kontaktní úhel smáčení.....	15
2 VLVY PŮSOBÍCÍ NA KVALITU SPOJE PŘI LEPENÍ	16
2.1 POVRCH ADHERENDU	16
2.1.1 Polarita	16
2.1.2 Krystalinita polymerů.....	16
2.1.3 Geometrie a struktura lepeného povrchu	16
2.1.4 Obsah plniv a změkčovadel	17
2.1.5 Délková roztažnost.....	18
2.1.6 Rozpustnost a botnavost.....	19
2.2 NAMÁHÁNÍ LEPENÉHO SPOJE.....	19
2.3 KONSTRUKCE LEPENÉHO SPOJE	20
2.4 VOLBA LEPIDLA	21
2.5 VLASTNOSTI LEPIDEL	21
2.5.1 Polymerační stupeň, viskozita.....	21
2.5.2 Zásaditost a kyselost lepidla.....	21
2.5.3 Homogenita lepidla	21
2.5.4 Objemová stálost filmu lepidla	22
2.5.5 Struktura a složení plniva.....	22
2.6 ROZDĚLENÍ LEPIDEL	22
3 VLASTNOSTI VYBRANÝCH POLYMERŮ	24
3.1 POLYAMID 66	24
3.2 POLYOXYMETYLEN	25
4 MOŽNOSTI OVLIVNĚNÍ PEVNOSTI LEPENÉHO SPOJE	26
4.1 CHEMICKÉ LEPTÁNÍ.....	26
4.2 OXIDACE PLAMENEM	26
4.3 OZÁŘENÍ PLAZMOU	26
4.4 ÚPRAVA KORÓNOVÝM VÝBOJEM.....	27
4.5 ÚPRAVA ULTRAZVUKEM	27
4.5.1 Úprava ultrazvukem před nanesení lepidla	27
4.5.2 Úprava ultrazvukem po nanesení lepidla	27
5 HODNOCENÍ KVALITY LEPENÉHO SPOJE	28

5.1	DESTRUKTIVNÍ METODY HODNOCENÍ PEVNOSTI	28
5.1.1	Pevnost lepeného spoje ve smyku dle ČSN EN 1465	28
5.1.2	Lámavost lepeného spoje dle ČSN 66 8511	29
5.1.3	Rázová pevnost lepeného spoje dle ČSN 66 8512.....	29
5.1.4	Únavová pevnost lepeného spoje dle ČSN 66 8513	29
5.1.5	Pevnost lepeného spoje v odlupování dle ČSN 66 8516.....	29
5.2	NEDESTRUKTIVNÍ METODY HODNOCENÍ	30
II	PRAKTICKÁ ČÁST	31
6	CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	32
7	POUŽITÉ MATERIÁLY	33
7.1	LEPIDLA	33
7.1.1	Surefix 4401	33
7.1.2	Primer Loctite 7239.....	34
7.1.3	Surefix Epoxy.....	34
7.1.4	Cyberbond E705.....	35
7.1.5	Parbond Partite 7300	35
7.1.6	Cyberbond A806	36
7.2	POUŽITÉ POLYMERY	36
7.2.1	Technyl® A 205F.....	36
7.2.2	Hostaform® C 27021	37
8	PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	38
8.1	POLOTOVARY ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	38
8.1.1	Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 470 H	38
8.2	ÚPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ PLAZMOU	40
8.3	KONSTRUKCE SPOJE ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	41
9	HLAVNÍ VÝSLEDKY PRÁCE	42
9.1	MĚŘENÍ KONTAKTNÍHO ÚHLU SMÁČENÍ	42
9.2	ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ PEVNOSTI LEPENÝCH SPOJŮ	43
9.3	TAHOVÉ ZKOUŠKY LEPENÝCH SPOJŮ PA66	44
9.3.1	Pevnost základního materiálu a nemodifikovaných lepených spojů PA66 pro různá lepidla.....	44
9.3.2	Pevnost lepených spojů PA66 za použití lepidla Surefix 4401.....	45
9.3.3	Pevnost lepených spojů PA66 za použití lepidla Surefix Epoxy	46
9.3.4	Pevnost lepených spojů PA66 za použití lepidla Cyberbond E705	47
9.3.5	Pevnost lepených spojů PA66 za použití lepidla Parbond Partite 7300.....	48
9.3.6	Pevnost lepených spojů PA66 za použití lepidla Cyberbond A806.....	49
9.4	TAHOVÉ ZKOUŠKY LEPENÝCH SPOJŮ POM.....	50
9.4.1	Pevnost základního materiálu a nemodifikovaných lepených spojů POM pro různá lepidla	50
9.4.2	Pevnost lepených spojů POM za použití lepidla Surefix 4401	52
9.4.3	Pevnost lepených spojů POM za použití lepidla Surefix Epoxy.....	53
9.4.4	Pevnost lepených spojů PA66 za použití lepidla Cyberbond E705	54
9.4.5	Pevnost lepených spojů PA66 za použití lepidla Parbond Partite 7300.....	55
9.4.6	Pevnost lepených spojů POM za použití lepidla Cyberbond A806	56

9.5	POROVNÁNÍ TAHOVÉ ZKOUŠKY LEPENÝCH SPOJŮ PA66 A POM.....	57
ZÁVĚR		59
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		60
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		62
SEZNAM OBRÁZKŮ		63
SEZNAM TABULEK		65
SEZNAM PŘÍLOH		66

ÚVOD

První lepidla byla vyrobena z přírodních pryskyřic rostlin a stromů. První prokázané použití lepidla právě z pryskyřic pochází z doby 4000 př. n. l. . Další významnější použití lepidel je datováno kolem roku 2000 př. n. l. . Zde je první písemná zmínka o použití a výrobě prvních živočišných lepidlech v umění. Během následujících 500 let se lepení začíná využívat ke spojování dřeva nejen v umění, ale i na stavbách v oblasti Mezopotámie a Egypta. V období prvních 500 let našeho letopočtu římská a řecká civilizace objevuje umění dýhování a intarzie, spočívající ve vrstvení dřevěných dýh. Postupem času byly vytvořeny nové druhy živočišných a rybích lepidel, lepidel na bázi vaječných bílků a dalších přírodních přísad jako krev, kůže, mléko, zrn různých plodin a včelí vosk. [6]

Kolem roku 1700 dochází k rozšíření použití lepidel a dochází ke zdokonalení a rychlým změnám v jejich výrobě. První komerční továrna na výrobu lepidel byla otevřena v Holandsku. Firma vyráběla kliš ze zvířecí kůže. Asi v roce 1750 byl vydán první patent na výrobu rybích lepidel v Británii, následovaly patenty na výrobu lepidel z kostí, škrobu a přírodního kaučuku. [6]

Během průmyslové revoluce počátkem 20. století dochází díky novým technickým objevům k využití nových materiálů. Objevují se první syntetizované materiály jako nitrocelulóza, aj. Éra plastů začala objevem bakelitu v roce 1910. Postupně bylo syntetizováno mnoho nových plastů a pryží. V posledních letech dochází k masovému nahrazování kovových materiálů materiály syntetickými a zdokonalování jejich zpracování. Vývoj moderních syntetických lepidel vyřešil řadu problémů souvisejících se zpracováním plastických hmot. Umožnil vrstvit (kaširovat) klasické materiály jako jsou dřevo, textil, kovy, beton a jiné látky s plastickými foliemi nebo lehčenými hmotami. Pomocí lepených spojů lze zhotovovat antikorozi obklady, trubní spoje, sendvičové konstrukce i velkoplošné panely v kombinaci s dekoračními lamináty a plechy laminovanými vrstvami plastických hmot. [1,6,12]

I. TEORETICKÁ ČÁST

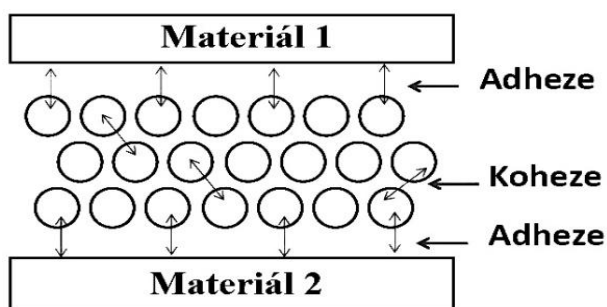
1 LEPENÍ PLASTŮ

Lepení plastů můžeme charakterizovat jako technologický proces, při kterém se vytváří nerozebíratelné spojení dvou stejných nebo odlišných plastových materiálů při použití vybraného adheziva (lepidla). [20]

1.1 Obecná teorie lepení

Základním předpokladem přilnavosti lepidla k podkladu (adheze), aby se mohly uplatnit adhezní síly, je dokonalý styk lepidla s povrchem lepené hmoty. Jedná se o smáčivost povrchu, což souvisí s různými dalšími faktory, jako například čistota povrchu, povrchové napětí roztoků a jejich viskozita, atd. V neposlední řadě závisí výsledná pevnost lepeného spoje na soudržnosti lepeného materiálu (kohezi).

Je prokázáno, že molekulárně rovné povrchy hmot se vyznačují značnou vzájemnou adhezí, a to i bez použití lepidla. Na rozdíl od původních McBainových předpokladů bude tedy hlavní podíl adheze v adhezi specifické a ne adhezi mechanické, podle které se předpokládalo zakotvení lepidla v pórech lepeného povrchu. V dnešní době je teorie adheze nejčastěji interpretována několika teoriemi, které se částečně mohou prolínat, ale každá se na lepení dívá z jiného pohledu. Je to teorie molekulová (adsorpční), elektrostatická, difúzní, chemická a reologická. [3]



Obr. 1. Adheze a koheze v lepeném spoji. [12]

1.1.1 Molekulová (adsorpční) teorie adheze

Základem této teorie adheze je vzájemné působení molekul adherendu a adheziva. Proto je zde zapotřebí, aby molekuly měly polární funkční skupiny schopné společné vazby. V tomto případě nejvýznamnější síly působící v lepeném spoji mezi molekulami jsou síly Van der Waalsovské, které působí na krátké mezimolekulární vzdálenosti. Čím více se zde

setká funkčních skupin, tím je vazba pevnější. Pro dobrou adhezi je zde zapotřebí vyššího tlaku a teploty, zároveň též dobrého smáčení lepeného povrchu s lepidlem. [1, 3]

1.1.2 Elektrostatická teorie adheze

Podle této teorie je adheze vyvolána dotykem dvou různých substancí, které vytvoří dvojitou vrstvu ve spoji. Spoj je v tomto případě kondenzátorem, jehož rozdílně nabitě povrchy se vzájemně přitahují. Pokud póly kondenzátoru oddělíme, vzniklý rozdíl potenciálů se musí vybit nebo vyzářit jako emise elektronů. [1, 3]

1.1.3 Difúzní teorie adheze

Pevnost lepeného spoje je zde vysvětlena pomocí vzájemné difuze polymerů napříč rozhraním spoje a je závislá na čase spojení adherendu a adheziva, teplotě lepení, relativní molekulové hmotnosti a vzájemném charakteru polymerů. [1, 3]

1.1.4 Chemická teorie adheze

Zde je zapotřebí, aby spojované materiály reagovaly vytvořením primárních chemických (kovalentních) vazeb napříč rozhraním adherendu a adheziva. Přestože tento druh vazby v lepeném spoji vzniká, všeobecně lepení probíhá v termodynamických podmínkách, které tento druh vazby běžně neumožňují. Pokud tato reakce ve spoji proběhne, není zaručen rozsah vazby a nelze jednoznačně potvrdit zvýšení pevnosti spoje. [1, 3]

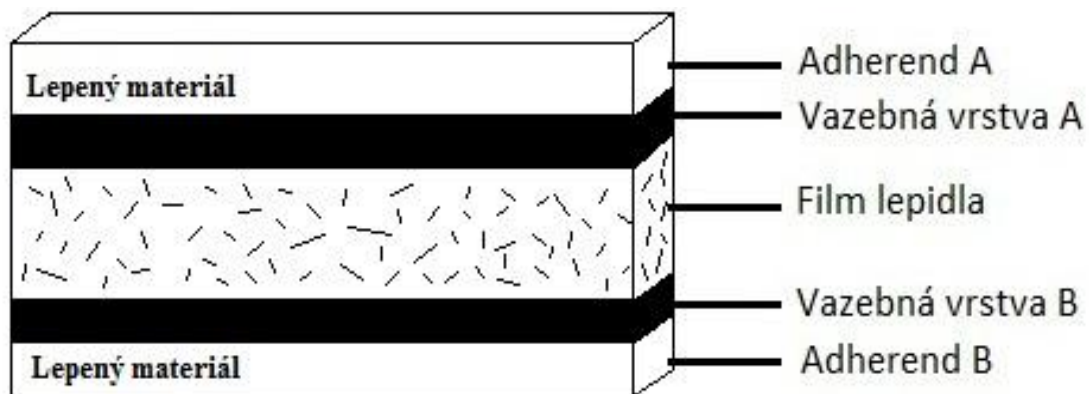
1.1.5 Reologická teorie adheze

Na rozhraní dvou materiálů je pevnost lepeného spoje daná fyzikálně-mechanickým a reologickými vlastnostmi lepených dílů. Zkoumáním lomů lepeného spoje se zjistilo, že porušení spojení má kohezivní charakter. Lom tedy probíhá v jednom nebo v druhém materiálu. Z toho vyplývá, že pevnost lepeného spoje nezávisí na Van der Waalsovských silách na rozhraní, ale bere v úvahu jevy tvořící vazbovou mezivrstvu. [1, 3]

1.2 Fáze vzniku lepeného spoje a jeho struktura

Každé konstrukčně pevné lepené spojení dvou materiálů lze charakterizovat jako soubor pěti na sobě závislých vrstev. Celkovou kvalitu spoje zde značně ovlivňuje míra adheze každé jednotlivé vrstvy k vrstvám sousedním a zároveň koheze jednotlivých vrstev navzájem. Pro dosažení tohoto modelu je zapotřebí, aby bylo splněno několik základních podmínek. V první řadě musíme zvolit lepidlo, u kterého lze předpokládat maximální specifickou

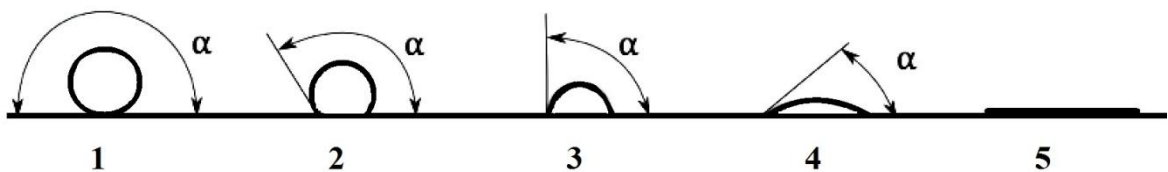
adhezi k lepenému materiálu. Další neméně důležitou podmínkou je dokonalá smáčivost lepeného povrchu zvoleným lepidlem. Pro kvalitní spojení je též zapotřebí, aby lepidlo po uzavření spoje proniklo do mikroskopických pórů povrchu s vytvořením aktivního filmu a došlo k rovnoměrnému vyplnění prostoru mezi lepenými materiály. Nakonec musí dojít k vytvrzení lepidla ve spáře. [3]



Obr. 2. Schéma struktury lepeného spoje. [1]

1.2.1 Kontaktní úhel smáčení

Při lepení plastů je důležité si uvědomit, že ne všechny druhy plastů jsou lepitelné. Pro určení lepitelnosti můžeme materiál hodnotit pomocí kontaktního úhlu smáčení. Prostřednictvím této vlastnosti specifikujeme smáčecí schopnost povrchů. [3]



Obr. 3. Smáčení povrchu kapalinami. [21]

1 – zcela nesmáčený povrch ($\alpha = \pi$); 2 – málo smáčený povrch ($\pi > \alpha > \pi/2$); 3 – nedostatečně smáčený povrch ($\alpha = \pi/2$); 4 – částečně smáčený povrch ($\pi/2 > \alpha > 0$); 5 – úplné smáčení povrchu ($\alpha = 0$)

2 VLIVY PŮSOBÍCÍ NA KVALITU SPOJE PŘI LEPENÍ

2.1 Povrch adherendu

2.1.1 Polarita

Nepolární materiály jako PE, PP, PTFE, vysokomolekulární PIB jsou obtížně lepitelné až nelepitelné bez speciální přípravy před lepením. Tento problém v praxi řešíme úpravou povrchu oxidací, čímž zvýšíme místní polaritu. Další možností, jak zlepšit lepitelnost, je přidání polárních plniv, polárních kopolymerů, změkčovadel a dalších přísad do lepidla.

Slabě až středě polární materiály jako PVC, PMMA, polyestery, celuloid, fenoplasty, aminoplasty, epoxidové hmoty jsou obvykle lepitelné polárními lepidly stejného nebo podobného složení jako lepený materiál.

Silně polární materiály, především polyamidy, hydratovaná celulóza a některé PUR hmoty se lepí obtížněji než hmoty slabě polární. [1]

2.1.2 Krystalinita polymerů

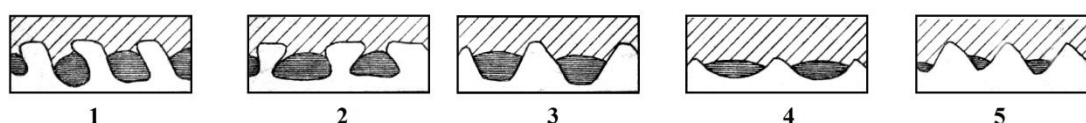
Krystalinita polymeru má nežádoucí vliv na lepitelnost materiálu. Se vzrůstajícím krystalickým podílem klesá lepitelnost polymeru. Amorfní polymery mají horší mechanické a fyzikální vlastnosti, avšak při lepení zde dosahujeme lepších výsledků, než u polymerů, které jsou schopny rovnoměrné stavby makromolekulárního řetězce, jako například PE, PP, PTFE nebo PA. Vliv krystalinity se projevuje zejména u termoplastických tavných lepidel. Při krystalizaci se zmenšuje objem polymerního lepidla, na rozhraní lepidlo-adherend dochází ke koncentraci napětí. Například taveninu PA lze ochladit na povrchu adherendu tak rychle, že téměř žádný krystalický podíl prakticky nevznikne. Časem však dochází i za relativně nízkých teplot ke krystalizaci PA, což adhezi snižuje. Jiné polymery, například PET, krystalizují teprve za teplot skelného přechodu. [7]

2.1.3 Geometrie a struktura lepeného povrchu

Každou styčnou plochu reprezentují tři základní druhy povrchu.

- geometrický povrch daný rozměry spoje
- mikropovrch jako teoretickou styčnou plochu
- účinný povrch skutečně smáčený lepidlem

Geometrický povrch zahrnuje délkové rozměry a tloušťkové tolerance lepené plochy, které charakterizují souběžnost spojovaných ploch a mají zásadní vliv na stejnoměrné rozvrstvení lepidla. Na účinný styk lepidla s povrchem má při určité viskozitě lepidla vliv tvar nerovností mikropovrchu. Vhodným zdrsněním na $1 - 6 \mu\text{m}$ dosáhneme kónické ploché nerovnosti, která se výborně smáčí lepidlem a dochází zde až k samovolné adhezi. Pro srovnání leštěný povrch má tvar miskovitých nerovností, které se špatně smáčí a jsou hůře lepitelné, především za normálních teplot a tlaků. Naopak příliš zdrsněný povrch má taktéž nevýhodnou strukturu, lepidlo jen obtížně proniká do prohlubní vyplněných plynem. V tomto případě mluvíme o nerovnosti válcové, kónické uzavřené a kónické otevřené. [1]



Obr. 4. Základní typy nerovností lepených ploch. [1]

1 – válcová nerovnost; 2 – kónická uzavřená nerovnost; 3 – kónická otevřená nerovnost; 4 – miskovitá nerovnost; 5 – kónická plochá nerovnost

Důležitým kritériem při lepení zůstává čistota lepeného povrchu. Plocha určená k lepení by měla být zbavena všech separačně působících látek, především mastnoty, korozních zplodin a adsorbovaných plynů. K odmaštění se používá rozpouštědel na bázi lihu a benzínu, nutné je dbát na to, aby použitý prostředek k odmaštění nedegradoval lepený povrch. Před lepením povrch můžeme též mořit různými chemickými látkami pro zlepšení vlastností. S úspěchem též lze k čištění materiálu před lepením použít ultrazvuk. [3]

2.1.4 Obsah plniv a změkčovadel

S výjimkou uhlíkových plniv ve formě tuhy a sazí je většina plniv přidávajících se do plastických hmot (celulóza, dřevěná moučka, skleněná vlákna apod.) polárního charakteru a adhezi k lepenému materiálu zvyšuje nebo alespoň zachovává.

Lehčené a měkčené plastické materiály s obsahem většího podílu nízkomolekulárních změkčovadel (fosfáty, ftaláty apod.) mohou být úspěšně lepeny pouze lepidly, která se s těmito přísadami nemísí. Použitelná jsou vulkanizovatelná kaučuková lepidla, lepidla tvrditelná a některé kopolymery. Jinak dochází k migraci změkčovadla a k následnému naleptání adheziva. Proto jsou v některých aplikacích měkčené materiály nahrazovány měkkými termoplastickými hmotami, například polyizobutylenem, apod. [1]

2.1.5 Délková roztažnost

Většina plastických hmot je silně ovlivňována teplotními rozdíly. Délková roztažnost plastů je 6 až 10 krát větší než u klasických materiálů, jako sklo, kovy, dřevo aj. (Tab. 1). V případě kombinovaných spojů je proto nutno brát ohled na tento rozdíl. Pokud je to možné, minimalizujeme vlivy délkové roztažnosti vhodným provedením spojení. [1]

Tab. 1. Součinitel délkové roztažnosti některých materiálů. [22]

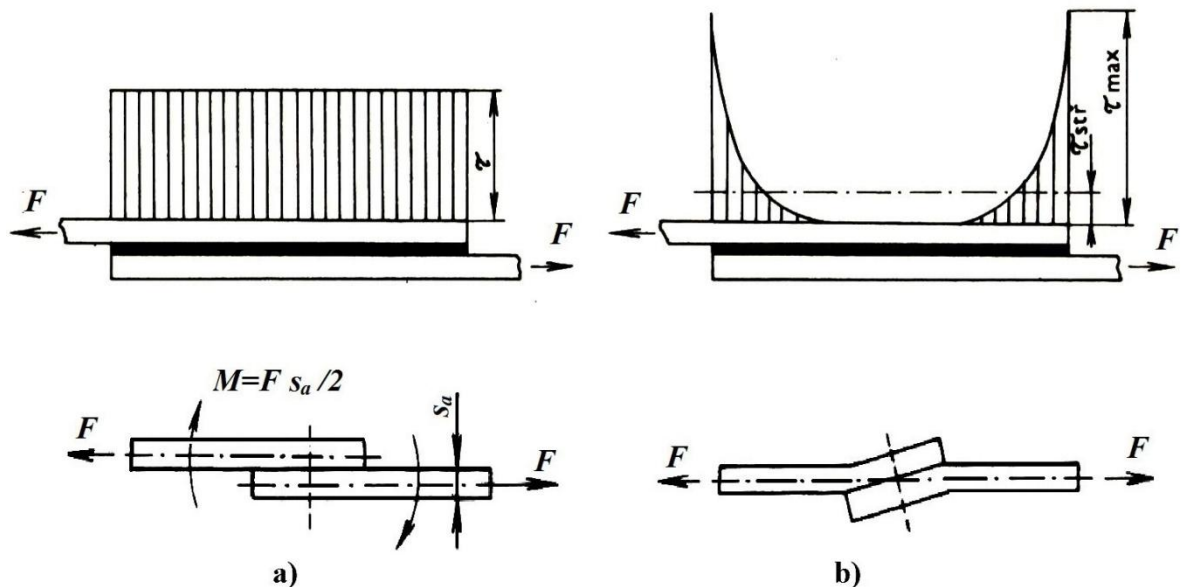
	Polymer	Zkratka	α [K ⁻¹]
TERMOPLASTY	Nízkohustotní polyetylen	PE-LD	$25 \cdot 10^{-5}$
	Vysokohustotní polyetylen	PE-HD	$20 \cdot 10^{-5}$
	Polypropylen	PP	$(15 \div 18) \cdot 10^{-5}$
	Polybutyltereftalát	PBT	$6 \cdot 10^{-5}$
	Akrylonitril-butadien-styren	ABS	$(6 \div 11) \cdot 10^{-5}$
	Pěnový polystyren	PS-GP	$(6 \div 8) \cdot 10^{-5}$
	Polyamid 66	PA-66	$(1 \div 8) \cdot 10^{-5}$
	Polyoxymetylen	POM	$(1 \div 10) \cdot 10^{-5}$
	Neměkčený polyvinylchlorid	PVC-U	$(7 \div 8) \cdot 10^{-5}$
	Měkčený polyvinylchlorid	PVC-P	$(15 \div 21) \cdot 10^{-5}$
	Polykarbonát	PC	$(6 \div 7) \cdot 10^{-5}$
	Polytetrafluoretylen	PTFE	$(10 \div 12) \cdot 10^{-5}$
	REAKTOPLASTY	Fenoplasty	
Aminoplasty			$(5 \div 6) \cdot 10^{-5}$
Epoxidové pryskyřice		EP	$(1 \div 4) \cdot 10^{-5}$
VULKANIZOVANÝ KAUČUK	Přírodní kaučuk	NR	
	Butadien-akrylonitrilový kaučuk	NBR	$(20 \div 40) \cdot 10^{-5}$
	Butadien-styrenový kaučuk	SBR	
	Chloroprenový kaučuk	CR	
	Etylen-propylenový kaučuk	EPM	
	Silikonové kaučuky	Q	$19 \cdot 10^{-5}$
	Sklo		$0,5 \cdot 10^{-5}$
	Ocel		$1,1 \cdot 10^{-5}$
	Měď		$1,65 \cdot 10^{-5}$

2.1.6 Rozpustnost a botnavost

Mnoho termoplastických polymerů se rozpouští nebo botná v organických rozpouštědlech, obsažených v roztokových lepidlech. Při lepení kompaktních tlustostěnných dílů této vlastnosti využíváme a v některých případech se aplikuje i čisté rozpouštědlo k lepení. Avšak při spojování folií je tento jev nežádoucí, neboť dochází k deformaci povrchu. [1, 3]

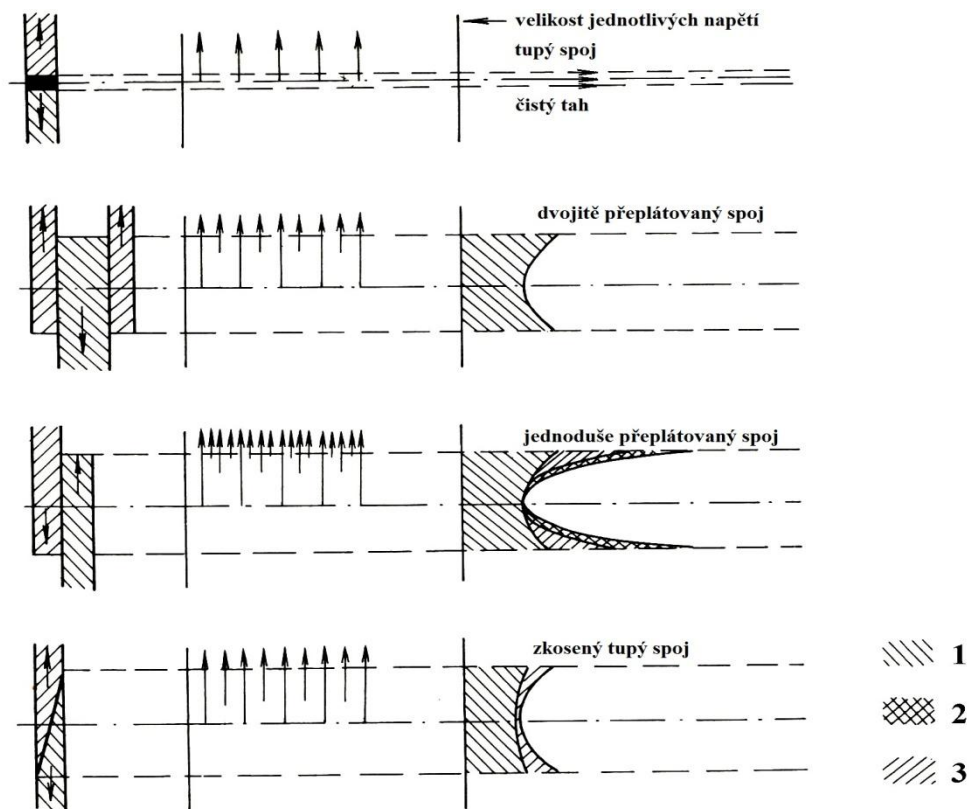
2.2 Namáhání lepeného spoje

Lepené spoje polymerních materiálů jsou namáhány při provozu silami různého charakteru a intenzity. Po konstrukční a funkční stránce daného dílu požadujeme, aby spojení odpovídalo charakteristikám vlastního materiálu. Je zapotřebí docílit takového provedení spoje, aby byl co nejméně namáhán na pevnost v odlupování. Asi největší pevnost lepený spoj vykazuje při namáhání smykem. Neméně důležitá je podobnost vlastností lepených materiálů, jelikož deformace při namáhání je nežádoucí. Je tedy rozdíl při řešení spojení materiálů tuhé povahy a materiálů elastických. Dále by neměly být slepované díly příliš rozdílné v tloušťce. Pokud jsou dodrženy všechny požadavky pro vhodné řešení lepeného spoje, vykazuje toto spojení velmi rovnoměrné rozložení napětí a dobrou pevnost. [1, 4]



Obr. 5. Průběh napětí a deformace jednoduše překlátovaného spoje. [9]

a – tuhý adherend; b – elastický adherend

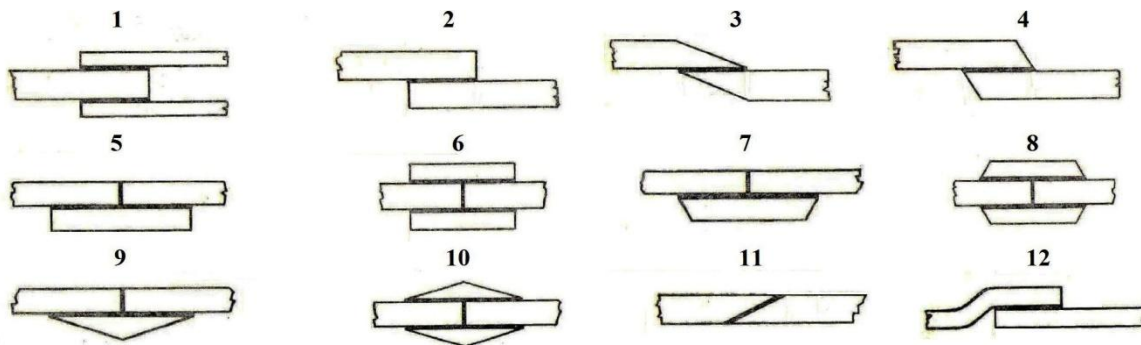


Obr. 6. Rozložení napětí ve vrstvě lepidla různého provedení spoje. [9]

1 – smykové napětí; 2 – tahové napětí; 3 – ohybové napětí

2.3 Konstrukce lepeného spoje

Lepené spoje se snažíme konstruovat tak, abychom docílili co nejmenšího nebezpečí odlupování. Přesto se zejména u plochých spojů nedá zcela vyloučit. Vždy musíme brát zřetel na zatížení lepeného dílu v provozu, při montáži a lícování. Další možností jsou technologická opatření, kdy upravujeme tuhost ve vhodném místě kolem spoje. [4, 9]



Obr. 7. Přehled konstrukčních možností lepených spojů. [9]

1, 2, 3, 4 – spoje přeplátované; 5, 6, 7, 8, 9, 10 – spoje čelní s příložkami; 11 – spoj tupý; 12 – spoj lemový

2.4 Volba lepidla

V dnešní době rozlišujeme velké množství lepidel, která vybíráme pro danou aplikaci podle mnoha kritérií, zde uvedu asi tři nejzákladnější. V první řadě vybíráme podle druhu lepeného materiálu, podle jeho chemických a fyzikálních vlastností. Dalším důležitým aspektem je znalost provozních podmínek daného lepeného spoje, v jakých vlivech prostředí se bude lepená součást nacházet. To znamená především teplotní, mechanické a chemické podmínky budoucího zatížení. V neposlední je důležitý způsob a možnosti provedení lepeného spoje, tedy technologické podmínky při lepení. [2, 3, 6]

2.5 Vlastnosti lepidel

Pro kvalitní výsledek lepení je podstatný i výběr vlastností vhodného lepidla podle vlastností filmu lepidla.

2.5.1 Polymerační stupeň, viskozita

S rostoucí délkou makromolekul lepidla roste viskozita roztoku, koheze nám zde nabývá vyšších hodnot, proti tomu ovšem klesají adhezní vlastnosti. Protikladem jsou lepidla s nižším stupněm polymerace, kde díky nižší viskozitě dochází k lepší difuzi v lepeném materiálu, ovšem koheze filmu lepidla klesá. Z toho vyplývá, že je zapotřebí zvolit určitý kompromis, abychom dosáhli potřebného výsledku spojení. [2]

2.5.2 Zásaditost a kyselost lepidla

Pro každou aplikaci musíme vzít v úvahu působení adheziva na adherend a naopak. Existuje množství lepidel, která potřebují pro reakci kyselý nebo zásaditý katalyzátor. Ne vždy tato vysoká či nízká hodnota pH je vhodná, neboť může dojít k poškození povrchu adherendu a následnému nepříznivému ovlivnění lepeného spoje. Proto tyto „korozivní“ účinky je nutno brát vždy v úvahu. [2]

2.5.3 Homogenita lepidla

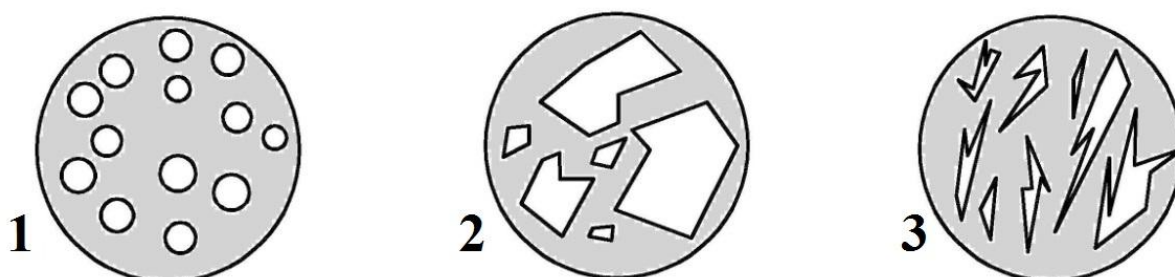
Homogenita adheziva je důležitým předpokladem pro použití lepicích směsí. Zde věnujeme hlavní pozornost lepidlům obsahujícím nerozpustné přísady, kde je nutné důkladné promíchání a případná příznivá orientace částic plniva. Problém se vyskytuje u plněných směsí, kde je rozdílná objemová hmotnost. Ovšem i neplněné roztoky a disperze mohou být nehomogenní vlivem nesprávného skladování nebo prošlou dobou použitelnosti. [2]

2.5.4 Objemová stálost filmu lepidla

Při vytvrzování lepidel obvykle dochází k přeměně tekutého lepidla na tuhý film. Při tomto procesu dochází k objemovým změnám vlivem odpařování rozpouštědel a katalyzátorů. Čím více obsahuje lepidlo plniv a aktivních složek, tím menší objemové změny nastávají. Za aktivní složky považujeme vše účastnící se reakce při vytvrzování. Nejmenších hodnot smrštění dosahují lepidla tavná a bezrozpouštědlová reaktivní lepidla. [2]

2.5.5 Struktura a složení plniva

Na dosažení potřebných mechanických, chemických nebo fyzikálních vlastností se podstatnou měrou podílejí také obsažená plniva. Zde se snažíme docílit vhodné struktury, orientace, složení i rozmístění. Minerální a kovová plniva zlepšují odolnost spoje vůči vodě, organická plniva mají účinek opačný. Homogenní velikost částic a zaoblený tvar plniva dobře rozvádí vnitřní pnutí v lepidle. Plniva ostrohranná zase zlepšují tepelné a elektrické vlastnosti adheziva. A například jehlicová struktura kovového plniva dodává lepidlu dobrou elektrickou vodivost. [2]



Obr. 8. Typy plniv. [2]

1 – plnivo bez ostrých hran s podobnou velikostí částic; 2, 3 – plniva ostrohranná

2.6 Rozdělení lepidel

Dělení lepidel je poměrně obsáhlý a složitý problém, který lze řešit z mnoha pohledů, jelikož v dnešní době je velmi široký sortiment adheziv. Pro přiblížení uvedu rozdělení podle způsobu vytváření lepeného spoje.

- roztoková nebo disperzní lepidla – tuhnou vsáknutím nebo odpařením rozpouštědel
- lepidla citlivá na tlak – například lepicí pásky, kde spoj vzniká přitlačením
- tavná lepidla – spoj vzniká ztuhnutím taveniny
- reaktivní lepidla – spoj vzniká chemickou reakcí

Přehled některých lepidel ze skupiny reaktivní včetně základní charakteristiky můžeme porovnat v tabulce (Tab. 2). [9]

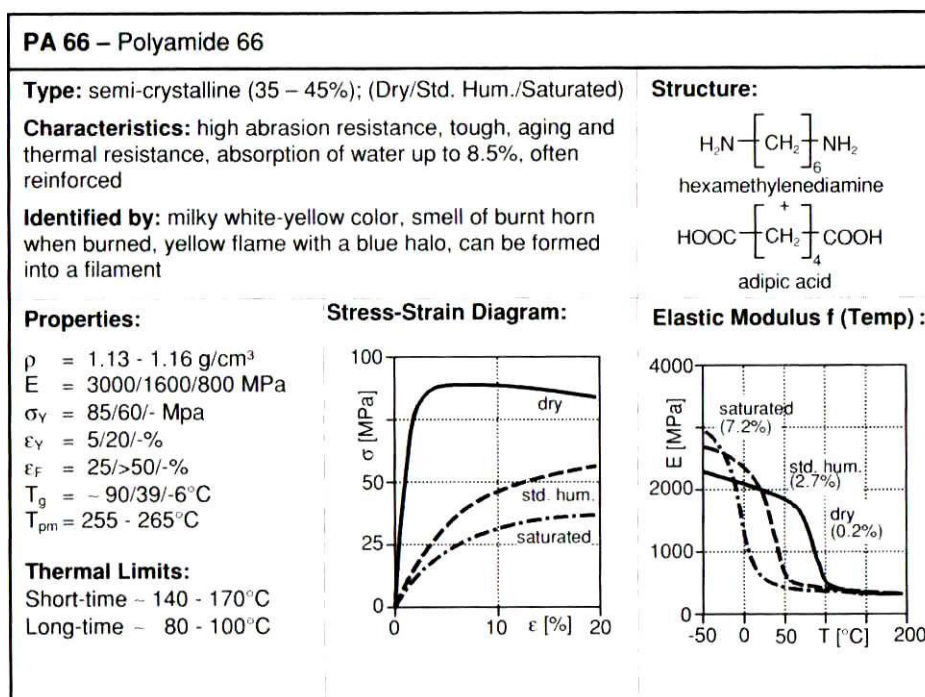
Tab. 2. Přehled a charakteristika reaktivních lepidel. [19]

Reaktivní lepidla					
Druh lepidla	Princip vytvrzování	Použitelnost pro materiály	Oblast použití	Výhody	Nevýhody
Epoxidy	Chemická reakce pryskyřice a tužidla	Dřevo, kovy, keramika, sklo, kůže, termosety	Průmyslové lepení a konstrukční lepení dřeva	Velmi vysoká pevnost ve smyku, teplotní a chemická odolnost	Slabá pevnost v odlupování z hladkých ploch, nelepí termoplasty, dlouhá doba tuhnutí, cena
Polyuretany dvousložkové	Chemická reakce pryskyřice a tužidla	Dřevo, kovy, kůže, některé termosety, sklo	Strojírenství, lepení plastů a fólií, speciální aplikace, Izolační materiály, průmyslové využití	Vysoká pevnost ve smyku i v odlupování, teplotní a chemická odolnost, lepí obtížně lepitelné materiály	Zdraví škodlivé (isokyanáty), vysoká cena, náchylnost na znehodnocení tužidla vlhkostí
Polyuretany jednosložkové	Vulkanizace vlivem vzdušné a povrchové vlhkosti	Dřevo, kovy, kůže, některé termoplasty, sklo	Strojírenství, lepení plastů a fólií, speciální aplikace, Izolační materiály, průmyslové využití	Vysoká pevnost ve smyku i v odlupování, teplotní a chemická odolnost, lepí obtížně lepitelné materiály	Zdraví škodlivé (isokyanáty), vysoká cena, náchylnost na znehodnocení lepidla vlhkostí
Silikony	Vulkanizace vlivem vzdušné a povrchové vzdušnosti	Spiše pro tmelící a těsnící aplikace	Sanitární technika, stavebnictví a strojírenství	Pružnost spojení a vysoká odolnost vodě	Pomalé tuhnutí, nízká pevnost spoje
Fenolformaldehydy	Sítování vlivem působení silně kyselého katalyzátoru a odpaření vody	Velmi pevné lepení dřeva odolávající vodě a termosetů	Konstrukční lepení dřeva	Vysoká pevnost spoje	Krátká doba zpracovatelnosti, hnědé zbarvení, toxicita, vysoká cena
Močovinoformaldehydy	Sítování vlivem působení slabě kyselého katalyzátoru	Tvrdé lepení dřeva	Překližky, dřevotřísky a dýchování dřeva	Nízká cena	Špatná odolnost proti vodě, krátká doba zpracovatelnosti, toxicita
Melaminformaldehydy	Sítování vlivem působení silně kyselého katalyzátoru a odpaření vody	Tvrdé lepení dřeva odolávající vodě a povrchové lepení dřeva a laminátů	Výroba laminátů, konstrukční lepení dřeva	Vysoká pevnost a voděodolnost, bílý spoj	Vysoká cena, poměrně křehký spoj
Kyanoakryláty	Vulkanizace vlivem vzdušné a povrchové vlhkosti	Okamžité lepení kovů, plastů, pryže, dřeva aj.	Strojírenství, průmyslové lepení, domácí použití	Rychlá fixace	Křehký spoj, nízká tepelná odolnost
2-komponentní metakrylátová	Chemická reakce pryskyřice a tužidla	Konstrukční lepení většiny materiálů	Strojírenství a průmyslové aplikace	Vysoká pevnost, tepelná a chemická odolnost spoje, obrobitelnost, výplň i větší spáru	Vysoká cena, krátká doba zpracovatelnosti

3 VLASTNOSTI VYBRANÝCH POLYMERŮ

3.1 Polyamid 66

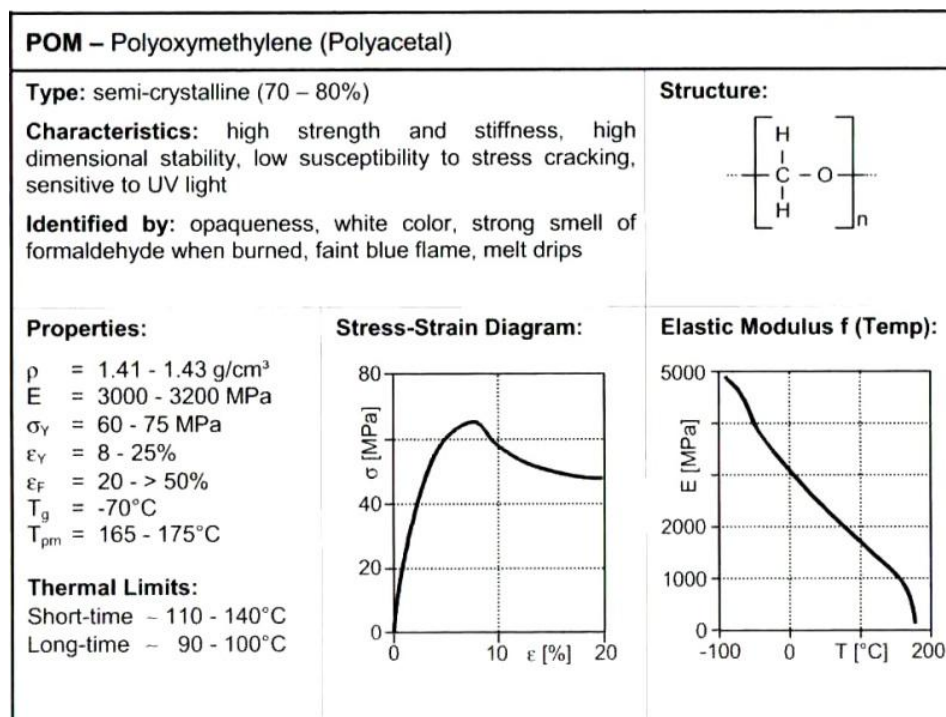
Jedná se o lineární polymery, které obsahují amidové skupiny ve své vnitřní struktuře. Nejčastěji používané polyamidy mají strukturu řetězce alifatickou, můžeme se setkat i s materiály obsahující aromatické skupiny v řetězci. Jedná se o polymer relativně polárního charakteru, nemá tedy sklon k tvorbě elektrostatického náboje. Zároveň se materiál díky své polaritě dobře snáší s množstvím plniv, jako křída, talek, skleněná vlákna a další. Výsledné vlastnosti jsou odvozeny od vlastností monomeru, ze kterého byl polyamid vyráběn. Obvyklý podíl krystalinity se pohybuje v rozmezí 30 až 50 %, materiál je tedy neprůhledný. Materiál má výborné mechanické vlastnosti jako houževnatost, tvrdost, odolává proti oděru a je i výborný elektroizolant. Od toho se odvozuje jeho použití v technické praxi pro plastové výrobky a vlákna. Konkrétní mechanické vlastnosti ovlivňuje typ materiálu, molekulová hmotnost a obsah vody ve struktuře. Největší využití nachází se skoro čtvrtinovým podílem na výrobě chemických vláken. Dále se zpracovává převážně vstřikováním, ale lze i vytlačovat, lít či zpracovávat ostatními postupy. Vstřikují se hlavně výrobky určené pro elektrotechnický průmysl, strojírenství a stavebnictví. Vytlačované výrobky nachází uplatnění v podobě folií jako obaly potravin, jelikož polyamid dobře brání přístupu kyslíku. [4, 5]



Obr. 9. Vybrané vlastnosti polyamidu 66. [4]

3.2 Polyoxymetylen

Termoplastický polymer na bázi formaldehydu nazývaný též polyacetal. V technicky upotřebitelné formě je nutno pro výrobu použít velmi čistý monomer bez polárních nečistot, abychom dosáhli dobrých mechanických vlastností. Využívá se ve dvou základních formách, jako homopolymer s vyšším podílem krystalinity a jako kopolymer. Ve formě kopolymeru má materiál o málo nižší mechanické vlastnosti, ovšem daleko lepší chemickou odolnost, hlavně vůči silným alkáliím. Dobře odolává též dlouhodobému působení tepelného záření. Kopolymer je též lépe zpracovatelný. Materiál se vyznačuje vysokou odolností proti opotřebení, vysokou tuhostí, rázovou houževnatostí, pružností a velmi nízkou nasákavostí vody. Své mechanické vlastnosti materiál udrží až do $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Díly vyrobené z polyacetalu jsou rozměrově stálé a dají se dále dobře obrábět. Díky svým dobrým vlastnostem se POM využívá k výrobě ozubených kol, řetězů, šroubů, pružin, kluzných elementů a rukojetí či obalů elektrických ručních zařízení. Je vhodný také pro 3D tisk strojních součástí. [4, 5]



Obr. 10. Vybrané vlastnosti polyoxymetyleny. [4]

4 MOŽNOSTI OVLIVNĚNÍ PEVNOSTI LEPENÉHO SPOJE

Ke zlepšení adhezních vlastností a dosažení lepších mechanických vlastností lepeného spoje můžeme před lepením použít spoustu přípravných operací. Pro lepení plastů bych zmínil dnes nejběžnější způsoby úpravy povrchu, které jsou zvláště důležité pro některé jinak obtížně lepitelné materiály.

4.1 Chemické leptání

Hojně využívaný způsob úpravy povrchu hlavně pro poměrně nízké finanční náklady. Jedná se o chemické působení látky na povrch lepeného materiálu, může jít o roztok určité kyseliny nebo zásady podle druhu lepeného materiálu ve formě lázně, nebo speciální přípravek pro aplikaci přímo na povrch před lepením. Lázně se používají někdy i za zvýšené teploty, speciální přípravky obvykle za pokojové teploty. [3]

4.2 Oxidace plamenem

Při povrchovém oxidačním působení je obvykle využíváno kyslíkoacetylenového plamene bohatého na kyslík, propanového nebo jiného uhlovodíkového plamene. Na výslednou míru oxidace má vliv rychlost pohybu materiálu v plameni i jeho intenzita. Tento způsob oxidace využíváme převážně u polymerů ze skupiny polyolefinů. [3]

4.3 Ozáření plazmou

Plazmová úprava představuje ekologický způsob pro aktivaci povrchu materiálů, využívá se před tiskem, lepením, lakováním, povlakováním a v mnoha dalších aplikacích. V některé literatuře je plazma nazývána jako čtvrté skupenství hmoty. Doutnavý výboj, jak je plazma někdy označována, je ionizovaný, kvazineutrální plyn, který je však silně vodivý. Tento plyn vzniká vypuzením elektronu z elektronového obalu atomu plynné atmosféry. Dochází zde k ionizaci molekul srážkami a působením dodané energie. Při působené elektrické energie dochází ke srážkám záporných a neutrálních částic. [3, 18]

Mezi hlavní výhody této úpravy materiálů je nenákladný a ekologický provoz, jelikož není potřeba technických plynů ani speciálních chemikálií, jako při některých chemických úpravách. Další nesporné pozitivum je možnost použití vodou ředitelných lepidel, laků či barev na upravený povrch. V neposlední řadě je tato metoda poměrně dobře zařaditelná do sestav automatizovaných linek. I přes vysoké pořizovací náklady lze pomocí plazmového

ozáření dosáhnout dobré ekonomiky výrobního procesu s ohledem na ekologii, na kterou je v dnešní době tolik poukazováno. [18]

4.4 Úprava korónovým výbojem

Úpravu povrchu materiálu korónovým výbojem vynalezl v roce 1951 inženýr Verner Eisby pocházející z Dánska. Při hledání způsobu, jak dosáhnout stabilního potisku některých plastů vzal v úvahu tehdy známé technologie. Zkombinoval metodu plynového plamene a metodu tvorby jisker, které byly velmi obtížně říditelné. Teorie vysokofrekvenčního korónového výboje se osvědčila, Eisby tak našel velmi efektivní a dobře kontrolovatelnou povrchovou úpravu. Jedná se ve své podstatě o nestabilní plazma za atmosférického tlaku. Mezi elektrodou a materiálem dochází k vysokofrekvenčnímu výboji napětí, vyvíjí se plazma a dochází k povrchové aktivaci materiálu. Při tomto procesu se tvoří nové sloučeniny na povrchu, na který pak velmi dobře můžeme lepit, potiskovat, lakovat, či jinak upravovat. Na úpravu povrchu touto metodou by měl proces lepení navazovat v co nejkratším čase. [3, 7]

4.5 Úprava ultrazvukem

4.5.1 Úprava ultrazvukem před nanesení lepidla

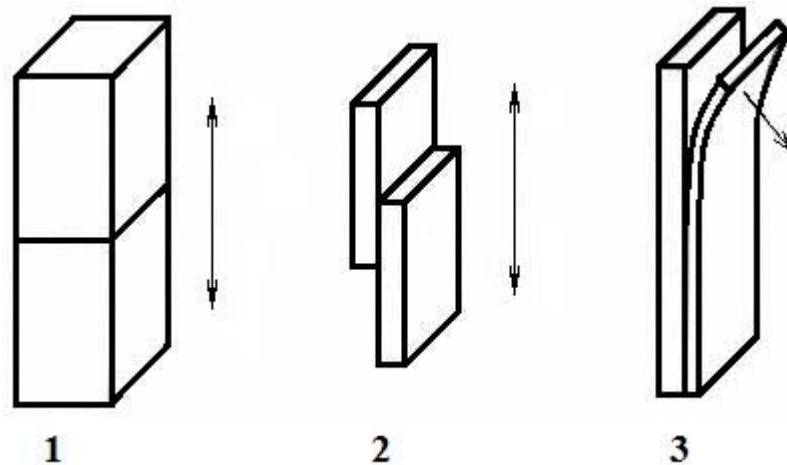
Působením ultrazvuku na lepenou plochu před nanášením lepidla předpokládáme odstranění adsorbentů, nečistot a vody z povrchové vrstvy materiálu. Zároveň dojde k uvolnění aktivních center. Dále ultrazvuk využíváme při odmašťování lepených materiálů v lázni rozpouštědla a alkalických či kyselých roztocích. V tomto případě dochází k velmi kvalitnímu vyčištění upravovaných ploch. [6]

4.5.2 Úprava ultrazvukem po nanesení lepidla

Tato úprava lepeného spoje předpokládá zvýšený průnik lepidla do povrchových nerovností. Jedná se o určitý způsob mechanického zakotvení. I zde však dojde k posunu a uvolnění nečistot, příměsí i vody v povrchové vrstvě lepeného materiálu. Parametry ultrazvuku závisí na podmínkách lepení, výkon zdroje se pohybuje od 200 W až do 10kW. Frekvence zdroje může být od 20kHz do 5MHz. [6]

5 HODNOCENÍ KVALITY LEPENÉHO SPOJE

K hodnocení mechanických vlastností lepeného spoje existuje mnoho způsobů, i v dnešní době stále hojně používané mechanické zkoušky s destrukcí zkoušeného vzorku. I přes pokrok technologií se jedná o neobjektivnější způsob posouzení mechanických charakteristik spoje. [3]



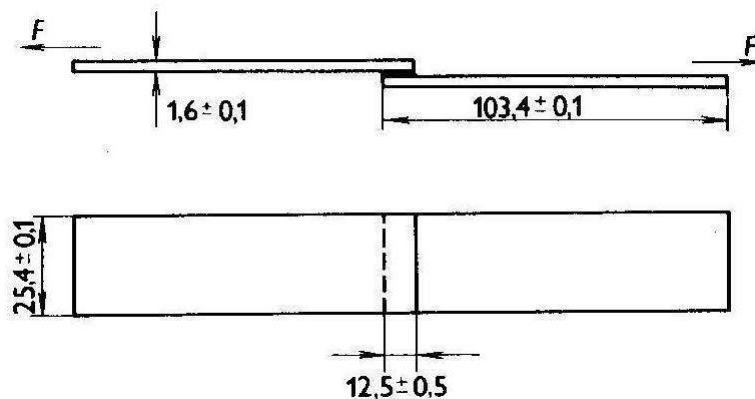
Obr. 11. Namáhání lepeného spoje. [9]

1 – namáhání v tahu; 2 – namáhání ve smyku; 3 – namáhání v odlupování

5.1 Destruktivní metody hodnocení pevnosti

5.1.1 Pevnost lepeného spoje ve smyku dle ČSN EN 1465

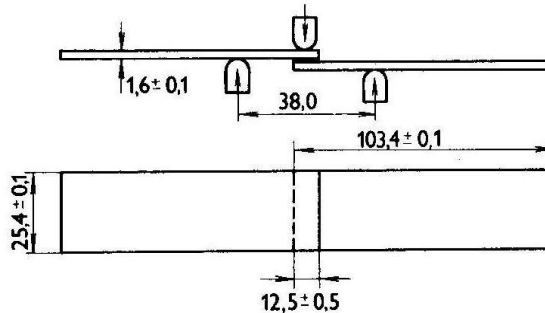
Zkušební spoj zatěžujeme statickým tahem ve směru podélné osy až do porušení. Vzorek je namáhán ve smyku. Podmínky namáhání a rozměry vzorku jsou dány normou. [9]



Obr. 12. Zkouška ve smyku dle ČSN EN 1465. [9]

5.1.2 Lámavost lepeného spoje dle ČSN 66 8511

Namáhání zkušebního spoje na zlomení statickým ohybem. Podmínky namáhání a rozměry vzorku jsou dány normou. Tento způsob zkoušky je vhodný především pro tvrdé spoje, například kombinace kovů a plastů. [9]



Obr. 13. Lámavosti dle ČSN 66 8511. [9]

5.1.3 Rázová pevnost lepeného spoje dle ČSN 66 8512

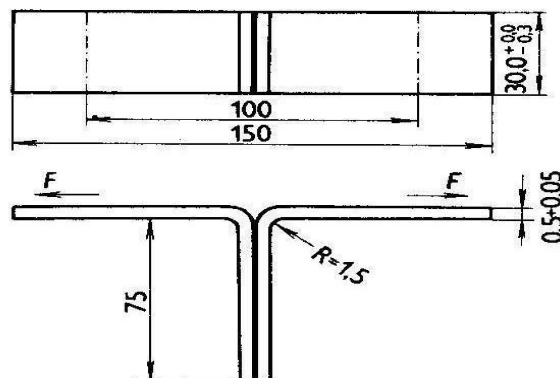
Zkušební spoj je při této zkoušce namáhán rázovým tlakem ve směru podélné osy až do porušení vzorku. Výsledná hodnota je vyjádřena v joulech na centimetr. [9]

5.1.4 Únavová pevnost lepeného spoje dle ČSN 66 8513

Únavová pevnost ve smyku při cyklickém tahovém zatížení je vyjádřena hodnotou maximálního smykového napětí, při kterém se žádný ze série pěti kusů zkušebních vzorků neporuší po 20 mil. cyklech. Podmínky namáhání a rozměry vzorku jsou dány normou. [9]

5.1.5 Pevnost lepeného spoje v odlupování dle ČSN 66 8516

Zkušební vzorek je namáhán statickým tahem ve směru kolmém na lepenou plochu. Podmínky namáhání a rozměry vzorku jsou dány normou. [9]



Obr. 14. Odlupování dle ČSN 66 8516. [9]

5.2 Nedestruktivní metody hodnocení

Pomocí nedestruktivní defektoskopie zjišťujeme především jakost provedení lepeného spoje, aniž bychom poškodili lepený díl. Tímto způsobem nelze měřit konkrétní hodnoty pevnosti, ale můžeme zjistit místa spoje, kde se nachází skryté vady v podobě trhlin, vzduchových bublin a puchýřů či nedolepených míst. [2]

- Ultrazvuková defektoskopie
- Vlnové metody defektoskopie
- Radioizotopová defektoskopie
- Akustická defektoskopie

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem bakalářské práce bylo prozkoumat vliv plazmové úpravy povrchu na výslednou pevnost lepených spojů u materiálů PA 66 a POM. Sledovali jsme výsledky v závislosti na použitých lepidlech a na povrchové úpravě materiálu plazmou.

Zásady pro vypracování byly následující:

1. Vypracování literární rešerše na dané téma.
2. Výroba a příprava těles pro experiment.
3. Provedení experimentu.
4. Vyhodnocení naměřených výsledků.

7 POUŽITÉ MATERIÁLY

7.1 Lepidla

Pro objektivní pozorování vlivu plazmové úpravy povrchu materiálu na mechanické vlastnosti lepeného spoje volíme tři druhy reaktivních lepidel, a to lepidla kyanoakrylátová, dvousložková epoxidová lepidla a dvoukomponentní metakrylátová lepidla. Jedná se o běžně používané typy lepidel v technické praxi, která jsou použitelná pro široký rozsah materiálů a také cenově dostupná.

Tab. 3. Porovnání vybraných vlastností použitých lepidel.

	Doba zpracovatelnosti	Doba vytvrzení	Teplotní odolnost	maximální mezera spoje
Surefix 4401	sekundové	24 hodin	-55 až 80°C	0,1 mm
Surefix Epoxy	3 - 5 minut	24 hodin	-20 až 90°C	3 mm
Cyberbond E705	5 - 8 minut	6 hodin	-40 až 95°C	5 mm
Parbond Partite 7300	4 - 6 minut	24 hodin	-40 až 120°C	10 mm
Cyberbond A806	10 - 20 minut	24 hodin	-40 až 120°C	10 mm

7.1.1 Surefix 4401

Kyanoakrylátová jednosložková lepidla, které velmi rychle tvrdnou při pokojové teplotě pod vlivem stopové vlhkosti. Tento druh lepidel je udržován v kapalném stavu přítomností kyselého stabilizátoru. Obtížně lepí nepolární povrchy, vhodnou úpravou povrchu plastu můžeme použít i k lepení těchto nepolárních materiálů. Lepidlo je střední hustoty, díky jeho vyšší viskozitě se s ním dobře pracuje a nestéká, na rozdíl od běžně prodávaných sekundových lepidel. Je schopno vyplnit malou spáru do 0,1 mm, proto není nutné dokonalého styku lepených ploch. Ke kvalitnímu spojení je důležité lepené povrchy očistit a odmastit. [16]



Obr. 15. Surefix 4401.

7.1.2 Primer Loctite 7239

Univerzální primer pro kyanoakrylátová lepidla je vhodný k úpravě povrchu před lepením obtížně lepitelných plastů, použití primeru bych hodnotil jako nejjednodušší možnost s poměrně dobrými výsledky. Je použitelný k aplikaci na všechny termoplasty jako polypropylen, polyetylen, polyamid, PTFE, POM, aj. Zvyšuje adhezi kyanoakrylátových, neboli sekundových lepidel. Primer aplikujeme pomocí štětce nebo rozprašovačem na lepený povrch, necháme asi minutu odvětrat při pokojové teplotě. Poté nanese lepidlo a lepená díly spojíme. [14]



Obr. 16. Primer Loctite.

7.1.3 Surefix Epoxy

Jedná se o dvousložkové epoxidové lepidlo zpracovatelné v intervalu 3 až 5 minut, doba vytvrzení během 24 hodin. Poměr míšení jednotlivých složek je 1:1. Vytvrzením lepidla dosahujeme velmi pevného a houževnatého spoje. Lepidlo je použitelné k lepení pevných plastů, kovů, dřeva, keramiky, laminátových dílů aj. V tekutém stavu lze rozpouštět v acetonu nebo v lihu, po vytvrzení odolává rozpouštědlům. Toto lepidlo zůstává čiré i v pevném stavu po ztuhnutí. [16]



Obr. 17. Surefix Epoxy.

7.1.4 Cyberbond E705

Dvousložkové epoxidové lepidlo zpracovatelné po dobu 15 minut, s poměrem míšení 1:1. Po vytvrzení v intervalu času 3 – 6 hodin při pokojové teplotě má velmi dobré mechanické vlastnosti pro všestranné použití v průmyslu, velmi dobře lepí většinu plastů a kovů, sklo, keramiku, dřevo a některé elastomery. Po vytvrzení lze mechanicky opracovat, brousit, vrtat i obrábět. V pevném stavu slámově žlutého zabarvení. [13]



Obr. 18. Cyberbond E705.

7.1.5 Parbond Partite 7300

Dvoukomponentní metakrylátové lepidlo s dobou zpracovatelnosti v rozmezí 4 až 6 minut. Je použitelné pro lepení povrchů se spárkou až do velikosti 10 mm. Toto konstrukční lepidlo je použitelné k lepení většiny běžných materiálů a s širokým uplatněním při lepení plastů. Je schopno lepit s dobrými výsledky i obtížněji lepitelné materiály. Na rozdíl od epoxidových lepidel má vyšší tepelnou odolnost až do 120°C. [15]



Obr. 19. Parbond Partite 7300.

7.1.6 Cyberbond A806

Dvoukomponentní metakrylátové lepidlo s dobou zpracovatelnosti v rozsahu 10 až 20 minut. Mísí se v poměru 1:1 a tuhý film lepidla po vytvrzení má mléčně bílou barvu. Výsledný lepený spoj dosahuje vysoké pevnosti, je použitelný pro dynamicky zatěžované spoje. Dobře odolává chemickým vlivům. Jelikož je lepidlo vysoce viskózní, je zde trochu pracnější zpracovatelnost oproti kyanoakrylátovým a epoxidovým lepidlům. Tepelně odolává do 120°C. [13]



Obr. 20. Cyberbond A806.

7.2 Použité polymery

K pozorování byly zvoleny dva typy materiálu

- Polyamid 66 Technyl® A205F (Tab. 4)
- Polyoxymetylen Hostaform® C 27021 (Tab. 5)

Polyamid 66 i polyoxymetylen jsou za normálních podmínek obtížně lepitelné plasty, neupravené povrchy mají špatnou smáčivost, proto dobré pevnostní výsledky spoje závisí též na úpravě materiálu před lepením. [10, 11]

7.2.1 Technyl® A 205F

Jedná se o neplněný druh polyamidu 66 s výbornou tekutostí a možností vstřikování vysokou rychlostí. Tento materiál je vhodný pro výrobky dlouhé výrobky s tenkými stěnami. Dodává se v základním bílém a černém odstínu, nebo zabarvený dle požadavků zákazníka. Materiál je dodáván na paletách v pytlích po 20 kg nebo 25 kg, případně velkoobjemové vaky o váze až 500 kg. Před použitím je nutno obvykle sušit na hodnotu vlhkosti menší než 0,2 % při teplotě přibližně 80 °C. Materiál se taví při teplotě 263 °C, zpracovává se vstřikováním při teplotě do 290 °C. [10]

Tab. 4. Vybrané vlastnosti materiálu Technyl® A205F. [10]

Technyl® A 205F	
Hustota	1,14 g/cm ³
Průměrné smrštění	1,90%
Modul pružnosti	1600 MPa
Pevnost v tahu	85 MPa
Protažení při přetržení	50%
Rázová pevnost v tahu	5 kJ/m ²

7.2.2 Hostaform® C 27021

Polyoxymetylen kopolymer je velmi snadno tekoucí typ pro vstřikování s vysokou tuhostí a tvrdostí. Materiál chemicky odolává rozpouštědlům, pohonným hmotám a silným louhům. Má též dobrou odolnost proti tepelné a oxidační degradaci. Materiál je vhodný ke vstřikování tenkostěnných tvarově složitých dílů. Je dodáván v základních odstínech bílé a černé i v barevných variantách dle požadavků zákazníka. Dodáván je v baleních stejně jako Technyl® A205F. Před použitím obvykle není vyžadováno předsoušení, materiál sušíme pouze v případě navlhnutí a to při teplotě 120 °C až 140 °C. Teplota tavení materiálu je 166 °C, zpracovává se vstřikováním při teplotě do 230 °C. [11]

Tab. 5. Vybrané vlastnosti materiálu Hostaform® C 27021. [11]

Hostaform® C 27021	
Hustota	1,41 g/cm ³
Průměrné smrštění	1,90%
Modul pružnosti	2800 MPa
Pevnost v tahu	65 MPa
Protažení při přetržení	17%
Rázová pevnost v tahu	120 kJ/m ²
Index toku taveniny (190 °C/2,16 kg)	24 g/10 min

8 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ

8.1 Polotovary zkušebních vzorků

Výroba zkušebních těles (Obr. 10) proběhla v dílnách Ústavu výrobního inženýrství. Vstřikování zkušebních těles bylo provedeno na stroji Arburg Allrounder 470H. Rozměry vzorků pro lepení odpovídají normě ČSN EN ISO 527 – 2. Pro každou pozorovanou hodnotu bylo zapotřebí 10 zkušebních vzorků, bylo tedy použito 210 zkušebních těles a obdélníkových pásků z polyamidu a 210 zkušebních těles a obdélníkových pásků z polyoxymetyleny. Dohromady bylo pozorováno 420 zkušebních vzorků. Jednotlivé vzorky pro lepení byly stříhány pákovými nůžkami v půlce jejich délky.



Obr. 21. Polotovar zkušebního vzorku. [8]



Obr. 22. Připravený vzorek k lepení. [8]

8.1.1 Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 470 H

Hybridní stroj pro kvalitní zpracování termoplastických materiálů vstřikováním. Výhodou je zde kombinace velké rychlosti a přesnosti elektrických vstřikovacích strojů a zároveň potřebná progresivita a síla hydraulického zařízení. Hlavním vytyčeným cílem při konstrukci stroje byla hospodárná a energeticky úsporná výroba, proti hydraulickým strojům bylo dosaženo až 40 procent úspory energie. Pohyb jednotlivých částí zařízení zajišťuje

kombinace servoelektrického kloubového mechanismu, elektrického dávkování a hydraulický akumulátor. Jednotlivé pohyby cyklů probíhají souběžně, což zkracuje výrobní časy a zajišťuje hospodárnost výroby. Zároveň dílčí přestavby stroje při výměně výroby jsou konstrukčně řešeny k minimalizaci časové náročnosti díky modulární koncepci zařízení. Ovládání zajišťuje řídicí systém Seologica. [17]

Tab. 6. Parametry stroje Arburg Allrounder 470H. [17]

Arburg Allrounder 470H	
Uzavírací síla	max. 1000 kN
Otevření	max. 500 mm
Výška formy	min. 250 mm
Světlost mezi upínacími deskami	max. 850 mm
Vzdálenost mezi vodícími sloupy	470 x 470 mm
Velikost upínací desky	637 x 637 mm
Vyhazovací síla	max. 40 kN
Zdvih vyhazovače	max. 175 mm
Výkon čerpadla	9,5 kW
Průměr šneku	40 mm
Objem dávky	max. 254 cm ³
Vstřikovací rychlost	max. 814 cm ³ /s
Krouticí moment šneku	max. 610 N·m
Přítlačná síla trysky	max. 300 kN
Hlučnost stroje	max. 70 dB
Hmotnost stroje	7500 kg



Obr. 23. Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 470H. [27]

8.2 Úprava zkušebních vzorků plazmou

Plazma je elektricky vodivý plyn obsahující pozitivní, negativní a neutrální částice. Tento stav látky se někdy nazývá jako čtvrtý stav látky. Tento stav je velmi nestabilní, k jeho udržení je zapotřebí dodávat energii. Pro speciální aplikace ke zlepšení účinku plazmy je možno tvořit atmosféru prostředí některými plyny nebo směsí plynů, ty však musí být nehořlavé. Pomocí plazmy dochází k chemické aktivaci povrchu materiálu, kde vznikají reakce schopné vazebné oblasti. Přitom je využíváno atomů kyslíku ze vzduchu. Velmi podstatným pozitivem tohoto procesu je, že nedochází k produkci ozonu. Mimo jiné dochází k chemickému čištění povrchu materiálu. PlasmaJet® se skládá z vysokonapěťového zdroje a sestavy trysky k plazmování. Vlastní zařízení je velice kompaktních rozměrů, a vhodnou volbou trysky lze modifikovat jinak obtížně přístupná místa součástí. Úprava plazmou zajišťuje dlouhou stabilitu lepených spojů a neutralizaci elektrostatického náboje materiálu. Další uplatnění nachází při tvorbě nanopovlaků, úpravě vláken při výrobě textilií nebo například při svažování a potisku polymerních materiálů. Pro úpravu povrchu měřených vzorků bylo použito zařízení pro plazmování GP05P (Tab. 7). [24]

Tab. 7. Parametry PlasmaJet® G05P. [24]

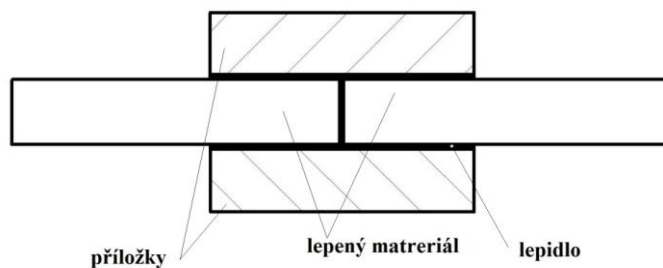
Rozměry v mm (Š x H x D)	120 x 100 x 345
Hmotnost	3,5 kg
Výstupní výkon (W)	až 500W
napájení ze sítě	230 V, 50/60Hz
Maximální spotřeba proudu	2,5 A
Stupeň krytí	IP 52

Hlavní výhody plazmové úpravy povrchu:

- Pracuje při atmosférickém tlaku bez potřeby evakuační komory.
- Nedochází k vývoji ozonu.
- PlasmaJet® má velmi nízkou spotřebu energie (cca. 500W).
- Čistý, tichý a bezpečný provoz zařízení oproti úpravám elektrickým obloukem nebo plamenem.
- Použitelnost pro široké spektrum materiálů včetně kovů.
- Snadná regulace a přesné prostorové ovládání s možností okamžitého zastavení procesu kdykoli je to nutné.
- Jednoduché zařazení do automatizovaných výrobních linek díky kompaktním rozměrům zařízení.

8.3 Konstrukce spoje zkušebních vzorků

Pro měření byl vybrán spoj čelní se dvěma příložkami, neboť z hlediska namáhání spoje zde působí nejvýhodnější smyková napětí. Příprava vzorku k měření probíhala ve školních dílnách. Zkušební vzorky byly nastříhány pákovými nůžkami a po přípravě k lepení byla první příložka se zkušebním tělesem vložena do přípravku, slepena a zafixována pro zavadnutí lepidla. Poté byl vzorek vyndán a přilepili jsme i druhou příložku. Po zatuhnutí se nechaly vzorky vytvrdit minimálně 24 hodin.



Obr. 24. Schematické znázornění lepeného spoje.

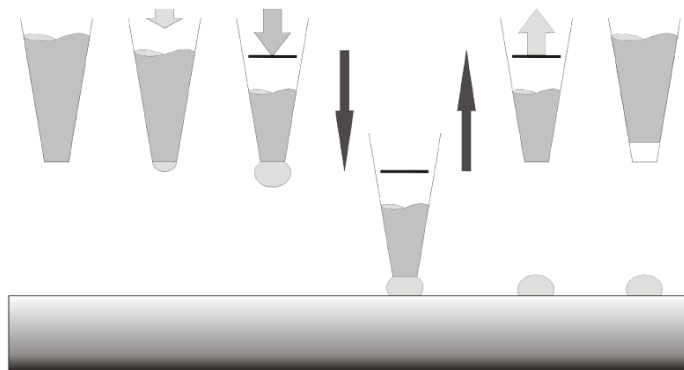


Obr. 25. Hotové zkušební těleso pro tahovou zkoušku.

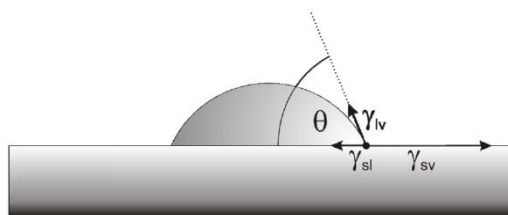
9 HLAVNÍ VÝSLEDKY PRÁCE

9.1 Měření kontaktního úhlu smáčení

Jednotlivé vzorky jsme zkoumali metodou přisedlé kapky na zařízení See Systém od firmy Advex Instruments pro zjištění kontaktního úhlu smáčení. Měření bylo provedeno dle normy ČSN EN 15802, jako kapalinu jsme použili destilovanou vodu. Naměřené údaje jsme získali za pokojové teploty 23°C. Opakovatelnost měření byla větší než 10.



Obr. 26. Postup při měření kapkovou metodou. [3]



Obr. 27. Schematické znázornění kontaktního úhlu smáčení. [21]

Tab. 8. Výsledky kontaktního úhlu smáčení.

	Nemodifikovaný materiál	Plazma o výkonu 300 W	Plazma o výkonu 350 W	Plazma o výkonu 400 W
POM	$(74,9 \pm 0,6)^\circ$	$(39,5 \pm 0,5)^\circ$	$(37,4 \pm 0,5)^\circ$	$(33,7 \pm 0,7)^\circ$
PA 66	$(65,8 \pm 0,8)^\circ$	$(42,4 \pm 0,4)^\circ$	$(43,3 \pm 0,6)^\circ$	$(39,1 \pm 0,5)^\circ$

Modifikací materiálu plazmou jsme dosáhli přibližně poloviční hodnoty kontaktního úhlu smáčení Θ u polyoxymetyleny a přibližně o třetinu nižší hodnotu u polyamidu 66. Z toho vyplývá, že úprava materiálu plazmou velmi pozitivně ovlivňuje smáčivost, což by se mělo projevit ve výsledcích měření.

9.2 Zařízení pro měření pevnosti lepených spojů

Vlastní měření pevnosti zkušebních vzorků proběhlo na trhacím stroji Zwick 1456 tahem v jedné ose. Vyhodnocení tahové zkoušky bylo provedeno na trhacím stroji prostřednictvím softwaru Test Expert. Měření bylo prováděno při teplotě prostředí 23°C. Z naměřených hodnot byl proveden výpočet aritmetického průměru (Rov. 1) a byla též stanovena střední kvadratická (směrodatná) odchylka (Rov. 2) pro naměřené hodnoty. Charakteristiky zatěžující síly pro jednotlivá měření byly zpracovány pomocí sloupcových grafů.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k \quad (1)$$

$$\pm \delta = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (\bar{x} - x_k)^2}{(n-1)}} \quad (2)$$



Obr. 28. Trhací stroj Zwick 1456. [8]

Tab. 9. Parametry trhacího stroje Zwick 1456. [8]

Snímač síly	20 kN a 2,5 kN
Výška stroje	2012 mm
Šířka stroje	630 mm
Pracovní výška	1160 mm
Maxiální zkušební rychlost	750 mm/min
Hmotnost stroje	150 kg

9.3 Tahové zkoušky lepených spojů PA66

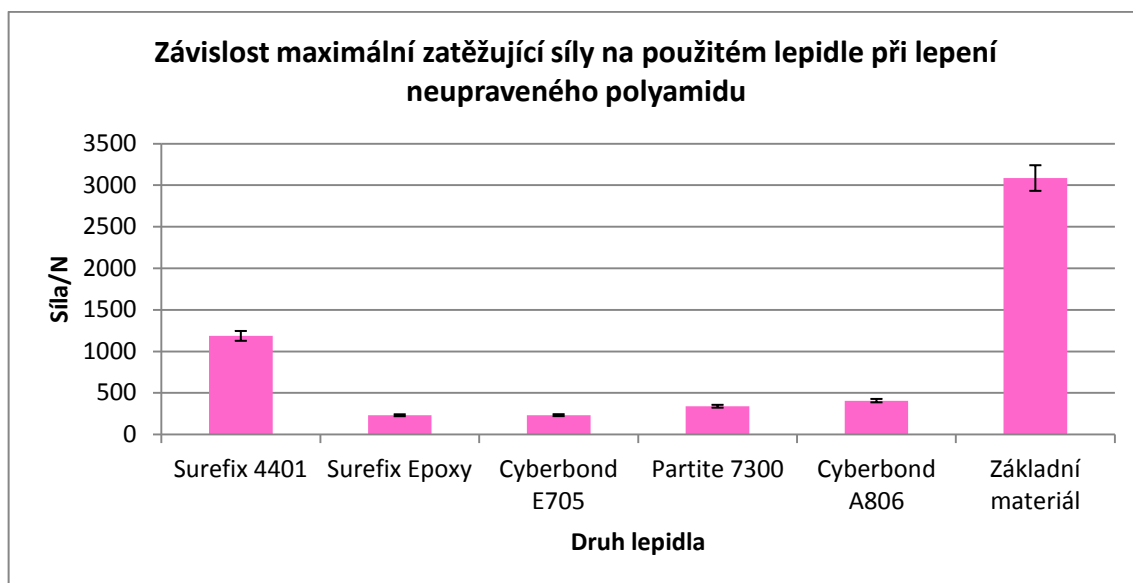
9.3.1 Pevnost základního materiálu a nemodifikovaných lepených spojů PA66 pro různá lepidla

Tab. 10. Hodnoty zatěžující síly F_{max} základního materiálu PA66.

PA66			
č. měření	$F_{max}[N]$	č. měření	$F_{max}[N]$
1	3034,4	6	3053,3
2	3111,9	7	3078,5
3	3050,3	8	3079,5
4	3153,2	9	3090,0
5	3090,1	10	3117,1
$\bar{x} \pm \delta$	3085,5 \pm 33,6		

Tab. 11. Hodnoty měření maximální zatěžující síly PA66, porovnání jednotlivých lepidel.

PA66 - Závislost $F_{max}[N]$ na použitém lepidle					
č. měření	Surefix 4401	Surefix Epoxy	Cyberbond E705	Partite 7300	Cyberbond A806
1	1198,2	200,8	200,2	253,3	412,8
2	1156,4	274,4	244,7	309,0	354,7
3	1142,7	212,2	216,6	356,6	409,4
4	1261,2	216,4	259,4	322,8	416,1
5	1202,6	256,4	216,1	332,3	374,6
6	1177,9	212,1	220,5	332,9	419,7
7	1194,4	236,6	243,6	357,4	421,6
8	1222,8	223,1	220,8	360,1	411,7
9	1208,7	238,8	248,5	384,4	427,0
10	1090,6	232,1	244,8	378,2	414,8
$\bar{x} \pm \delta$	1185,6 \pm 44,6	230,3 \pm 21,3	231,5 \pm 18,0	338,7 \pm 36,4	406,2 \pm 21,8



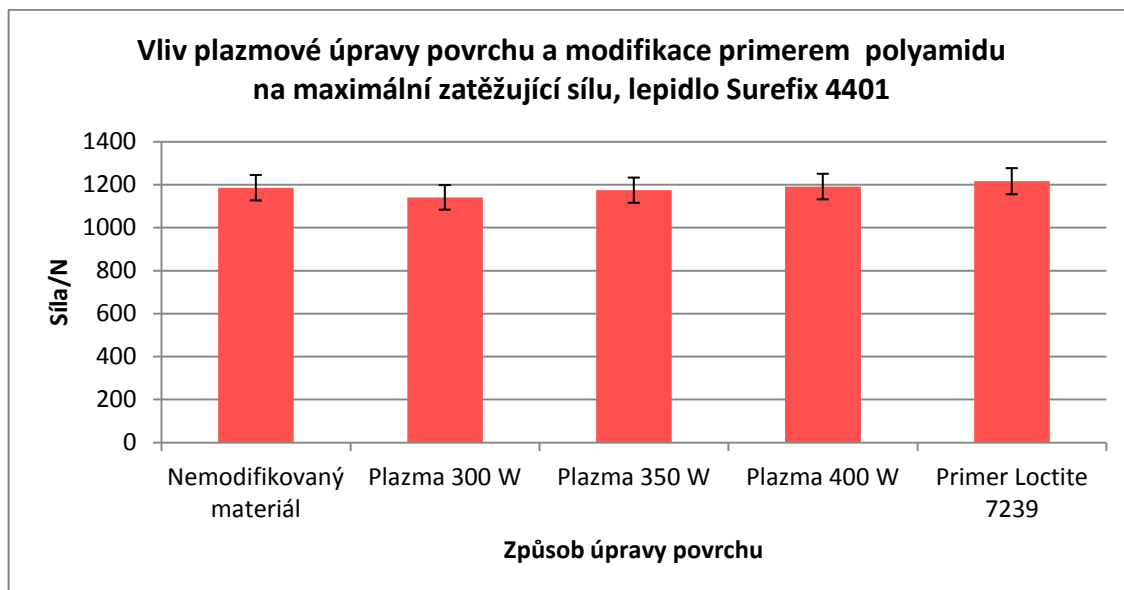
Obr. 29. Graf závislosti maximální zatěžující síly pro jednotlivá lepidla.

Pro lepení dílů z povrchově neupraveného materiálu Technyl® A205F jsme dosáhli nejlepších výsledků při použití kyanoakrylátového lepidla Surefix 4401. Byla zde zjištěna pevnost spoje téměř 38% v porovnání se základním materiálem. Pro ostatní použitá lepidla jsme naměřili hodnoty v rozmezí 7 až 13 % pevnosti základního materiálu. Pro lepení dílů z tohoto materiálu je proto nejvhodnější ze zkoušených adheziv použít kyanoakrylátového lepidla pro dosažení nejvyšší pevnosti spoje.

9.3.2 Pevnost lepených spojů PA66 za použití lepidla Surefix 4401

Tab. 12. Hodnoty měření maximální zatěžující síly materiálu PA66, Surefix 4401.

PA66 - Hodnota F_{\max} [N] pro kyanoakrylátové lepidlo Surefix 4401					
č. měření	Nemodifikovaný materiál	Materiál modifikovaný plazmou			Primer Loctite 7239
		300 W	350 W	400 W	
1	1198,2	1183,2	1101,6	1048,73	1219,2
2	1156,4	1076,8	1131,6	1253,32	1166,3
3	1142,7	1243,0	1047,0	1134,88	1213,4
4	1261,2	1042,0	1185,3	1222,02	1296,4
5	1202,6	1137,4	1281,9	1192,3	1287,2
6	1177,9	1168,2	1245,5	1229,9	1230,7
7	1194,4	1119,8	1176,4	1212,5	1196,3
8	1222,8	1180,0	1185,4	1223,3	1175,0
9	1208,7	1179,1	1148,5	1200,4	1194,8
10	1090,6	1078,2	1236,7	1191,8	1179,9
\bar{x}	1185,6	1140,8	1174,0	1190,9	1215,9
$\pm\delta$	$\pm 44,6$	$\pm 58,5$	$\pm 66,9$	$\pm 56,0$	$\pm 42,5$



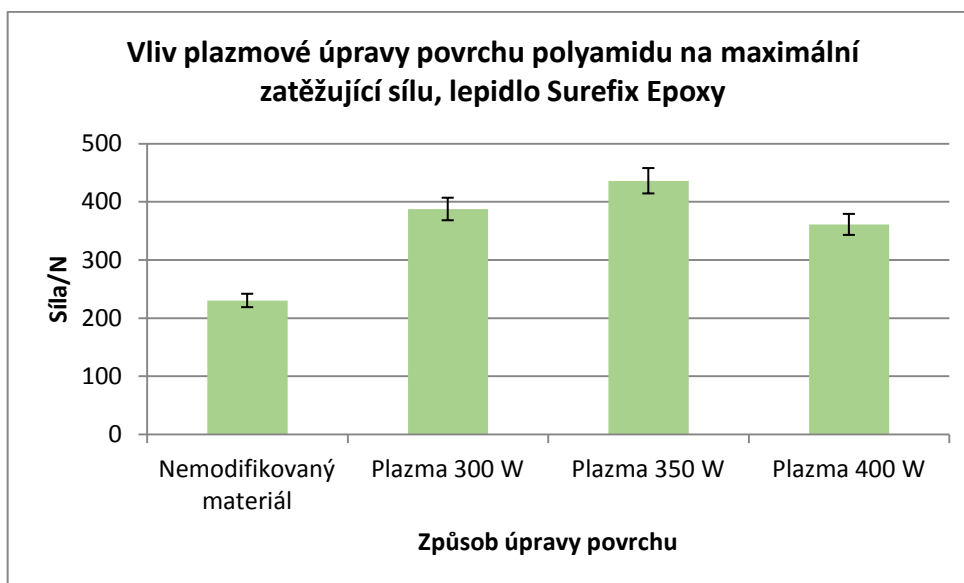
Obr. 30. Graf závislosti maximální zatěžující síly pro jednotlivé modifikace PA66 při použití lepidla Surefix 4401.

Zkouška pevnosti lepených spojů kyanoakrylátovým lepidlem Surefix 4401 nám ukázala velmi vyrovnané výsledky maximální zatěžující síly, dosahující téměř 40 % pevnosti základního materiálu. Z toho vyplývá, že pro lepení tímto kyanoakrylátovým lepidlem není ekonomické materiál zvlášť upravovat v rozsahu zkoušeným metod modifikace.

9.3.3 Pevnost lepených spojů PA66 za použití lepidla Surefix Epoxy

Tab. 13. Hodnoty měření maximální zatěžující síly materiálu PA66, Surefix Epoxy.

PA66 - Hodnota F_{\max} [N] pro epoxidové lepidlo Surefix Epoxy				
č. měření	Nemodifikovaný materiál	Materiál modifikovaný plazmou		
		300 W	350 W	400 W
1	200,8	414,4	481,6	388,5
2	274,4	416,4	351,6	349,5
3	212,2	320,2	389,1	311,4
4	216,4	339,8	387,0	341,5
5	256,4	404,0	474,3	356,8
6	212,1	403,5	446,1	365,9
7	236,6	376,8	459,6	360,8
8	223,1	391,0	452,8	409,8
9	238,8	388,7	463,0	378,6
10	232,1	421,1	456,8	348,5
$\bar{x} \pm \delta$	$230,3 \pm 21,3$	$387,6 \pm 31,9$	$436,2 \pm 41,7$	$361,1 \pm 25,7$



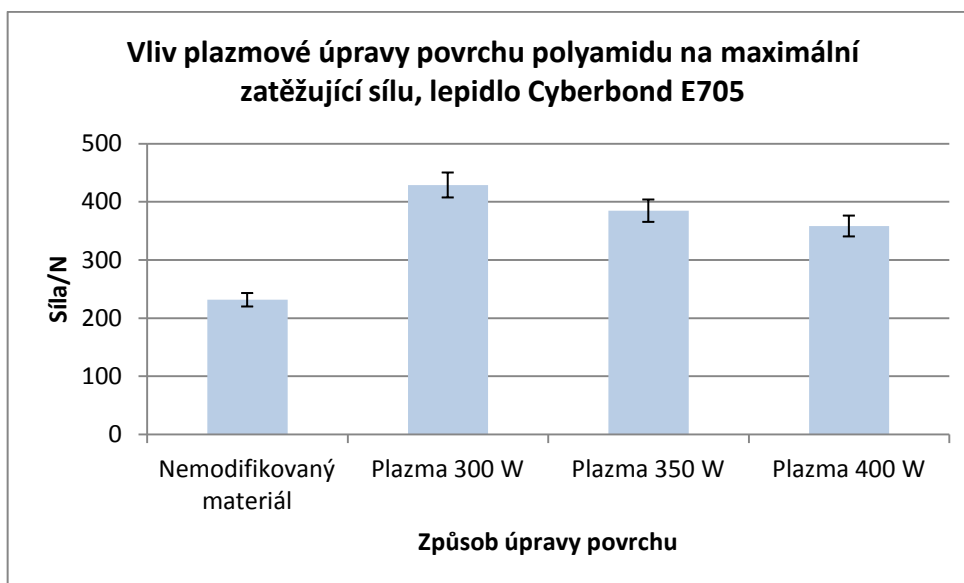
Obr. 31. Graf závislosti maximální zatěžující síly pro jednotlivé modifikace PA66 při použití lepidla Surefix Epoxy.

Zkoušením lepených spojů jsme zjistili, že nejvyšší pevnost zkušební vzorku je při modifikaci plazmou o výkonu 350 W. Avšak toto epoxidové lepidlo dosahuje poměrně nízké pevnosti při tahové zkoušce, proti pevnosti základního materiálu (Tab. 10) se naměřené hodnoty pohybují v rozmezí přibližně 7 až 15 %. Z toho usuzují, že lepidlo Surefix Epoxy není vhodné pro lepení polyamidu. Plazmová modifikace povrchu sice výslednou pevnost spoje pozitivně ovlivňuje, nicméně zlepšení vlastností je velice malé.

9.3.4 Pevnost lepených spojů PA66 za použití lepidla Cyberbond E705

Tab. 14. Hodnoty měření maximální zatěžující síly materiálu, Cyberbond E705.

PA66 - Hodnota F_{\max} [N] pro epoxidové lepidlo Cyberbond E705				
č. měření	Nemodifikovaný materiál	Materiál modifikovaný plazmou		
		300 W	350 W	400 W
1	200,2	430,8	318,3	347,8
2	244,7	437,3	402,3	408,2
3	216,6	403,1	387,3	349,4
4	259,4	359,4	346,4	354,4
5	216,1	425,0	405,3	356,3
6	220,5	435,5	408,7	342,9
7	243,6	456,2	377,8	347,8
8	220,8	472,0	414,5	355,1
9	248,5	424,5	408,4	372,9
10	244,8	445,3	377,8	348,8
$\bar{x} \pm \delta$	$231,5 \pm 18,0$	$428,9 \pm 29,2$	$384,7 \pm 29,6$	$358,4 \pm 18,3$



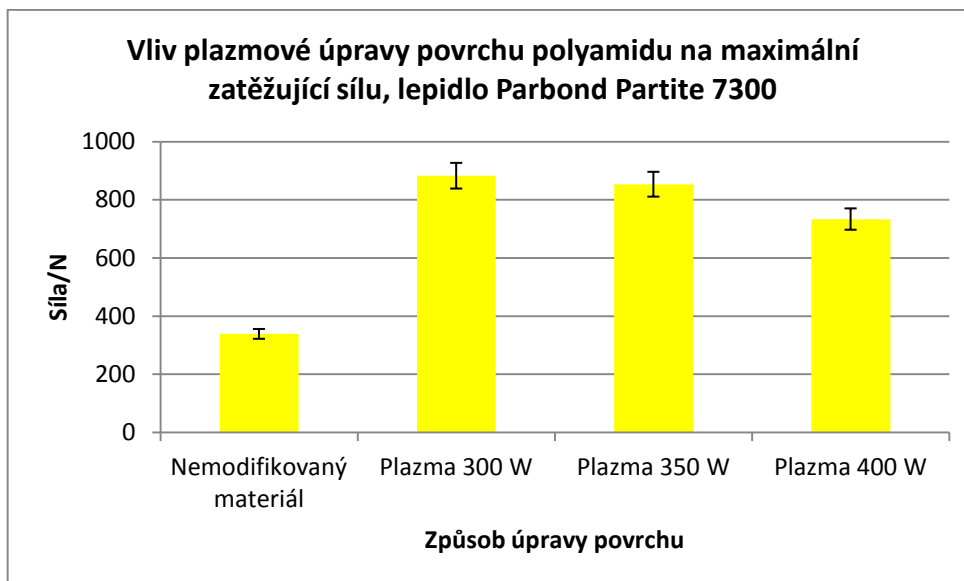
Obr. 32. Graf závislosti maximální zatěžující síly pro jednotlivé modifikace PA66 při použití lepidla Cyberbond E705.

Z vyhodnocení tahové zkoušky pro lepidlo Cyberbond E705 vyplývá, že při použití tohoto lepidla dosahujeme přibližně 7 až 15 % pevnosti oproti základnímu materiálu. Z toho je zřejmé, že použitá epoxidová lepidla nejsou vhodná pro pevnostní spoje polyamidu 66.

9.3.5 Pevnost lepených spojů PA66 za použití lepidla Parbond Partite 7300

Tab. 15. Hodnoty měření maximální zatěžující síly materiálu, Parbond Partite 7300.

PA66 - Hodnota F_{\max} [N] pro metakrylátové lepidlo Parbond Partite 7300				
č. měření	Nemodifikovaný materiál	Materiál modifikovaný plazmou		
		300 W	350 W	400 W
1	253,3	960,1	889,1	709,8
2	309,0	883,0	825,9	690,9
3	356,6	834,1	811,0	655,8
4	322,8	765,9	809,5	734,0
5	332,3	895,0	877,5	759,9
6	332,9	898,5	786,8	761,2
7	357,4	921,0	924,7	745,1
8	360,1	886,6	857,2	780,0
9	384,4	891,7	889,0	766,2
10	378,2	891,9	864,8	734,5
$\bar{x} \pm \delta$	$338,7 \pm 36,4$	$882,8 \pm 49,0$	$853,6 \pm 41,5$	$733,7 \pm 36,4$



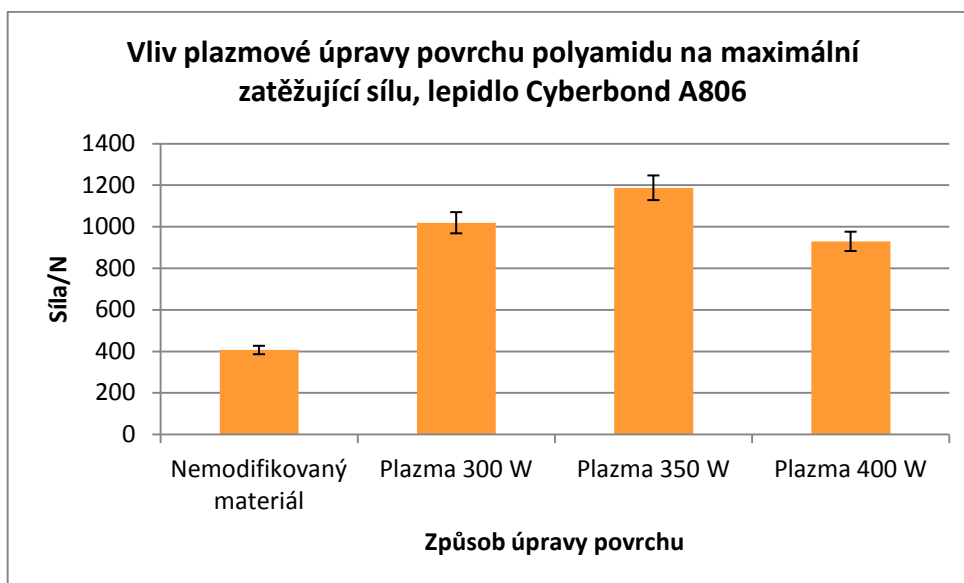
Obr. 33. Graf závislosti maximální zatěžující síly pro jednotlivé modifikace PA66 při použití lepidla Parbond Partite 7300.

Výsledky tahové zkoušky pro lepidlo Parbond Partite 7300 nám ukazují, že nemodifikovaný materiál dosahuje velmi nízké pevnosti, přibližně 10 % pevnosti základního materiálu. Ovšem po modifikaci povrchu materiálu plazmou dochází k téměř 2,5 násobnému nárůstu pevnosti lepeného spoje. Nejlepší pevnost vykazují vzorky modifikované plazmou o výkonu 300W, téměř 29 % pevnosti základního materiálu.

9.3.6 Pevnost lepených spojů PA66 za použití lepidla Cyberbond A806

Tab. 16. Hodnoty měření maximální zatěžující síly materiálu, Cyberbond E705.

PA66 - Hodnota F_{\max} [N] pro metakrylátové lepidlo Cyberbond A806				
č. měření	Nemodifikovaný materiál	Materiál modifikovaný plazmou		
		300 W	350 W	400 W
1	412,8	987,0	1182,7	947,7
2	354,7	1010,0	1208,1	890,3
3	409,4	1031,0	1155,5	962,0
4	416,1	1026,3	1169,2	987,7
5	374,6	1011,2	1185,3	1045,5
6	419,7	1035,0	1194,0	971,5
7	421,6	1074,5	1080,0	768,7
8	411,7	975,6	1228,0	931,0
9	427,0	991,2	1208,3	918,1
10	414,8	1049,3	1264,1	871,7
$\bar{x} \pm \delta$	$406,2 \pm 21,8$	$1019,1 \pm 28,8$	$1187,5 \pm 46,2$	$929,4 \pm 71,3$



Obr. 34. Graf závislosti maximální zatěžující síly pro jednotlivé modifikace PA66 při použití lepidla Cyberbond A806.

Při použití lepidla Cyberbond A806 jsme z naměřených hodnot zjistili, že pevnost lepeného spoje pro nemodifikovaný materiál odpovídá přibližně 13 % pevnosti základního materiálu. Ovšem po úpravě materiálu plazmou o výkonu 350 W dochází téměř k 3 násobnému nárůstu pevnosti lepeného spoje. To odpovídá hodnotám, které jsme naměřili při použití kyanoakrylátového lepidla, tj. až 40 % pevnosti základního materiálu. Z toho usuzují, že lepidlo Cyberbond A806 je po vhodné úpravě povrchu použitelné k úspěšnému lepení polyamidu 66.

9.4 Tahové zkoušky lepených spojů POM

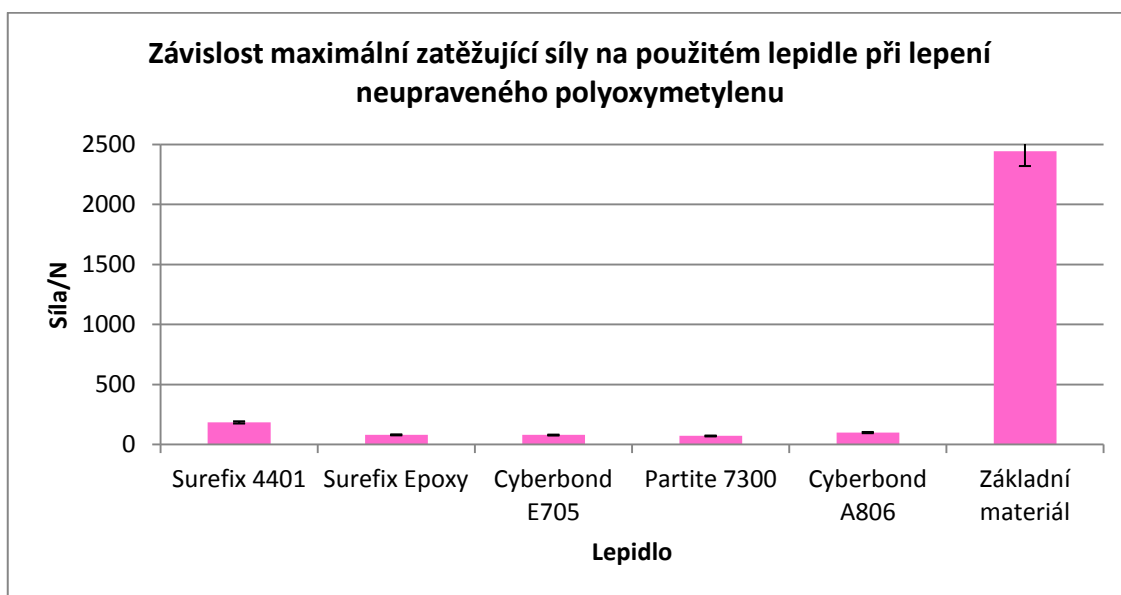
9.4.1 Pevnost základního materiálu a nemodifikovaných lepených spojů POM pro různá lepidla

Tab. 17. Hodnoty zatěžující síly F_{max} základního materiálu POM.

POM			
č. měření	$F_{max}[N]$	č. měření	$F_{max}[N]$
1	2451,0	6	2448,6
2	2454,0	7	2438,7
3	2457,0	8	2379,5
4	2453,9	9	2441,0
5	2438,2	10	2469,2
$\bar{x} \pm \delta$	2443,1 \pm 23,0		

Tab. 18. Hodnoty měření maximální zatěžující síly POM, porovnání jednotlivých lepidel.

POM - Závislost F_{\max} [N] na použitém lepidle					
č. měření	Surefix 4401	Surefix Epoxy	Cyberbond E705	Partite 7300	Cyberbond A806
1	152,4	55,6	91,3	94,0	95,7
2	148,5	78,1	77,8	63,2	94,2
3	158,7	94,2	68,0	89,9	109,1
4	178,4	99,3	91,1	47,6	97,2
5	169,5	81,3	85,3	71,1	87,7
6	242,0	66,4	73,9	72,8	100,4
7	203,6	81,5	62,3	58,5	110,7
8	209,0	85,1	78,2	79,8	95,8
9	219,9	97,3	86,7	77,9	115,2
10	170,8	75,5	82,1	66,8	98,7
$\bar{x} \pm \delta$	$185,3 \pm 29,9$	$81,4 \pm 13,0$	$79,7 \pm 9,1$	$72,2 \pm 13,3$	$100,5 \pm 8,1$



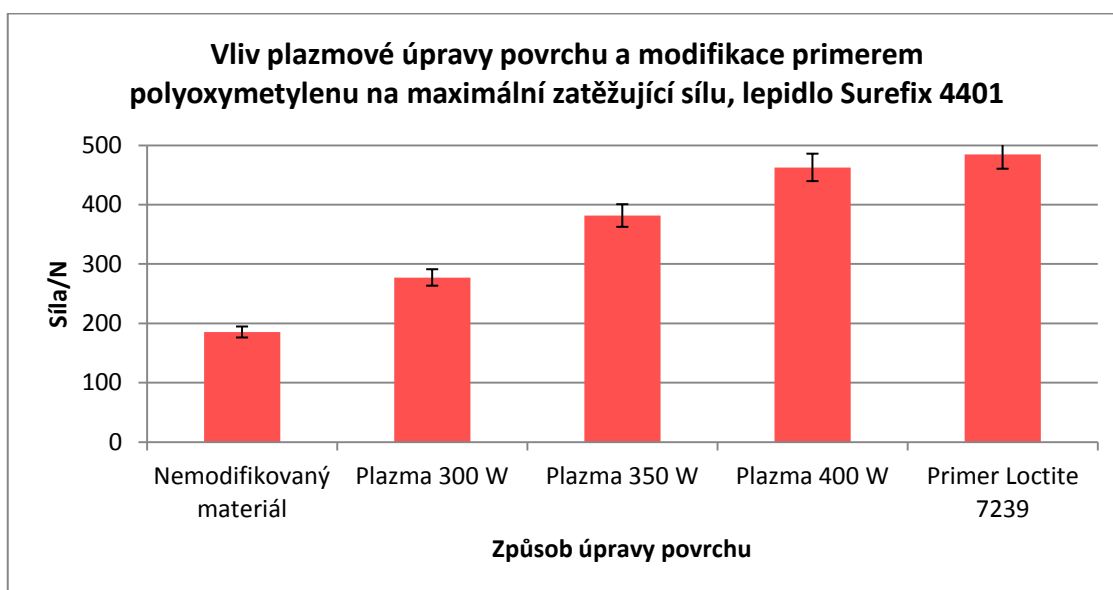
Obr. 35. Graf závislosti maximální zatěžující síly pro jednotlivá lepidla.

Při tahové zkoušce těles z povrchově neupraveného materiálu Hostaform® C 27021 jsme zjistili velmi nízkou pevnost lepených spojů, pohybující se v rozmezí 3 až 7 % pevnosti základního materiálu. Z naměřených výsledků je zřejmé, že pro lepení povrchově neupraveného polyoxymetyleny není vhodné žádné z porovnávaných lepidel.

9.4.2 Pevnost lepených spojů POM za použití lepidla Surefix 4401

Tab. 19. Hodnoty měření maximální zatěžující síly materiálu POM, Surefix 4401.

POM - Hodnota F_{\max} [N] pro kyanoakrylátové lepidlo Surefix 4401					
č. měření	Nemodifikovaný materiál	Materiál modifikovaný plazmou			Primer Loctite 7239
		300 W	350 W	400 W	
1	152,4	217,8	309,1	497,8	500,8
2	148,5	284,6	355,6	535,6	470,6
3	158,7	256,9	376,9	458,8	508,9
4	178,4	243,5	403,0	410,6	516,6
5	169,5	298,2	406,0	505,5	459,0
6	242,0	286,6	365,7	462,6	494,1
7	203,6	292,1	380,0	443,7	495,7
8	209,0	307,0	412,6	459,0	459,4
9	219,9	293,2	398,1	433,4	457,3
10	170,8	291,8	408,5	419,4	483,8
\bar{x}	185,3	277,2	381,6	462,6	484,6
$\pm\delta$	$\pm 29,9$	$\pm 26,9$	$\pm 30,4$	$\pm 37,7$	$\pm 20,8$



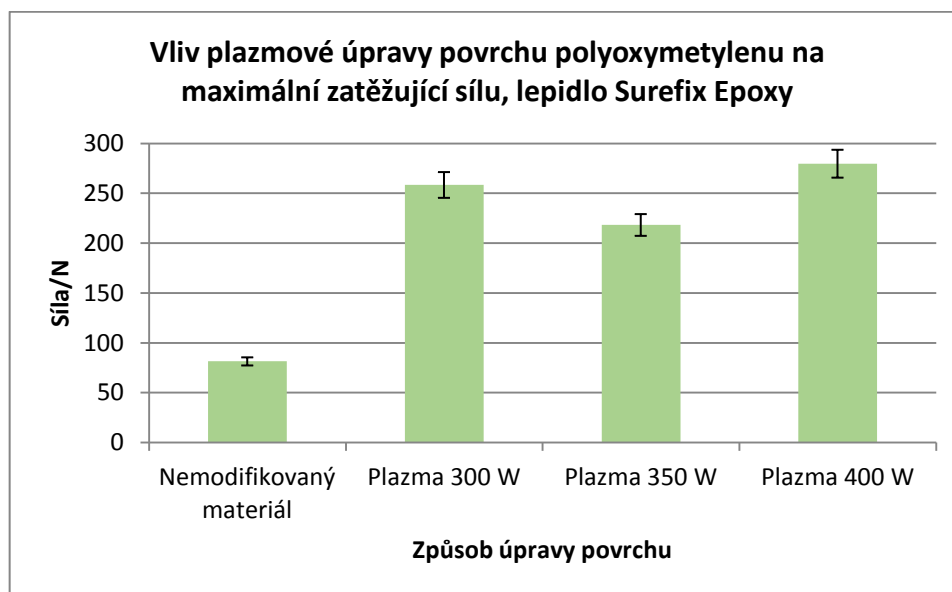
Obr. 36. Graf závislosti maximální zatěžující síly pro jednotlivé modifikace POM při použití lepidla Surefix 4401.

Zkouška pevnosti lepených spojů polyamidu kyanoakrylátovým lepidlem Surefix 4401 nám ukázala rostoucí průměrnou hodnotu maximální zatěžující síly v závislosti na modifikaci povrchu materiálu. Z toho vyplývá, že pro lepení tímto kyanoakrylátovým lepidlem je vhodné použití primeru Loctite 7239 nebo modifikace plazmou o výkonu 400 W.

9.4.3 Pevnost lepených spojů POM za použití lepidla Surefix Epoxy

Tab. 20. Hodnoty měření maximální zatěžující síly materiálu POM, Surefix Epoxy.

POM - Hodnota F_{\max} [N] pro epoxidové lepidlo Surefix Epoxy				
č. měření	Nemodifikovaný materiál	Materiál modifikovaný plazmou		
		300 W	350 W	400 W
1	55,6	291,8	166,6	279,3
2	78,1	205,6	160,8	300,1
3	94,2	310,3	293,6	235,9
4	99,3	232,4	212,8	305,1
5	81,3	286,4	183,7	286,7
6	66,4	246,9	255,1	254,7
7	81,5	238,3	216,6	271,9
8	85,1	252,7	251,3	297,6
9	97,3	260,2	217,6	280,5
10	75,5	259,9	225,2	285,8
$\bar{x} \pm \delta$	$81,4 \pm 13,0$	$258,4 \pm 29,4$	$218,3 \pm 39,2$	$279,8 \pm 20,2$



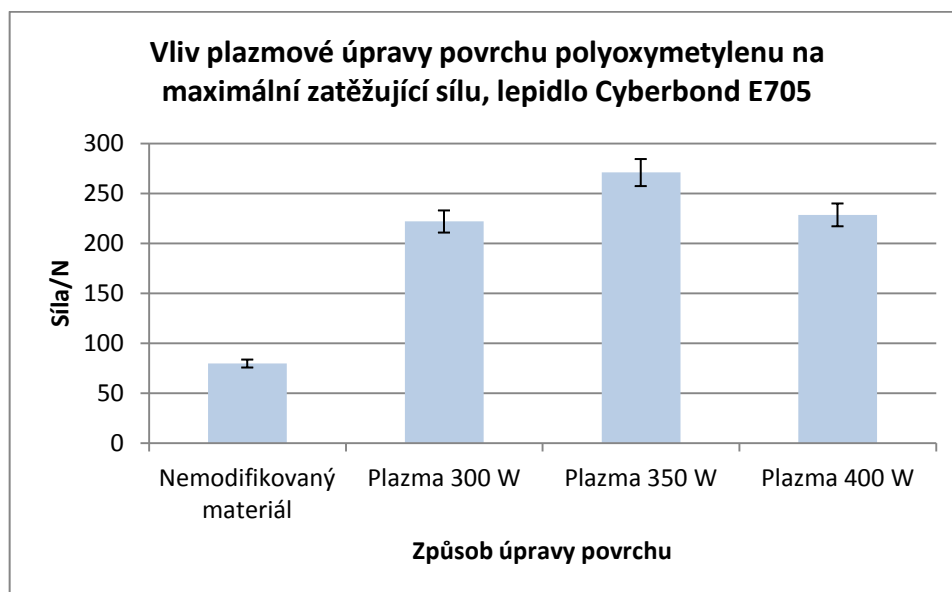
Obr. 37. Graf závislosti maximální zatěžující síly pro jednotlivé modifikace POM při použití lepidla Surefix Epoxy.

Zkouškou lepených spojů jsme zjistili, že nejvyšší pevnost zkušební vzorku je při modifikaci plazmou o výkonu 400 W. Dosahuje se zde 3,5 násobně vyšší pevnosti proti nemodifikovanému materiálu. Avšak toto epoxidové lepidlo dosahuje poměrně nízké pevnosti při tahové zkoušce, proti pevnosti základního materiálu (Tab. 17) se naměřené hodnoty pohybují v rozmezí přibližně 3 až 12 %. Z toho usuzuji, že lepidlo Surefix Epoxy není vhodné pro lepení polyoxymetylenů.

9.4.4 Pevnost lepených spojů PA66 za použití lepidla Cyberbond E705

Tab. 21. Hodnoty měření maximální zatěžující síly materiálu, Cyberbond E705.

POM - Hodnota F_{\max} [N] pro epoxidové lepidlo Cyberbond E705				
č. měření	Nemodifikovaný materiál	Materiál modifikovaný plazmou		
		300 W	350 W	400 W
1	91,3	221,9	253,2	240,4
2	77,8	211,9	248,5	196,2
3	68,0	195,2	249,7	208,5
4	91,1	237,3	266,7	265,3
5	85,3	221,4	290,1	229,0
6	73,9	205,8	303,9	224,5
7	62,3	230,9	283,5	246,9
8	78,2	218,7	257,9	232,3
9	86,7	249,0	267,3	212,1
10	82,1	227,1	288,5	230,5
$\bar{x} \pm \delta$	$79,7 \pm 9,1$	$221,9 \pm 14,7$	$270,9 \pm 18,4$	$228,6 \pm 18,9$



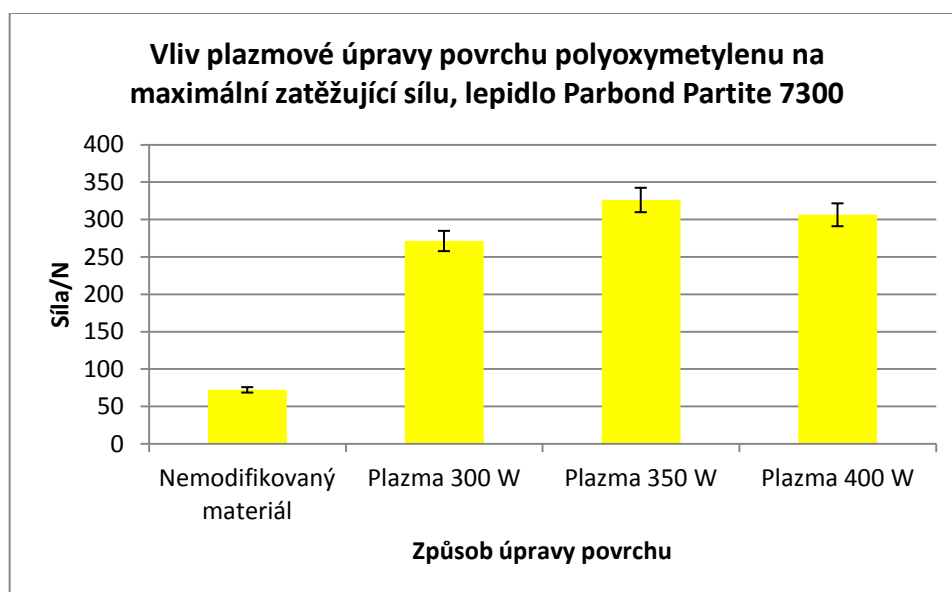
Obr. 38. Graf závislosti maximální zatěžující síly pro jednotlivé modifikace POM při použití lepidla Cyberbond E705.

Z vyhodnocení tahové zkoušky pro lepidlo Cyberbond E705 vyplývá, že při použití tohoto lepidla dosahujeme přibližně 3 až 11 % pevnosti oproti základnímu materiálu. Z toho je zřejmé, že použitá epoxidová lepidla nejsou vhodná pro pevnostní spoje polyoxymetyleny. Nicméně i zde je vidět pozitivní účinek plazmové modifikace povrchu materiálu, konkrétně při použití plazmy o výkonu 350 W došlo k téměř 3,5 násobnému nárůstu pevnosti lepeného spoje proti nemodifikovanému materiálu.

9.4.5 Pevnost lepených spojů PA66 za použití lepidla Parbond Partite 7300

Tab. 22. Hodnoty měření maximální zatěžující síly materiálu, Parbond Partite 7300.

POM - Hodnota F_{\max} [N] pro metakrylátové lepidlo Parbond Partite 7300				
č. měření	Nemodifikovaný materiál	Materiál modifikovaný plazmou		
		300 W	350 W	400 W
1	94,0	285,3	359,5	288,6
2	63,2	299,2	253,2	247,9
3	89,9	213,5	308,6	355,1
4	47,6	256,0	324,0	314,9
5	71,1	249,4	319,4	322,0
6	72,8	307,4	320,3	310,7
7	58,5	266,6	287,3	272,7
8	79,8	269,2	336,4	336,8
9	77,9	272,8	374,8	302,0
10	66,8	293,3	377,5	312,5
$\bar{x} \pm \delta$	$72,2 \pm 13,3$	$271,3 \pm 26,2$	$326,1 \pm 36,7$	$306,3 \pm 29,3$



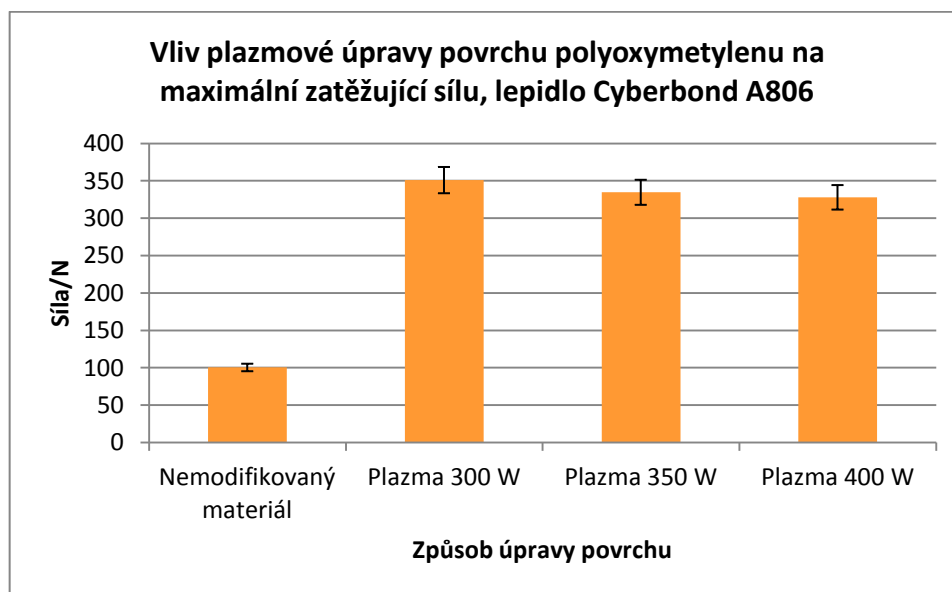
Obr. 39. Graf závislosti maximální zatěžující síly pro jednotlivé modifikace POM při použití lepidla Parbond Partite 7300.

Výsledky tahové zkoušky pro lepidlo Parbond Partite 7300 nám ukazují, že nemodifikovaný materiál dosahuje velmi nízké pevnosti, přibližně 3 % pevnosti základního materiálu. Ovšem po modifikaci povrchu materiálu plazmou dochází k téměř 5 násobnému nárůstu pevnosti lepeného spoje. Nejlepší pevnost vykazují vzorky modifikované plazmou o výkonu 350W, téměř 14 % pevnosti základního materiálu.

9.4.6 Pevnost lepených spojů POM za použití lepidla Cyberbond A806

Tab. 23. Hodnoty měření maximální zatěžující síly materiálu, Cyberbond E705.

POM - Hodnota F_{\max} [N] pro metakrylátové lepidlo Cyberbond A806				
č. měření	Nemodifikovaný materiál	Materiál modifikovaný plazmou		
		300 W	350 W	400 W
1	95,7	352,6	354,2	345,0
2	94,2	354,0	321,8	306,8
3	109,1	345,5	324,9	316,8
4	97,2	376,4	280,3	345,7
5	87,7	340,5	332,8	333,3
6	100,4	349,0	304,7	368,7
7	110,7	327,0	359,7	323,9
8	95,8	380,4	353,6	320,7
9	115,2	324,5	366,5	327,0
10	98,7	361,2	349,2	292,9
$\bar{x} \pm \delta$	$100,5 \pm 8,1$	$351,1 \pm 17,5$	$334,8 \pm 25,9$	$328,1 \pm 20,4$

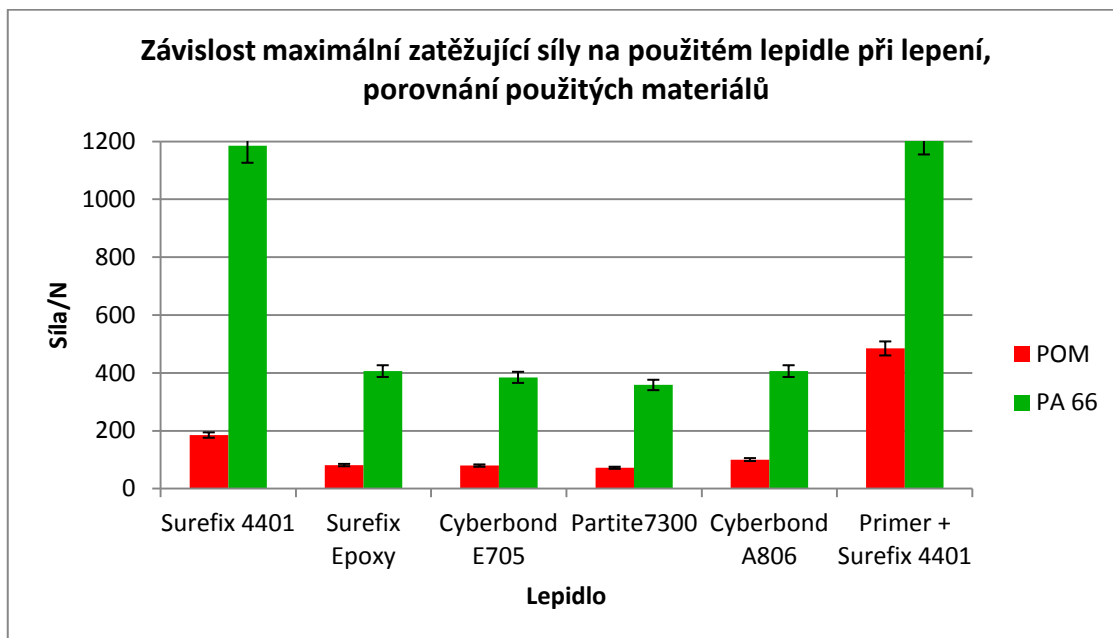


Obr. 40. Graf závislosti maximální zatěžující síly pro jednotlivé modifikace POM při použití lepidla Surefix Epoxy.

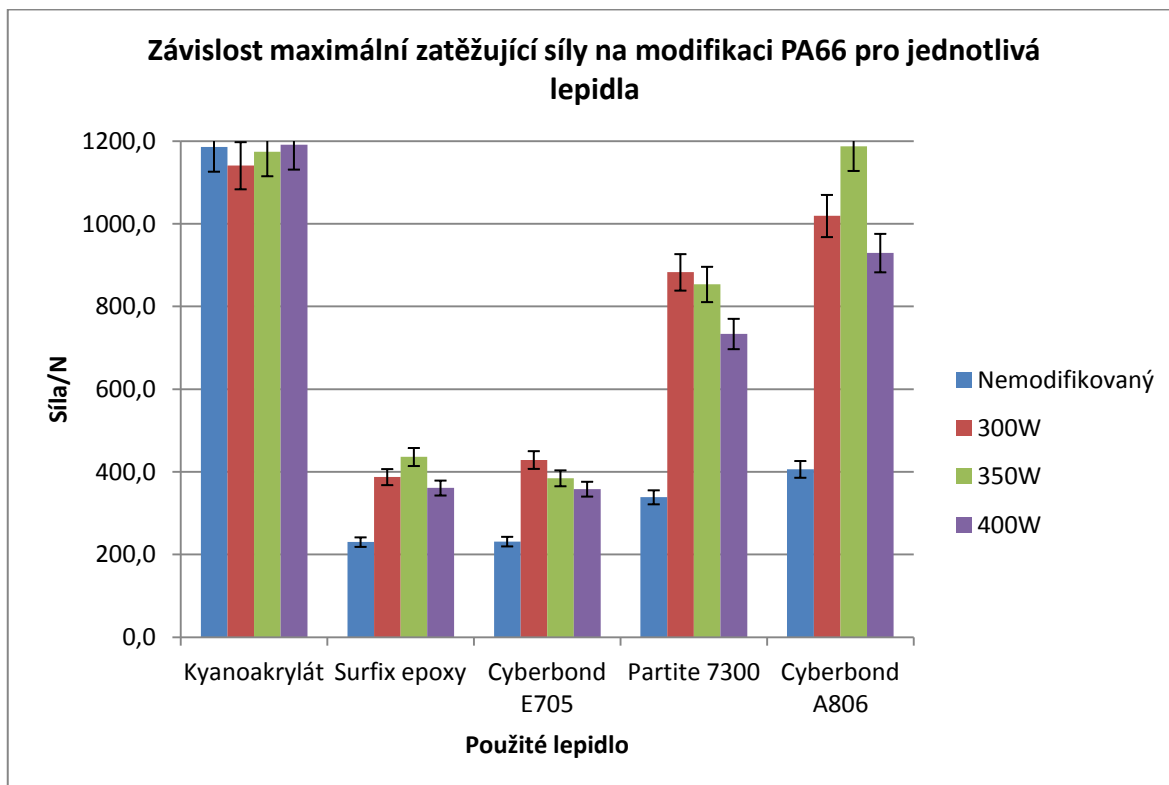
Při použití lepidla Cyberbond A806 jsme z naměřených hodnot zjistili, že pevnost lepeného spoje pro nemodifikovaný materiál odpovídá přibližně 4 % pevnosti základního materiálu. I zde dochází po úpravě materiálu plazmou téměř k 3,5 násobnému nárůstu pevnosti lepeného spoje. Nicméně ani při modifikace plazmou nedosahuje pevnost lepeného spoje více než 15 % proti základnímu materiálu. Z toho usuzují, že lepidlo Cyberbond A806 není ani po vhodné úpravě povrchu použitelné k úspěšnému lepení polyoxymetyleny.

9.5 Porovnání tahové zkoušky lepených spojů PA66 a POM

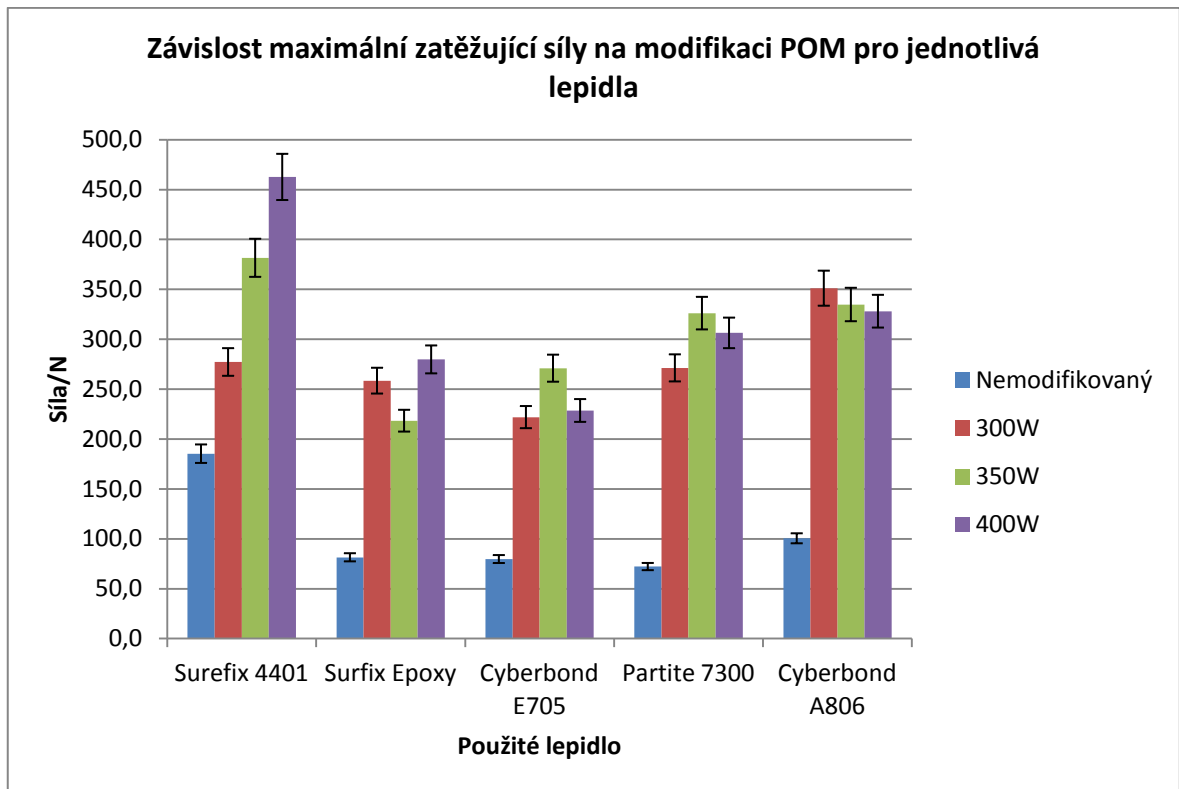
Porovnání hodnot maximální zatěžující síly při použití různých lepidel pro materiály PA66 (Tab. 12, Obr. 29, Obr. 30) a POM (Tab. 19, Obr. 35, Obr. 36).



Obr. 41. Porovnání tahové zkoušky lepených spojů jednotlivých lepidel.



Obr. 42. Graf závislosti maximální zatěžující síly na modifikaci PA66 pro jednotlivá lepidla.



Obr. 43. Graf závislosti maximální zatěžující síly na modifikaci PA66 pro jednotlivá lepidla.

Z grafického znázornění naměřených hodnot pro materiály polyamid 66 Technyl® A205F a polyoxymetylen Hostaform® C 27021 zpracovaných vstřikováním je zřejmá velmi podobná závislost při lepení povrchově nemodifikovaného materiálu. Nicméně polyoxymetylen vykazuje proti polyamidu 66 asi šestinásobně horší lepitelnost vzhledem k použitým lepidlům. Velmi dobrých výsledků lepení bylo dosaženo při použití kyanoakrylátového lepidla Surefix 4401 v kombinaci s primerem Loctite 7239. Pro oba materiály (PA66, POM) je použití primeru s kyanoakrylátovým lepidlem Surefix 4401 nejlepší možností ve vztahu k výsledné pevnosti lepeného spoje v jednoosém tahu. Pro polyamid 66 jsme dosáhli rovnocenného výsledku s lepidlem Cyberbond A806 při modifikaci plazmou o výkonu 350 W (Obr. 42).

ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá problematikou tvorby lepených spojů polymerů a vlivem plazmové úpravy povrchu na pevnost lepeného spoje. Součástí praktické části je popis použitých adheziv a adherendů, výroba a příprava zkušebních těles a samotné jejich zhotovení. Také je zde popsán provedený experiment zjištění kontaktního úhlu smáčení v závislosti na plazmové modifikaci povrchu materiálu. Dále je zde popsáno vlastní měření na trhacím stroji Zwick 1456, na kterém byly zkoušky prováděny. Pro experiment byly vybrány dva druhy obtížně lepitelných polymerů a pět různých lepidel. Jednalo se o lepidlo kyanoakrylátové (Surefix 4401), dva zástupci epoxidových lepidel (Surefix Epoxy, Cyberbond E705) a dva zástupci dvoukomponentních metakrylátových lepidel (Parbond Partite 7300, Cyberbond A806).

Použité materiály byly zkoumány ve vztahu k modifikaci povrchu polymeru před lepením. Byla použita úprava povrchu plazmou o třech výkonech (300 W, 350 W a 400 W) a pro kyanoakrylátové lepidlo použití primeru (Loctite 7239). Aplikaci primeru bych považoval za nejjednodušší a nejlevnější možnost úpravy povrchu, v porovnání s použitými úpravami povrchu a lepidly. Zároveň jsme dosáhli nejvyšší pevnosti pro oba testované polymery při použití tohoto primeru. Při lepení polyamidu 66 bylo dosaženo velmi dobrých výsledků při kombinaci modifikace plazmou a dvoukomponentních metakrylátových lepidel. Použitá epoxidová lepidla mají v porovnání s metakrylátovými lepidly asi poloviční pevnost při lepení polyamidu 66. Té je dosahováno při modifikaci materiálu plazmou.

Experimentální měření vlivu plazmové úpravy povrchu na pevnost lepeného spoje nám ukázalo, že pro použitý materiál polyamid 66 Technyl® A205F je úprava plazmou před lepením velmi přínosná a modifikovaný materiál lze poměrně dobře lepit. Naproti tomu u použitého polyoxymetylenu Hostaform® C 27021 je lepitelnost velmi slabá i po modifikaci. Nemodifikovaný materiál lze lepit jen velmi obtížně. Zde by bylo nutné použít lepidlo vhodné přímo pro tento materiál nebo jinou možnost spojování.

Porovnáním naměřených hodnot pevností při zkoumání vlivu plazmové úpravy povrchu na pevnost lepeného spoje a hodnot kontaktního úhlu smáčení dojdeme k závěru, že plazmová úprava povrchu výrazně zlepšuje smáčení povrchu kapalinou. Z toho je zřejmé, že použitím vhodného typu lepidla, jehož smáčivost výrazněji reaguje na povrchovou aktivaci, bychom dosáhli výrazného zlepšení výsledné únosnosti lepeného spoje.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Monografie:

- [1] OSTEN, Miloš. *Lepení plastických hmot*. 2., opr. vyd. Praha: SNTL – Státní nakladatelství technické literatury, 1974. 150 s.
- [2] OSTEN, Miloš. *Práce s lepidly a tmely*. 2., přeprac. vyd. Praha: SNTL – Státní nakladatelství technické literatury, 1986. 283 s.
- [3] POCIUS, Alphonsus V. *Adhesion and adhesives technology: an introduction*. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2002, xii, 319 s. ISBN 1569903190.
- [4] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymeric materials: structure, properties, applications*. Munich: Hanser Publishers, c2001. 277 s. ISBN 1569903107.
- [5] MLEZIVA, Josef a Jaromír ŠŇUPÁREK. *Polymery: výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. přeprac. vyd. Praha: Sobotáles, 2000. 537 s. ISBN 8085920727.
- [6] KOVAČIČ, Ludomír. *Lepenie kovov a plastov*. 1. vyd. Praha: SNTL – Státní nakladatelství technické literatury, 1980. 392 s.
- [7] SKEIST, I. *Handbook of Adhesives*. New York: Reinhold Publ. Corp. 1967.
- [8] BEDNAŘÍK, Martin. *Lepení polymerů*. Zlín, 2011. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce doc. Ing. David Maňas, Ph.D.
- [9] PETERKA, Jindřich. *Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství*. 1. vyd. Praha: SNTL – Státní nakladatelství technické literatury, 1980. 792 s.
- [10] Technyl® A205F, *Materiálový list*, Rhodia.
- [11] Hostaform® C 27021, *Materiálový list*, Celanese.

Internetové zdroje a online publikace:

- [12] Gregor, Miroslav. *Technologie a technika lepení [online]*. 2016.
<<http://www.lepidla.cz/cs/a/technologie-a-technika-lepeni--zakladni-informace.html>>.
- [13] *Loctite® [online]*. [cit. 2016-05-16]. Dostupný z WWW:
<<http://www.loctite.cz>>.
- [14] *Cyberbond® [online]*. [cit. 2016-05-16]. Dostupný z WWW:
<<http://www.cyberbond.de>>.

- [15] *Partite® [online]*. [cit. 2016-05-16]. Dostupný z WWW:
<<http://www.parsonadhesives.com>>.
- [16] *Surefix® [online]*. [cit. 2016-05-16]. Dostupný z WWW:
<<http://www.surefixindustrialsupplies.co.uk>>.
- [17] *Arburg [online]*. [cit. 2016-05-16]. Dostupný z WWW:
<<http://www.arburg.com>>.
- [18] *Metess [online]*. [cit. 2016-05-16]. Dostupný z WWW:
<<http://www.metess.cz/plazma.html>>.
- [19] BERAN, Rudolf. *Základy teorie lepení. ABC LEPIDLA [online]*. 2005 [cit. 2016-05-16]. Dostupný z WWW:
<http://www.abclepidla.cz/Files/file/files/Teorie_lepeni.pdf>.
- [20] LENFELD, Petr. Doplnkové technologie pro zpracování plastů: Technologie spojování plastů. *Technologie II [online]*. 1998/2005 [cit. 2016-05-16].
<http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/12.htm>.
- [21] Ausperger, Aleš. *Technologie zpracování plastů [online]*. 2016. ISBN 9788088058779. [cit. 2016-05-16]. Dostupný z WWW:
<<http://publi.cz/books/183/14.html>>.
- [22] Běhálek, Luboš. *Polymery [online]*. 2016. ISBN 9788088058687. [cit. 2016-05-16]. Dostupný z WWW:
<<http://publi.cz/books/180/13.html>>.
- [23] *Plasmatreat [online]*. [cit. 2016-05-16]. Dostupný z WWW:
<<http://www.plasmatreat.com>>.
- [24] *AFS Entwicklungs und Vertriebs GmbH [online]*. [cit. 2016-05-16]. Dostupný z WWW:
<<http://www.afs.biz/common/uploads/infomaterial/AFS%20Plasmajet%20e.pdf>>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ČSN	Česká technická norma
dB	Decibel
EN	Evropská norma
F_{\max}	Maximální zatěžující síla
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
Hz	Hertz
K	Kelvin
Kg	Kilogram
N	Newton
PA	Polyamid
PE	Polyetylen
PIB	Polyizobutylen
POM	Polyoxymetylen
PP	Polypropylen
PTFE	Polytetrafluóretylen
PUR	Polyuretan
PVC	Polyvinylchlorid
W	Watt
α	Součinitel délkové roztažnosti
δ	Směrodatná odchylka
τ	Smykové napětí ve střihu
°C	Stupeň Celsia
\bar{x}	Aritmetický průměr

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Adheze a koheze v lepeném spoji. [12]</i>	13
<i>Obr. 2. Schéma struktury lepeného spoje. [1]</i>	15
<i>Obr. 3. Smáčení povrchu kapalinami. [21]</i>	15
<i>Obr. 4. Základní typy nerovností lepených ploch. [1]</i>	17
<i>Obr. 5. Průběh napětí a deformace jednoduše přeplátovaného spoje. [9]</i>	19
<i>Obr. 6. Rozložení napětí ve vrstvě lepidla různého provedení spoje. [9]</i>	20
<i>Obr. 7. Přehled konstrukčních možností lepených spojů. [9]</i>	20
<i>Obr. 8. Typy plniv. [2]</i>	22
<i>Obr. 9. Vybrané vlastnosti polyamidu 66. [4]</i>	24
<i>Obr. 10. Vybrané vlastnosti polyoxymetyleny. [4]</i>	25
<i>Obr. 11. Namáhání lepeného spoje. [9]</i>	28
<i>Obr. 12. Zkouška ve smyku dle ČSN EN 1465. [9]</i>	28
<i>Obr. 13. Lánavosti dle ČSN 66 8511. [9]</i>	29
<i>Obr. 14. Odlupování dle ČSN 66 5816. [9]</i>	29
<i>Obr. 15. Surefix 4401</i>	33
<i>Obr. 16. Primer Loctite</i>	34
<i>Obr. 17. Surefix Epoxy</i>	34
<i>Obr. 18. Cyberbond E705</i>	35
<i>Obr. 19. Parbond Partite 7300</i>	35
<i>Obr. 20. Cyberbond A806</i>	36
<i>Obr. 21. Polotovár zkušební vzorku. [8]</i>	38
<i>Obr. 22. Připravený vzorek k lepení. [8]</i>	38
<i>Obr. 23. Vstřikovací stroj Arburg Allrounder 470H. [27]</i>	39
<i>Obr. 24. Schematické znázornění lepeného spoje</i>	41
<i>Obr. 25. Hotové zkušební těleso pro tahovou zkoušku</i>	41
<i>Obr. 26. Postup při měření kapkovou metodou. [3]</i>	42
<i>Obr. 27. Schematické znázornění kontaktního úhlu smáčení. [21]</i>	42
<i>Obr. 28. Trhací stroj Zwick 1456. [8]</i>	43
<i>Obr. 29. Graf závislosti maximální zatěžující síly pro jednotlivá lepidla</i>	45
<i>Obr. 30. Graf závislosti maximální zatěžující síly pro jednotlivé modifikace PA66 při použití lepidla Surefix 4401</i>	46

<i>Obr. 31. Graf závislosti maximální zatěžující síly pro jednotlivé modifikace PA66 při použití lepidla Surefix Epoxy.....</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 32. Graf závislosti maximální zatěžující síly pro jednotlivé modifikace PA66 při použití lepidla Cyberbond E705.....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 33. Graf závislosti maximální zatěžující síly pro jednotlivé modifikace PA66 při použití lepidla Parbond Partite 7300.....</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 34. Graf závislosti maximální zatěžující síly pro jednotlivé modifikace PA66 při použití lepidla Cyberbond A806.....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 35. Graf závislosti maximální zatěžující síly pro jednotlivá lepidla.....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 36. Graf závislosti maximální zatěžující síly pro jednotlivé modifikace POM při použití lepidla Surefix 4401.....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 37. Graf závislosti maximální zatěžující síly pro jednotlivé modifikace POM při použití lepidla Surefix Epoxy.....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 38. Graf závislosti maximální zatěžující síly pro jednotlivé modifikace POM při použití lepidla Cyberbond E705.....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 39. Graf závislosti maximální zatěžující síly pro jednotlivé modifikace POM při použití lepidla Parbond Partite 7300.....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 40. Graf závislosti maximální zatěžující síly pro jednotlivé modifikace POM při použití lepidla Surefix Epoxy.....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 41. Porovnání tahové zkoušky lepených spojů jednotlivých lepidel.....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 42. Graf závislosti maximální zatěžující síly na modifikaci PA66 pro jednotlivá lepidla.....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 43. Graf závislosti maximální zatěžující síly na modifikaci PA66 pro jednotlivá lepidla.....</i>	<i>58</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Součinitel délkové roztažnosti některých materiálů. [22]</i>	18
<i>Tab. 2. Přehled a charakteristika reaktivních lepidel. [19]</i>	23
<i>Tab. 3. Porovnání vybraných vlastností použitých lepidel.</i>	33
<i>Tab. 4. Vybrané vlastnosti materiálu Technyl® A205F. [10]</i>	37
<i>Tab. 5. Vybrané vlastnosti materiálu Hostaform® C 27021. [11]</i>	37
<i>Tab. 6. Parametry stroje Arburg Allrounder 470H. [17]</i>	39
<i>Tab. 7. Parametry PlasmaJet® G05P. [24]</i>	40
<i>Tab. 8. Výsledky kontaktního úhlu smáčení.</i>	42
<i>Tab. 9. Parametry trhacího stroje Zwick 1456. [8]</i>	43
<i>Tab. 10. Hodnoty zatěžující síly F_{max} základního materiálu PA66.</i>	44
<i>Tab. 11. Hodnoty měření maximální zatěžující síly PA66, porovnání jednotlivých lepidel.</i>	44
<i>Tab. 12. Hodnoty měření maximální zatěžující síly materiálu PA66, Surefix 4401.</i>	45
<i>Tab. 13. Hodnoty měření maximální zatěžující síly materiálu PA66, Surefix Epoxy.</i>	46
<i>Tab. 14. Hodnoty měření maximální zatěžující síly materiálu, Cyberbond E705.</i>	47
<i>Tab. 15. Hodnoty měření maximální zatěžující síly materiálu, Parbond Partite 7300.</i>	48
<i>Tab. 16. Hodnoty měření maximální zatěžující síly materiálu, Cyberbond E705.</i>	49
<i>Tab. 17. Hodnoty zatěžující síly F_{max} základního materiálu POM.</i>	50
<i>Tab. 18. Hodnoty měření maximální zatěžující síly POM, porovnání jednotlivých lepidel.</i>	51
<i>Tab. 19. Hodnoty měření maximální zatěžující síly materiálu POM, Surefix 4401.</i>	52
<i>Tab. 20. Hodnoty měření maximální zatěžující síly materiálu POM, Surefix Epoxy.</i>	53
<i>Tab. 21. Hodnoty měření maximální zatěžující síly materiálu, Cyberbond E705.</i>	54
<i>Tab. 22. Hodnoty měření maximální zatěžující síly materiálu, Parbond Partite 7300.</i>	55
<i>Tab. 23. Hodnoty měření maximální zatěžující síly materiálu, Cyberbond E705.</i>	56

SEZNAM PŘÍLOH

PI CD ROM