

Lepení LDPE

Miroslav Šimčík

Bakalářská práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Miroslav ŠIMČÍK**

Osobní číslo: **T09474**

Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Lepení LDPE**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracování literární studie na dané téma**
- 2. Příprava zkušebních vzorků pro experimentální část**
- 3. Provedení experimentu**
- 4. Vyhodnocení naměřených výsledků**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího práce

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Martin Bednařík

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

13. února 2012

Termín odevzdání bakalářské práce:

25. května 2012

Ve Zlíně dne 10. února 2012



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan





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

Příjmení a jméno: Šimčík Miroslav

Obor: Technologická zařízení

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 22. 5. 2012



.....

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 tutor 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

Cílem této práce je v teoretické části shrnout poznatky o technologii lepení, pomocí nichž získáme základní znalosti této problematiky, které jsou nezbytné pro následné využití v praxi. Navazující praktická část pojednává o přípravě zkušebních vzorků a měření pevnosti vzniklých lepených spojů na trhačce.

Klíčová slova: LDPE, lepení, lepidlo, lepený spoj, adheze, koheze, pevnost, primer, radi-
ační síťování.

ABSTRACT

The aim of this work in the theoretic part is to summarize knowledge about technology of bonding, from which we get the basic knowledge of these issues, which are necessary for next using in practice. The following practice part is about preparation of specimens and measuring strength of bonding joints in the testing machine.

Keywords: LDPE, adhesive bonding, adhesive, bonded joint, adhesion, cohesion, strength, primer, radiation crosslinking.

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce, Ing. Martinu Bednaříkovi, za cenné rady, spolupráci a čas, který mi při realizaci této práce věnoval.

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

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 ÚVOD DO TECHNOLOGIE LEPENÍ	13
1.1 HISTORICKÝ VÝVOJ LEPENÍ	13
1.2 TEORIE LEPENÍ	13
1.3 TEORIE ADHEZE.....	14
1.3.1 Teorie mechanické adheze	15
1.3.2 Teorie specifické adheze	16
1.4 TEORIE KOHEZE.....	16
1.5 STRUKTURA LEPENÉHO SPOJE A FÁZE JEHO VZNIKU	16
1.6 VÝHODY A NEVÝHODY LEPENÝCH SPOJŮ	17
2 ČINITELÉ OVLIVŇUJÍCÍ KVALITU LEPENÉHO SPOJE	19
2.1 POVRCH LEPENÉHO MATERIÁLU (ADHERENDU).....	19
2.1.1 Čistota povrchu	19
2.1.2 Rovnost a hladkost povrchu	19
2.1.3 Porézita a nasákavost	20
2.1.4 Smáčivost	20
2.1.5 Tloušťka a tuhost materiálu.....	21
2.1.6 Soudržnost povrchu materiálu.....	21
2.1.7 Chemická účinnost adherendu a jeho složení	21
2.1.8 Rozpustnost a bobtnavost.....	22
2.1.9 Teplotní délková roztažnost	22
2.2 LEPIDLO (ADHEZIVO)	22
2.2.1 Složení a tvar makromolekuly	22
2.2.2 Polymerační stupeň	22
2.2.3 Viskozita lepidla.....	22
2.2.4 Homogenita lepidla	23
2.2.5 Struktura a složení plniva.....	23
2.2.6 Objemová stálost filmu lepidla	24
2.2.7 Defekty ve vrstvě lepidla	24
2.3 PROVEDENÍ LEPENÉHO SPOJE.....	25
2.3.1 Konstrukce lepených spojů	25
2.3.2 Předběžné úpravy povrchů	27
2.3.3 Příprava lepících směsí	27
2.3.4 Nanášení lepidla	27
2.3.5 Doba otevřeného a uzavřeného sestavení spoje	28
2.3.6 Vliv fixace a tlaku	28
2.3.7 Vliv teploty na rychlost tuhnutí lepidla ve spoji	28
3 POSTUP PŘI VÝBĚRU LEPIDLA	29
3.1 URČENÍ LEPENÉHO MATERIÁLU	29
3.1.1 Identifikační zkoušky polymerů.....	29
3.2 POŽADOVANÉ VLASTNOSTI SPOJE.....	30
3.2.1 Mechanické vlastnosti	30

3.2.2	Tepelná odolnost	31
3.2.3	Odolnost vůči vodě a vlhkosti	31
3.3	PROVOZNÍ A TECHNICKÉ PŘEDPOKLADY	31
4	PŘEHLED LEPIDEL	33
4.1	HLAVNÍ SLOŽKY LEPIDLA	33
4.2	ROZDĚLENÍ.....	33
4.2.1	Podle fyzikálního stavu	33
4.2.2	Podle původu.....	34
4.2.3	Podle způsobu dosažení pevnosti spoje	35
4.2.4	Podle teploty zpracování	35
4.2.5	Podle složení	35
4.2.6	Podle obsahu rozpouštědel.....	35
4.2.7	Podle chemické reakce lepidla	36
4.2.8	Podle účelu	36
4.2.9	Podle tvaru	36
II	PRAKTICKÁ ČÁST	37
5	CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	38
6	VOLBA MATERIÁLU A LEPIDEL	39
6.1	POUŽITÝ MATERIÁL – LDPE	39
6.1.1	Charakteristika LDPE	40
6.1.2	Lepení LDPE.....	40
6.2	POUŽITÁ LEPIDLA	40
6.2.1	Cyberbond 1008	41
6.2.2	Cyberbond 2008	42
6.2.3	Cyberbond 2028	42
6.2.4	Plexus MA 300.....	42
7	ZHOTOVENÍ LEPENÝCH SPOJŮ A MĚŘENÍ JEJICH PEVNOSTI	43
7.1	VÝROBA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ A POSTUP PŘI KONSTRUKCI SPOJŮ	43
7.1.1	Vstříkovací stroj ARBURG ALLROUNDER 420C Advance	43
7.1.2	Tvar a rozměry zkušebních vzorků	44
7.1.3	Příprava zkušebních vzorků a lepidel	44
7.1.4	Konstrukce lepeného spoje	46
7.1.5	Využití forem a postup při lepení.....	46
7.2	ÚPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	47
7.2.1	Aktivace spoje primerem (Primer Cyberbond 9056)	47
7.2.2	Radiační síťování	48
7.3	MĚŘENÍ PEVNOSTI LEPENÝCH SPOJŮ	50
8	VÝSLEDKY ZKOUŠEK	51
8.1	SEZNAM ZHOTOVENÝCH LEPENÝCH SPOJŮ	51
8.2	VLIV RADIAČNÍHO SÍŤOVÁNÍ NA ZÁKLADNÍM NEROZSTRÍHANÉM VZORKU	52
8.3	PEVNOST LEPENÝCH SPOJŮ S POUŽITÍM LEPIDLA PLEXUS MA 300.....	53
8.4	PEVNOST LEPENÝCH SPOJŮ S POUŽITÍM LEPIDLA CYBERBOND 2008	54
8.5	PEVNOST LEPENÝCH SPOJŮ S POUŽITÍM LEPIDLA CYBERBOND 1008	55
8.5.1	Vliv radiačního síťování na pevnost spoje při použití lepidla Cyberbond 1008	56

8.6	PEVNOST LEPENÝCH SPOJŮ S POUŽITÍM LEPIDLA CYBERBOND 2028	58
8.6.1	Vliv radiačního síťování na pevnost spoje vzniklého použitím lepidla Cyberbond 2028	59
8.7	SROVNÁNÍ MAXIMÁLNÍCH ZATĚŽUJÍCÍCH SIL VŠECH LEPIDEL S AKTIVACÍ POVRCHU PRIMEREM A BEZ AKTIVACE.....	61
8.8	SROVNÁNÍ Vlivu radiačního síťování na pevnost spoje vzniklého použitím lepidel Cyberbond 1008 a Cyberbond 2028.....	61
8.9	SROVNÁNÍ MAXIMÁLNÍCH PEVNOSTÍ SPOJE V ZÁVISLOSTI NA ÚPRAVU VZORKU.....	62
	DISKUZE VÝSLEDKŮ	63
	ZÁVĚR	64
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	65
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	67
	SEZNAM OBRÁZKŮ	68
	SEZNAM TABULEK.....	70
	SEZNAM PŘÍLOH.....	71

ÚVOD

Technologie spojování konstrukčních materiálů pomocí lepidel je v současnosti nezbytná prakticky ve všech průmyslových odvětvích a vývoj jde neustále rychlými kroky kupředu. Pokud bychom chtěli nahlédnout do počátků vzniku lepení, museli bychom se vrátit až do raného období lidských dějin. Již v době kamenné používali lidé lepidla na bázi přírodních materiálů, jako jsou pryskyřice, kterými opravovali rozbitou keramiku nebo připevňovali hroty svým zbraním. Důležitým mezníkem v oblasti lepení bylo až 19. století, kdy byla vynalezena první syntetická lepidla, která jsou dominantní při využívání lepených spojů v dnešní době. [10]

Technologie lepení patří mezi nerozebíratelné spojování součástí stejných či různých materiálů za pomoci lepidla. Mezi hlavní přednosti této technologie ve srovnání s klasickými metodami spojování (nýtování, šroubování, svařování, sešívání) je možnost spojovat různé druhy materiálů. Lepením dosáhneme nepropustných spojů pro kapaliny a plyny, nenarušíme vzhled výrobku a mechanické vlastnosti, protože není nutné vrtat otvory pro spojovací prvky. Jednou z mnoha výhod je také to, že lepený spoj rozvádí vzniklé vnitřní pnutí při dynamickém namáhání mnohem rovnoměrněji, než kterýkoliv jiný mechanický spoj. Je však nezbytné uvažovat jak z hlediska technologie, tak i z hlediska ekonomie, která metoda spojování je pro daný prvek nejvhodnější. [4]

Nezbytnou součástí používání lepidel v praxi je znalost technologie lepení. Zvláště při lepení polymerů je nutné určit druh materiálu a tím zvolit i vhodné lepidlo. I když lepidla jako například epoxidová jsou všestrannější, nelze je používat jako univerzální. Jeden typ lepidla vhodný k lepení všech materiálů neexistuje. [2]

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ÚVOD DO TECHNOLOGIE LEPENÍ

Definicí slova lepení je vytváření nerozebíratelných spojení mezi dvěma tělesy stejných, nebo rozdílných materiálu pomocí vrstvy lepidla. Tento proces umožňuje získat spoje takových tvarů a vlastností, které pomocí klasických metod spojování nelze dosáhnout. [2]

1.1 Historický vývoj lepení

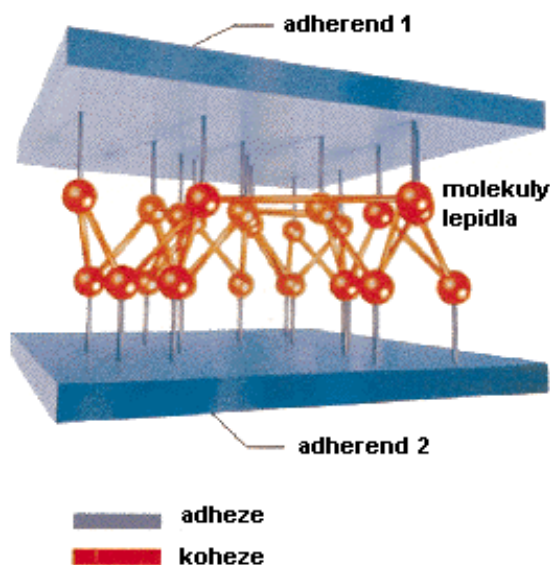
První lepidla vynalezl člověk již před 6000 tisíci lety. Tato primitivní přírodní lepidla byla na bázi pryskyřice a pravěcí lidé jej používali k opravě rozbitých nádob nebo zhotovování nástrojů. Až o několik tisíc let později dokládají nálezy výrobu prvních živočišných lepidel starých Egyptanů, která byla zhotovena ze směsi klíhu a křídý. Pomocí této lepicí složky připevňovali ozdoby na rakve a spojovaly dýhy. Přírodní lepidla však neměla moc dobré vlastnosti, protože neodolávala vodě, byla křehká a příliš se smršťovala. Na vznik prvního syntetického lepidla čekal svět až do počátku 19. století, kdy nejprve byla objevena nitrace celulózy a následně pak v roce 1872 byla v Americe postavena první továrna na celuloid. Teprve v roce 1912 byl na obuvnické výstavě v Bautzenu předveden výrobní postup lepené obuvi, zahrnující i speciální stroje pro nanášení lepidla Ago, a tím zahájil počátek průmyslového použití syntetických lepidel. Prakticky až do druhé světové války byly lepeny jen materiály, které byly schopny lepidlo vsáknout (dřevo, kůže, textil a papír). Od té doby šel vývoj lepidel ještě rychlejším tempem. Vznikala další nová lepidla (epoxidová, silikonová, kyanoakrylátová), která umožňovala i lepení polymerů nebo kovů a začalo docházet k masovému uplatnění technologie lepení ve všech průmyslových odvětvích. V současné době si můžeme vybrat z nepřeberného množství tisíců druhů lepidel, které vyrábí stovky firem. [1, 5]

1.2 Teorie lepení

Pro pevnost lepeného spoje má hlavní význam především adheze a koheze. Adhezí označujeme přilnavost lepidla k lepenému materiálu a kohezí vzájemnou soudržnost částic téhož materiálu. Je-li adheze lepeného spoje větší než koheze spojovaných materiálů, dojde při mechanickém namáhání k porušení materiálu mimo lepený spoj. Je-li naopak koheze lepeného materiálu větší než adheze lepeného spoje, dojde při mechanickém namáhání k destrukci lepeného spoje. [2]

Pro vznik soudržného spoje jsou nezbytné následující podmínky:

1. lepidlo musí být naneseno na obě stykové plochy a musí je v tekutém stavu smáčet,
2. musí být dány podmínky k tomu, aby se ve spáře vytvořil stejnoměrný film lepidla,
3. film lepidla musí ve spáře zatuhnout a vázat povrchy obou dílů. [2]



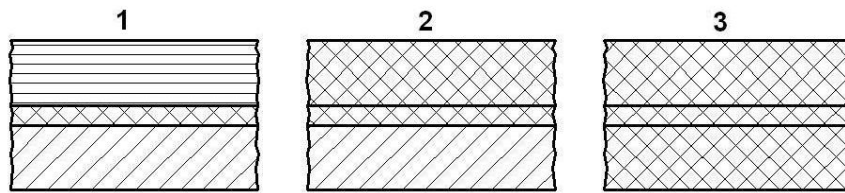
Obr. 1. Adheze a koheze v lepeném spoji. [11]

1.3 Teorie adheze

Adhezní síly vyvolávají přilnavost lepidla k lepenému materiálu (adherendu). Pokud bychom chtěli vyvolat vzájemnou přitažlivost mezi dvěma tuhými materiály bez použití lepidla, nikdy bychom toho nemohli dosáhnout. Kontaktní plochy by totiž musely být dokonale hladké, dokonale souběžné i dokonale čisté, a to nelze reálně splnit. [3]

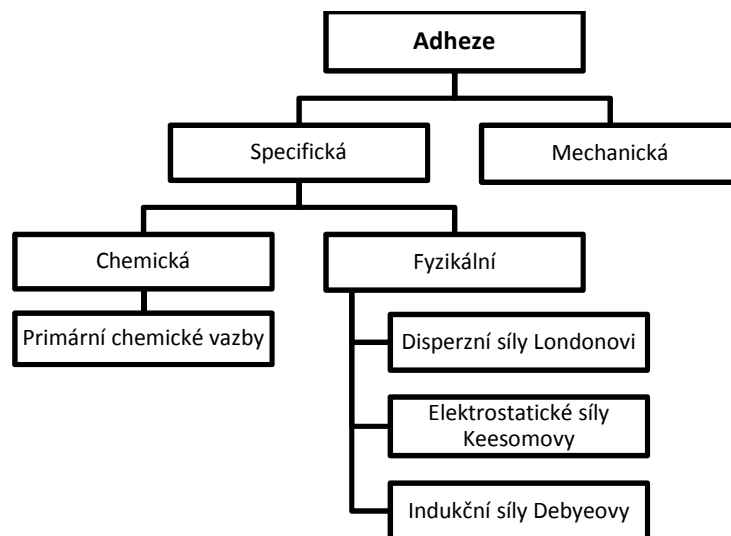
Přilnavost mezi dvěma pevnými látkami vzniká mnohem obtížněji než mezi povrchy pevných a měkkých, či tekutých látek. Kapalina se dokáže přizpůsobit nerovnostem povrchu pevného tělesa a z jeho mikropórů vypudí většinu pohlčených par a plynů [3]

Podle chemického složení lepidla a spojovaných materiálů můžou nastat různé druhy adheze. Je-li lepidlo a materiál stejného složení, jedná se o autoadhezi jednostrannou nebo oboustrannou. (Obr. 2) [3]



Obr. 2. Vztah lepidla k lepenému materiálu. [3]

1 – běžný adhezivní vztah – složení lepidla je odlišné od složení lepených dílů; 2 – jednostranná autoadheze – lepidlo a jedna z lepených ploch materiálu má stejné chemické složení; 3 – úplná autoadheze – lepidlo a oba lepené materiály mají stejné chemické složení.



Obr. 3. Přehled adhezivních vlivů. [3]

1.3.1 Teorie mechanické adheze

Mechanická teorie vychází s představy, že po proniknutí kapalného adheziva do trhlin a kavit lepeného povrchu, dojde po zatuhnutí adheziva k jeho zaklínění v povrchu adherendu. Teoreticky by zvýšená penetrace adheziva do povrchu adherendu měla vést k vyšší pevnosti spoje, avšak v praxi často dochází s poklesem viskozity adheziva k snížení pevnosti spojení následkem vzniku diskontinuálního adhezivního filmu. Proto někteří pozdější autoři začali uvažovat mimo mechanické zaklínění adhezivního filmu v povrchu adherendu i vliv mezifázových interakcí. [7]

1.3.2 Teorie specifické adheze

Podle novější, specifické teorie mají na jakost lepidla a na kvalitu spoje podstatný vliv především primární chemické vazby. Význam adheze způsobované mezimolekulární přitažlivostí (van der Waalsovými silami), označované jako fyzikální a zahrnující disperzní síly Londonovy a elektrostatické síly Kessomovy, které se podle dřívějších představ podílely na celkové adhezi s 80 %, ustupuje tím poněkud do pozadí. [4]

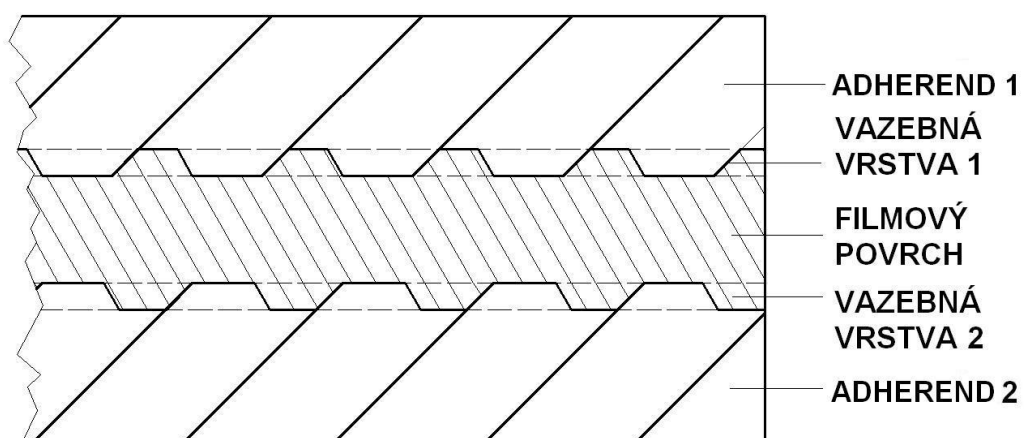
1.4 Teorie koheze

Koheze neboli soudržnost je jeden z faktorů ovlivňující kvalitu lepidla a lepeného spoje. Je to výsledek přitažlivých sil mezi jednotlivými molekulami a na její hodnotě závisí především dobré mechanické vlastnosti lepidla a také pevnost spoje. [6]

U kapalin koheze vystupuje zejména na povrchu a nazývá se povrchové napětí. V lepidlech se povrchové napětí uplatňuje současně s viskozitou a oba tyto činitele se podílí na lepivosti lepidla. Délka vlákna neboli tažnost lepidla je jedním s dalších znaků koheze. Pokud jsou vlákna dlouhá, tím vyšší je i viskozita a menší povrchové napětí. Krátké vlákna lepidla má malou viskozitu a velké povrchové napětí. [6]

1.5 Struktura lepeného spoje a fáze jeho vzniku

Každý konstrukčně pevný lepený spoj lze považovat za soubor pěti navzájem vázaných vrstev, kde míra adheze každé jednotlivé vrstvy k vrstvám sousedním i koheze vrstev může značně ovlivnit celkovou kvalitu lepeného spoje. [4]



Obr. 4. Struktura lepeného spoje. [4]

Spoj takové struktury může vzniknout jen za určitých podmínek. Zejména je důležité zvolit lepidlo, u něhož můžeme předpokládat maximální specifickou adhezi k dané hmotě. Lepidlo musí být nanášeno na jednu nebo obě styčné plochy, které musí dokonale smáčet. Po uzavření spoje se musí lepidlo ve spáře rovnoměrně rozvrstvit, musí proniknout do mikroskopických pórů povrchu a vytvořit aktivní film. Nakonec je třeba, aby lepidlo ve spáře přešlo z tekuté fáze do tuhé (u klasických tekutých lepidel) nebo z pevné fáze do tekuté a zpětně do fáze tuhé (u taveninových lepidel). [4]

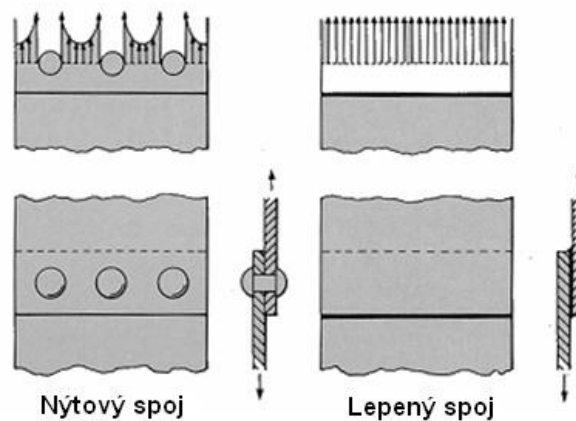
1.6 Výhody a nevýhody lepených spojů

Lepení umožňuje řešit případy spojů, které nelze dosáhnout jinými metodami spojování. Jako každá technologie spojování, má i lepení své přednosti a limitující faktory. Podle těchto předností a nedostatků lepených spojů z hlediska pevnosti, technologie a ceny se pak rozhodujeme jakou technologii nejvýhodněji zvolit. [1]

Tab. 1. Výhody a nevýhody různých metod spojování. [12]

	Metody spojování						
	Obloukové svařování	Bodové svařování	Laserové svařování	Pájení na tvrdo	Šroubování	Nýtování	Lepení
Možnosti spojování							
Kovy	částečně	částečně	částečně	většina	ano	ano	většina
Kombinace kovů	částečně	částečně	částečně	většina	ano	ano	většina
Plasty	ne	ne	ne	ano	ano	ano	ano
Keramika	ne	ne	ne	ano	ano	zřídka	ano
Pevnostní vlastnosti							
Únava při dynamickém zatěžování	velmi vysoká	nízká	vysoká	vysoká	střední	střední	vysoká
Tepelná odolnost	vysoká	vysoká	vysoká	střední	vysoká	vysoká	nízká
Stálost/Odolnost proti korozi	dobrá	trhlinová koroze	dobrá	kontaktní koroze	trhlinová koroze	trhlinová koroze	stárnutí
Speciální vlastnosti							
Deformace součástí	silná	střední	nízká	střední	ne	ne	nízká
Těsnost spoje	ano	ne	ano	ano	ne	ne	ano
Tlumení vibrací	nízké	nízké	nízké	nízké	nízké	nízké	vysoké
Separabilita	ne	ne	ne	omezená	ano	omezená	omezená
Technologie a testování							
Příprava spojovaných součástí	jednoduchá	velmi jednoduchá	střední	nákladná	jednoduchá	jednoduchá	nákladná
Celkový čas procesu spojování	střední	nízký	nízký	střední	vysoký	střední	vysoký

Mezi hlavní přednosti lepení patří především to, že nám dovoluje spojovat stejné nebo různorodé materiály bez ohledu na jejich tloušťku. Nenarušuje se celistvost spojovaných dílců a je možné docílit vodotěsného i plynotěsného spoje. Dále není narušován profil ani estetický vzhled lepeného dílce, protože není nutné vrtat otvory pro spojovací prvky. S tím souvisí i další výhoda, že lepený spoj rozvádí vzniklé vnitřní pnutí při dynamickém namáhání mnohem rovnoměrněji, než kterýkoliv jiný mechanický spoj (Obr. 5). Lepený spoj navíc tlumí vibrace v konstrukci a zvyšuje tuhost i vzpěrovou pevnost souboru. Výhodou je také, že lepením se nezvyšuje hmotnost souboru a spoje můžeme docílit průhledné i barevně přizpůsobené. Dobře odolává při namáhání ve smyku a rázové houževnatosti. K lepení není potřeba téměř žádných nároků na vybavení dílen, proto je tak hojně rozšířené nejen v průmyslových oborech ale i při individuálních pracích. [1, 2]



Obr. 5. Rozdílný průběh napětí mezi spoji. [14]

Hlavními nevýhodami lepených spojů je jejich nemožná demontáž oproti rozebíratelným spojům. Také jsou kladeny vysoké požadavky na rovnost a čistotu povrchu. Některé materiály se špatnými adhezními vlastnostmi je nezbytné před samostatným lepením speciálně upravit. Většina lepených spojů nedokáže odolávat vyšším teplotám a jsou citlivá vůči namáhání v odlupování. Lepení nelze provádět při nízkých teplotách a maximální pevnost spoje je dosažena až po určité době. Životnost reaktivních lepicích směsí je omezená, přičemž časové omezení také platí u skladovatelnosti většiny lepidel. [2]

2 ČINITELE OVLIVŇUJÍCÍ KVALITU LEPENÉHO SPOJE

2.1 Povrch lepeného materiálu (adherendu)

2.1.1 Čistota povrchu

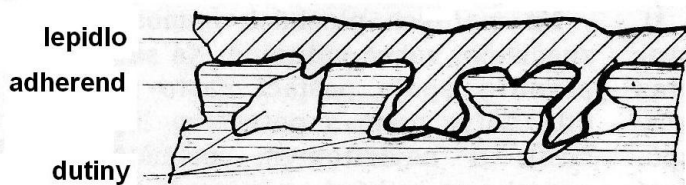
Je jedním z předpokladů pro dosažení soudržného spoje. Pokud jsou plochy znečištěné korozí, starými laky, zbytky předchozích lepidel, mastnotou, vosky, prachem, oleji a jinými kapalinami, nelze zaručit dokonalý styk lepidla s povrchem lepeného materiálu. Nejvíce jsou na znečištění citlivé spoje hladkých a neporézních materiálů, například kovů, skla a porcelánu. [2]

V podstatě můžeme považovat za nečistý každý povrch, který nebyl pro lepení zvlášť upraven. Čištění se provádí různými způsoby, podle složení materiálu, jeho struktury a požadovaného efektu. U tuhých kompaktních hmot se mechanicky odstraňují tenké povrchové vrstvy, v jiných případech postačí odmaštění rozpouštědly nebo smáčecími prostředky. [3]

2.1.2 Rovnost a hladkost povrchu

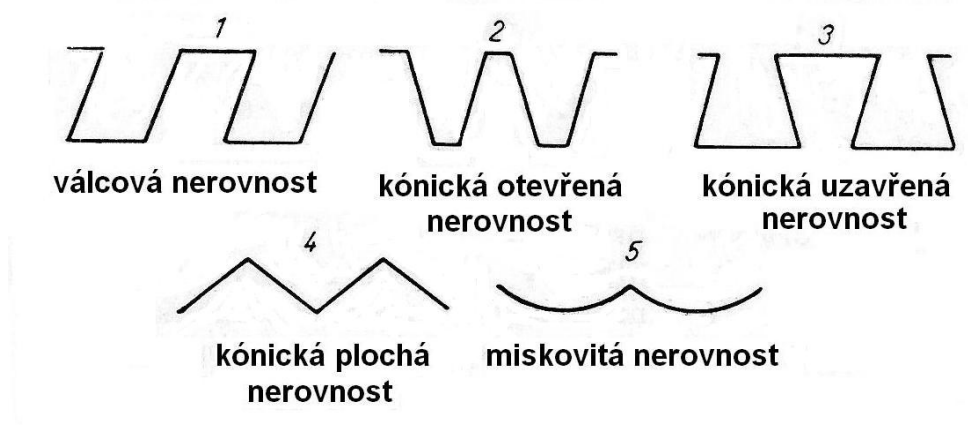
Rozlišujeme tyto tři druhy povrchu:

- povrch viditelný*, daný konstrukčními rozměry spoje,
- mikropovrch*, který zahrnuje veškeré nerovnosti a póry,
- povrch účinný*, což je část mikropovrchu smáčená lepidlem.



Obr. 6. Pronikání lepidla do mikropovrchu. [3]

Má-li se ve spoji vytvořit souvislý, stejnoměrný film lepidla, je nutné, aby stykové plochy obou adherendů byly maximálně souběžné. Geometrický povrch ovlivňuje zejména stejnoměrnost rozvrstvení lepidla ve spáře. Na účinný styk lepidla s povrchem má při dané viskozitě lepidla vliv tvar nerovností mikropovrchu. Tvarově výhodné zdrsnění povrchu může mít příznivý vliv na pevnost spoje. Pro vznik soudržného spoje mezi tuhými materiály jsou tedy výhodnější plochy hladce a ostře opracované, nikoli hrubě zdrsňované, nebo leštěné. Optimální hloubka zdrsnění se zpravidla uvádí 1 až 6 μm . [2, 4]



Obr. 7. Typy nerovností mikropovrchu. [3]

2.1.3 Porézita a nasákavost

Zvětšují plochu styku filmu lepidla a adherendu. Jestliže jsou splněny ostatní předpoklady pro vznik pevného spoje, poskytují nasákové a pro plyny propustné materiály k lepení obecně lepší podmínky než materiály nepropustné. Lepidlo díky porézitě rychleji vsakuje, a to tím více, čím méně je viskózní a negativně se tak podílí na vzniku chudého spoje. Je tedy nezbytné postarat se o správnou viskozitu, reaktivitu a dostatečný nános lepidla. [2]

2.1.4 Smáčivost

Smáčivost je vlastnost kapaliny přilnout k povrchu některých pevných látek a charakterizuje povrchové napětí lepidla. Hlavní předpoklad pro vytvoření kvalitního lepeného spoje je to, že by povrchové napětí lepidla mělo být nižší, než je hodnota povrchového napětí spojovaného materiálu. [6]

Smáčivost se měří okrajovým úhlem, který se vytvoří na hranici vodní hladiny a pevného tělesa. Čím je okrajový úhel menší, tím je smáčivost lepší. Pokud je okrajový úhel větší než 90° , změní se smáčivost v odpudivost. Dobrá smáčivost je tedy jednou z podmínek dobré lepidlosti lepidla. [6]



Obr. 8. Smáčení povrchu kapalinami. [13]

2.1.5 Tloušťka a tuhost materiálu

Tloušťka a tuhost lepeného materiálu je jedním s dalších kritérií pro vytvoření kvalitního spoje. Jestliže širší materiál je i méně ohebný, klesá se zvětšenou tloušťkou adherendů i pravděpodobnost deformace spoje a zvyšuje se jeho odolnost vůči dynamickému namáhání. Totéž platí i v opačném smyslu. [3]

Základními předpoklady pro vytvoření pevného spoje v závislosti na tloušťce a tuhosti materiálu jsou:

- a) spojují-li se dva tlustostěnné, zcela neohebné tvrdé materiály, používáme lepidla vytvářející tvrdý film, přičemž se snažíme dosáhnout maximálních hodnot ve smykové a rázové pevnosti,
- b) spojují-li se dva navzájem ohebné nebo pružné tenkostěnné materiály, vybíráme lepidla poskytující ohebný a vláčný film s kompromisními vlastnostmi jak do pevnosti ve smyku tak i v odlupování,
- c) spojuje-li se materiál ohebný nebo tenkostěnný s materiálem tvrdým a neohebným, musíme vybírat lepidla vytvářející tvrdý, avšak houževnatý film s maximální pevností v odlupování a dostatečnou pevností ve smyku. [3]

2.1.6 Soudržnost povrchu materiálu

Je dána složením adherendu, jeho strukturou, a také povrchovou úpravou. Obvykle platí vztah, že čím vyšší je objemová hmotnost materiálu, tím soudržnější je i jeho povrch.

Soudržnost je důležitá při zpracování lehčených pěnových hmot, kaširovaných vícevrstevných materiálů a skelných laminátů. U porézních materiálů lze soudržnost povrchu zvýšit impregnací zředěnými pojivy. [3, 4]

2.1.7 Chemická účinnost adherendu a jeho složení

K optimálnímu ovlivnění soudržnosti spoje jedním nebo oběma adherendy může nastat v případě autoadheze, nebo jsou-li dány podmínky pro vznik přímých chemických vazeb.

Velká opatrnost vůči negativnímu ovlivnění filmu lepidla adherendem musí být zachována při lepení měkčených PVC fólií. Změkčovadla obsažená v těchto materiálech mohou za určitých podmínek migrovat do filmu lepidla a postupně jej rozleptávat. [3]

2.1.8 Rozpustnost a bobtnavost

Mnoho termoplastických polymerů se rozpouští nebo bobtná v organických rozpouštědlech, která jsou obsažena v roztokových, popřípadě disperzních lepidlech. Při práci s kompaktními tlustostěnnými materiály je tato okolnost pro dosažení lepší adheze výhodou, kdežto při lepení folií, kdy může být příčinou deformace povrchu, není žádoucí. [4]

2.1.9 Teplotní délková roztažnost

Většina plastických hmot má 6 až 10krát větší délkovou roztažnost za tepla než klasické materiály. U kombinovaných spojů, není-li tomu zabráněno jejich zvláštním provedením, se tato vlastnost může stát příčinou vzniku pnutí a následné deformace nebo porušení spoje. Materiály s vysokou teplotní délkovou roztažností, pokud budou v lepeném souboru tepelně namáhány, musí být spojovány lepidly poskytujícími pružný film, který vyrovnává pnutí mezi adherendy. [3, 4]

2.2 Lepidlo (adhezivo)

2.2.1 Složení a tvar makromolekuly

Podstatou lepidel jsou filmotvorné, vesměs makromolekulární látky přírodního, nebo syntetického původu. Filmotvorné látky s lineární strukturou makromolekuly poskytují zpravidla termoplastický film lepidla, rozpustný v organických rozpouštědlech, v některých případech i ve vodě. Naopak filmotvorné látky, které mohou vytvořit makromolekulu trojrozměrné struktury, vytvářejí v lepené spáře film, který se teplem netaví a nerozpouští. [3]

2.2.2 Polymerační stupeň

Vliv polymeračního stupně polymeru obsaženého v lepidle je do značné míry protichůdný.

S narůstající délkou makromolekul stoupá viskozita roztoků, adheze k podkladu zpravidla klesá a koheze stoupá a naopak. S vyšším polymeračním stupněm se zpravidla také zlepšuje odolnost vůči teplu. Makromolekuly s nižším polymeračním stupněm lépe difundují do mikroskopických pórů povrchu. Zatímco makromolekuly vyššího polymeračního stupně jsou vhodnější pro vytvoření pevného filmu lepidla. [4]

2.2.3 Viskozita lepidla

Je mírou vnitřního tření v lepidle a je jedním s činitelů ovlivňující tokové vlastnosti. Závisí na obsahu a polymeračním stupni filmotvorné látky, obsahu a kvalitě plniva, na poměru

rozpouštědla k ředidlu a na teplotě. Čím je lepidlo viskóznější, tím hůře se nanáší a roztírá. V extrémním případě dochází až k nedokonalému smáčení mikropovrchu adherendu. U některých reaktivních lepidel (fenolických, rezorcinolových, močovinových a melaminových) viskozita stárnutím samovolně stoupá, a to tím rychleji čím vyšší je teplota prostředí. Proto je nezbytné taková lepidla skladovat v chladu při teplotách od 5 do 15 °C, při nichž polykondenzační reakce postupují jen velmi pomalu. Důležité je také uchovávat lepidla v původních uzavřených nádobách, protože viskozita se odpařováním zvyšuje. Viskozita se upravuje buď mícháním s lepidlem jiné viskozity, nebo přidávkem plniv. [3]

2.2.4 Homogenita lepidla

Homogenita lepících směsí je základním předpokladem pro vytvoření spolehlivého spoje. Pozornost je nutné věnovat zejména lepidlům s obsahem nerozpustných přísad a lepidlům vícesložkovým, která se musí před použitím důkladně promíchat. Aby došlo k dokonalému promísení všech složek lepidla, je především u reaktivních lepidel nutné zvolit správné pořadí přidávání plniva a tvrdidla. Nevhodným skladováním, nebo prošlou dobou životnosti může dojít k tvorbě usazenin. Taková lepidla jsou zpravidla již nepoužitelná. [3]

2.2.5 Struktura a složení plniva

Přídavek plniva v lepidle splňuje několiký účel. Zejména se jím reguluje viskozita a nepřímou tedy prosakování lepidla do podkladu a tloušťka filmu lepidla. Dále může plnivo sloužit k rozvedení vnitřního pnutí lepidla nebo k vyrovnání fyzikálních vlastností lepidla a lepené hmoty. Aplikují se jak plniva organická, tak plniva anorganická. [4]

Organická plniva, jako jsou škroby, dobře rozvádějí vnitřní pnutí v lepidle a pomalu sedimentují. Dřevité moučky se hodí především k zahušťování tmelů, protože negativně ovlivňují tokové vlastnosti lepidel. K přednostem organických plniv patří jejich měkkost, takže nevznikají problémy s opotřebením nástrojů při dodatečném obrábění. Nevýhodou je snižování vodovzdornosti a objemové stability filmu lepidla. [3]

Anorganická plniva lze rozdělit do tří skupin:

- a) *plniva s destičkovou strukturou* (kaolin, slída), která značně zvyšují konzistenci směsi a zhoršují mechanické vlastnosti spoje,
- b) *plniva s vláknitou strukturou* (azbest, skelná vlákna), jenž silně zvyšují viskozitu směsi, která se špatně nanáší,

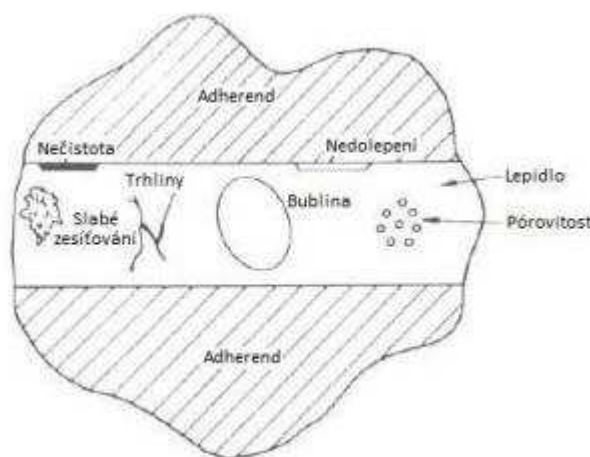
- c) *ostrohranná plniva* (mletý porcelán, vápenec, kovy), dovolující vysoký stupeň naplnění lepidla a zvýšení tepelné či elektrické vodivosti filmu lepidla. [3]

2.2.6 Objemová stálost filmu lepidla

Při tuhnutí lepidla ve spáře dochází k jeho objemovým změnám. Čím více je v lepidle obsaženo aktivních složek a plniv, tím menší jsou následné objemové změny. Nejméně se smršťují lepidla tavná a reaktivní, naopak nejvíce zmenšují objem lepidla rozpouštědlová a disperzní. [3]

2.2.7 Defekty ve vrstvě lepidla

Pokud se budeme přesně držet technologického postupu daného výrobcem, předejdeme vzniku nežádoucích vad. Každý malý defekt totiž působí jako koncentrátor napětí a může významným způsobem změnit rozložení napětí ve spoji, který by značně snížil maximální pevnost lepeného spoje. [21]



Obr. 9. Vady ve vrstvě lepidla. [21]

Pórovitost může být způsobena vniknutím vzduchu nebo vodní páry do lepidla. Jiným problémem je vznik bublin, které mohou vznikat při nesprávné aplikaci lepidla nebo jeho špatnými tokovými vlastnostmi. Tepelná dilatace materiálu zase způsobuje vznik trhlin. Jednou z dalších závad v lepeném spoji je špatná koheze, jejíž příčinou je špatné promíchání jednotlivých složek lepidla a nevhodné skladování lepidla. Nedostatečná adheze vzniká díky nanášení lepidla po začátku procesu vytvrzování. Je nezbytné vyvarovat se všem těmto defektům. [21]

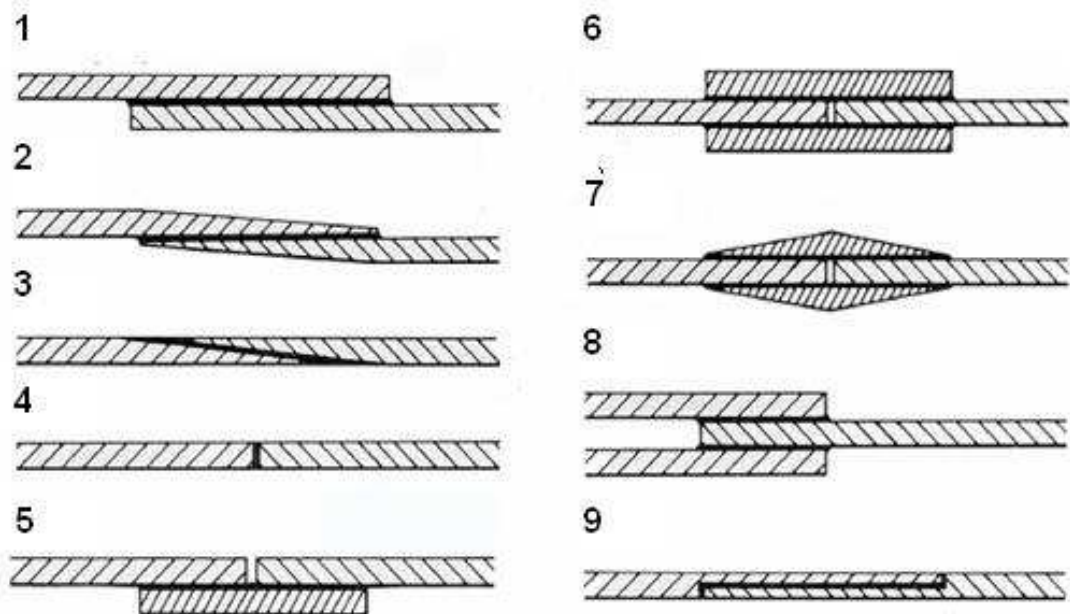
2.3 Provedení lepeného spoje

2.3.1 Konstrukce lepených spojů

Konstrukce lepených spojů musí být upraveny tak, aby byl spoj co nejméně namáhán na v odlupování a kroucení, na které je většina lepidel velmi citlivá. Namáhání se v takových případech soustřeďuje jen do určitých míst spoje, což vede k lokálnímu přetížení a poškození filmu lepidla. [3]

Při montáži lepených spojů tuhých materiálů je nezbytné přizpůsobit konstrukci tak, aby:

- bylo dosaženo zvětšení povrchu spoje,
- složitost spojovaných ploch byla co nejmenší,
- mechanické namáhání bylo rozděleno rovnoměrně a nesoustředilo se v místě spoje,
- spoj byl namáhán především v tahu a ve smyku. [2]

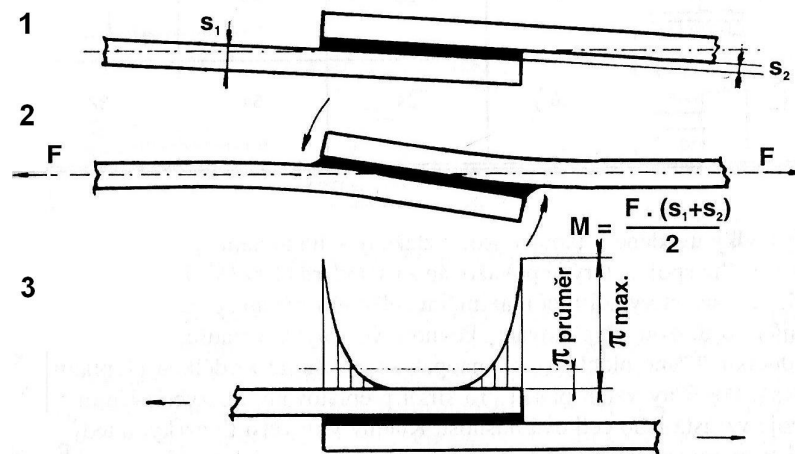


Obr. 10. Přehled konstrukčních možností lepených plochých spojů. [14]

1 – jednoduchý přeplátovaný spoj; 2 – zúžený přeplátovaný spoj; 3 – tupý zkosený spoj; 4 – tupý čelní spoj; 5 – přeplátovaný spojený pásem; 6 – dvojitě přeplátovaný spojený pásem; 7 – dvojitě přeplátovaný spoj se zúženými pásy; 8 – dvojitě přeložený spoj; 9 – stupňovitě přeložený spoj.

Velkoplošné spoje jsou nejjednodušším typem lepeného spoje. Využívají se při výrobě vícevrstvých materiálů – laminátů. Respektování požadavku materiálové symetrie souboru je nutné tehdy, spojujeme-li materiály s rozdílnou délkovou roztažností a materiály objemově nestálé. [3]

Překlátované spoje se využívají zejména při lepení tenkých materiálů. V těchto případech lze totiž zanedbat vliv ohybového momentu vznikajícího následkem excentricky zatíženého spoje u souborů tlustších adherendů. U jednostranně překlátovaných spojů se soustřeďuje tahové napětí především na obou koncích překlátování a působí zde jako síla podporující odlupování (Obr. 11).



Obr. 11. Deformace jednostranně překlátovaných spojů v důsledku excentrického působení sil. [2]

1 – jednostranně překlátovaný spoj před zatížením: s_1 tloušťka adherendu, s_2 tloušťka spáry; 2 – tentýž spoj deformovaný asymetrickým působením tahových sil (F) a ohybového momentu (M); 3 – rozdělení napětí v překlátovaném spoji.

Délka překlátování závisí na druhu materiálů a tloušťce lepených dílců a má být nejméně pětina násobek jejich tloušťky. Spoje oboustranně překlátované jsou co do smykové pevnosti asi o 30 % odolnější, než jednoduše překlátované spoje. [3]

Násuvné spoje neboli trubkové spoje jsou obdobou překlátovaných plochých spojů. Osvědčují se zejména při spojování trubek z lehkých kovů a plastů. [3]

Spoje čelních ploch jsou použitelné jen pro dostatečně tlusté materiály (spodní limit 30 až 50 mm). Při spojování tenkých adherendů musí být spoje čelních ploch vhodně upraveny zvětšením geometrického povrchu. Toho lze dosáhnout buď úkoso, anebo vhodně tvarovanými drážkami. [3]

2.3.2 Předběžné úpravy povrchů

Jsou důležité pro dosažení maximální pevnosti spoje a mají tento účel:

- obrobením povrchu a odstraněním separačně působících látek se umožní přímý a rovnoměrný styk lepidla s hmotou,
- chemickou nebo fyzikální aktivací se podle potřeby zlepší adhezní vlastnosti podkladu,
- v zájmu dobré kvality spoje se někdy slepované materiály předem tepelně nebo klimaticky upravují,
- okolí spoje se chrání před znehodnocením lepidlem. [4]

2.3.3 Příprava lepicích směsí

Ne vždy lze lepidla zpracovávat přímo ve stavu, v jakém byla dodána. Lepidla uskladňovaná ve studených místnostech se před použitím musí temperovat na normální pracovní teplotu. Jindy je pro zajištění stejnoměrného rozlivu a tloušťky nánosu nezbytná úprava viskozity buď přidávkem ředidla, nebo naopak přimísením vhodného plniva. K promíchání jednotlivých složek se používá různých typů míchacích strojů. [4]

2.3.4 Nanášení lepidla

Jedním z předpokladů vzniku soudržného spoje je i rovnoměrný, souvislý a přiměřeně tlustý film lepidla ve spáře. Většina lepidel nabývá optimálních adhezních vlastností tehdy, pohybuje-li se tloušťka ztuhlého filmu lepidla ve spáře v rozmezí hodnot 0,05 až 0,25 mm. Mimo uvedené rozmezí se zpravidla prudce sníží pevnost spoje. [2]

Lepidlo musí být nanášeno v takovém stavu, aby v určitém momentu zpracování vytvořilo tekutou rozplývavou vrstvu, která smáčí mikropóry povrchu. Limitujícím činitelem pro nános lepidla je pórovitost, tloušťka a struktura adherendů. Při nalepování tenkých a porézniích materiálů, u nichž nemůžeme vyloučit prosáknutí lepidla na lícovou stranu adherendu, musí být nános vždy co nejúspěšnější, ale natolik dostatečný, aby postačil ke smáčení obou kontaktních ploch. [2, 3]

Způsob nanášení lepidla může být jednostranný i oboustranný. Oboustranný nános lepidla je vhodný při použití lepidel rozpouštědlových a disperzních. Dává vždy větší jistotu, že budou smáčeny oba povrchy. Jednostranného nánosu lepidla se zpravidla používá při práci s lepidly reaktivního typu, při zpracování lepidel tavných a citlivých na tlak (lepicí pásy). [2, 3]

2.3.5 Doba otevřeného a uzavřeného sestavení spoje

Dobou otevřeného sestavení spoje je časový interval počínající okamžikem nanesení tekutého lepidla a končící přiložením druhé lepené plochy. Závisí na složení lepidla, jeho reaktivitě a nánosu, dále na teplotě okolí a porézitě podkladu. Doba otevřeného sestavení spoje nesmí překročit limit pracovní životnosti lepidla. Některá kontaktní lepidla dovolují otevření spoje až 30 minut. U reaktivních lepidel je tato doba podstatně kratší. [3]

2.3.6 Vliv fixace a tlaku

Důležitou operací před vyvozením tlaku na spoj je zajištění fixace, neboli zabezpečení vzájemné polohy lepených dílců. Je to nutné z toho důvodu, že mnoho lepidel v první fázi tuhnutí nejprve řídne, takže dílce nezajištěné proti posuvu mohou snadno změnit svoji polohu. K nežádoucímu posunu dílců může také dojít až po zavedení tlaku, nebo po zvýšení teploty, proto se proti posunutí spoj zajišťuje utažením mezi svorníky, zachycením lepicí páskou, či podepřením. [3]

Správně zvoleným tlakem na spoj lze dosáhnout stejnoměrného rozvrstvení lepidla ve spáře i vyrovnání menších nerovností u poddajných hmot. Tlak musí zásadně působit kolmo na lepené plochy a nesmí být příliš velký, aby nedocházelo k vytlačení lepidla ze spáry. [3]

2.3.7 Vliv teploty na rychlost tuhnutí lepidla ve spoji

Má-li se ve spoji vytvořit film lepidla schopný adheze, musí lepidlo přejít z fáze tekuté do fáze tuhé. Rychlost tuhnutí lepidla ve spoji může být ovlivněna jak teplotou okolí, tak uměle připraveným teplotním režimem. [3]

Rozlišujeme proto:

- lepení za normální teploty (15 až 25°C),
- lepení za tepla (30 až 100°C),
- lepení za horka (nad 100°C).

Při lepení za normální teploty je důležité sledovat spodní teplotní hranici, protože při nižších teplotách, než je doporučeno, rozpouštědlová lepidla jen pomalu vysychají a u reaktivních lepidel se zpomalují, až zastavují reakce vedoucí k vytvrzení. Při lepení za vyšších teplot musíme zase dbát na to, abychom nepřekročili hranice tepelné odolnosti spojovaných hmot. Zvýšená teplota také nesmí být příčinou vzniku pnutí mezi dvěma materiály s podstatně rozdílnou teplotní délkovou roztažností. [3, 4]

3 POSTUP PŘI VÝBĚRU LEPIDLA

Nejprve je nutné si uvědomit, že neexistuje lepidlo, které by bylo univerzální a použitelné pro všechny druhy materiálů. Některé materiály lze slepit jen po speciální předchozí úpravě povrchu, která při individuálních pracích nebývá možná. Prvním směrníkem při výběru lepidla je znalost složení, struktury a propustnosti plynů u obou lepených dílců. Jejich složení určuje druh lepidla z hlediska specifické adheze k oběma povrchům. Podmínkou při výběru lepidla z hlediska jeho složení a způsobu tuhnutí ve spoji jsou struktura a propustnost plynů. [2]

3.1 Určení lepeného materiálu

Je jednoduché poznat na první pohled materiály jako dřevo a jeho aglomeráty, pryž, kůže, tkaniny, sklo, porcelán, cementové výrobky a běžné druhy kovových slitin. Složitější případ nastává u určení plastů, jejichž sortiment je velmi široký. [2, 13]

3.1.1 Identifikační zkoušky polymerů

I bez použití analytických přístrojů dokážeme identifikovat základní druhy plastů. Postačí nám k tomu základní charakteristické vlastnosti, jako je vzhled, chování v plameni, hustota či houževnatost. [15]

Na základě vzhledu lze provést prvotní charakterizaci polymeru. Už podle tvaru výrobku (fólie, vlákna, výlisek) lze usuzovat, o jaký polymer se pravděpodobně může jednat. Také optické vlastnosti a samotný povrch polymerního materiálu, jako je drsnost, lepivost a omak, nám mohou poskytnout důležité informace. [16]

Rychlou a průkaznou zkouškou k identifikaci druhu polymeru je zkouška plamenem. K přesnému určení je však nezbytné analyzovat čistý polymerní materiál. V opačném případě lze očekávat značný vliv přísad, které silně ovlivňují hoření, zhášení plamene, vývoj sazí a hoření po vyjmutí z plamene. Zkouška se provádí tak, že se sledovaný vzorek polymerního materiálu drží v kleštích těsně nad plamenem. V průběhu se sleduje hoření materiálu nad plamenem a následně jeho chování po vyjmutí. Výsledky pozorování se orientačně porovnávají (Tab. 2). Nejsou-li výsledky jednoznačné, může se pozorování doplnit zkouškou hustoty, houževnatosti, či chováním plastu při suché destilaci. [16]

Tab. 2. Zkoušky plastických hmot plamenem. [13]

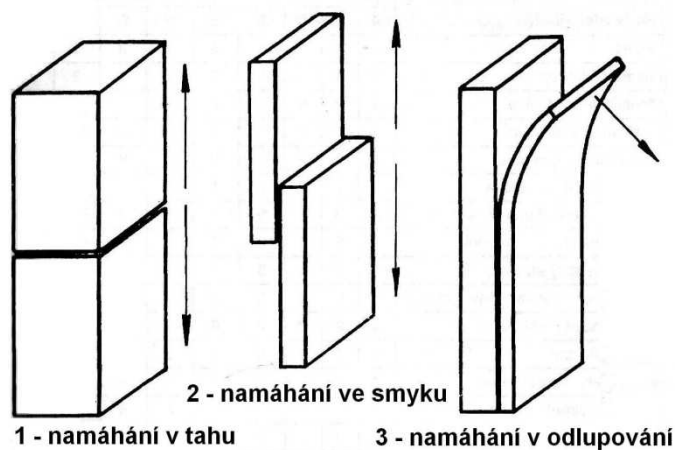
Hmota	Barva, charakter plamene	Zápach dýmu	Průvodní jev	Pravděpodobné báze
hoří i po vyjmutí z plamene	prudké vzplanutí, plamen intenzivně bílý	nahořklý, částečně po kafru	chloupky sazí na okraji příškvarku	celuloid
	žlutě oranžový, svítivý, čadivý	nasládlý, aromatický	tavenina odkapává, vlákno se táhne	PS
	žlutě oranžový, svítivý, čadivý	nasládlý, aromatický, částečně po spálené gumě	příškvár gumovitý, změklý, zduřelý, vlákno se netáhne	ABS
	modrý, prskající, s bílým okrajem	nasládlý, po květinách	tavenina odkapává	PMMA
	modrý, klidný, s bílým okrajem	po taveném vosku	tavenina odkapává, vlákno se trhá	PE
	modrý, klidný, s bílým okrajem	po taveném vosku	tavenina odkapává, vlákno se trhá	PP
	žlutý, čadivý	čpavý, nahořklý, po formalinu a fenolu	netaje, okraje zuhelnatělé, v okolí puchýřky	fenoplast
žlutooranžový s bílým okrajem	žlutooranžový s bílým okrajem	po spálené rohovině	tavenina odkapává, vlákno se táhne	PA
	žlutý se zeleným pásmem u základny, svítivý, klidný	ostře kyselý	zduřelý černý příškvár	PVC
	neklidný, červenooranžový	aromatický	příškvár zduřelý, zuhelnatělý	PC
nehoří vůbec	nehoří	ostrý, nakyslý	hmota se rozkládá	teflon

3.2 Požadované vlastnosti spoje

Podstatným hlediskem při výběru 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 povětrnosti, případně další požadavky. Není možné vždy vyhovět všem nárokům současně, a proto je třeba uvážit, které jsou nejdůležitější z hlediska funkce a volit kompromisní řešení. [2]

3.2.1 Mechanické vlastnosti

Lepený spoj může být zatěžován buď staticky (smykem, tahem, odlupováním), nebo dynamicky (chvěním, opakovanými rázy, kroucením). Nejméně odolávají lepidla namáhání v odlupování. Dynamickému namáhání odolávají nejlépe spoje z epoxidových lepidel. [2]



Obr. 12. Namáhání lepeného spoje. [2]

3.2.2 Tepelná odolnost

Tepelně odolné spoje poskytuje mimo anorganických pojiv a silikonových pryskyřic také většina termoreaktivních pryskyřic, zejména typy vytvrzené za vyšší teploty. K běžným lepidlům, která odolávají teplotám trvale alespoň do 100 °C, patří lepidla fenolická, polyuretanová a epoxidová. Na zvýšení tepelné odolnosti se podílí také přísady minerálních plniv a kovových prachů. [2]

3.2.3 Odolnost vůči vodě a vlhkosti

Druhy lepidel jako škrobová, dextrinová, glutinová, lepidla na bázi polyvinylalkoholu a karboxymethylcelulosy nejsou voděodolná. Naopak dobrou odolnost vůči vodě a vlhkosti mají po vytvrzení lepidla fenolická, polyuretanová epoxidová i samovulkanizující lepidla kaučuková. Z oblasti termoplastu jsou to roztoková lepidla na bázi chlorovaného polyvinylchloridu, polystyrenu a polymethylmetakrylátu. [2]

3.3 Provozní a technické předpoklady

Výběr lepidla závisí i na době, po které chceme slepený soubor použít. U některých typů lepidel je potřeba delšího času k zatuhnutí lepeného spoje. Velmi rychle tuhnutí lepidla naopak nevyhovují tam, kde je zapotřebí delší doby k sestavení souboru, nebo kde je nutné před zatuhnutím se spojem posunovat. V domácí, nebo dílenské praxi, kde nejsou k dispozici speciální zařízení a kde doba tuhnutí nemá prvořadý význam, používáme lepidla tuhnutí za normální teploty a především taková, která mohou být zpracována přímo, bez dodatečných úprav viskozity a přesného dávkování tvrdidel. Pro rychlé, malé opravy jsou

nejvhodnější kyanoakrylátová lepidla. Nejsou však vhodná k lepení velkých a obtížně sestavovatelných ploch. Zvýšením teploty na 50 až 80 °C lze urychlit tuhnutí lepidla. Při nízkých teplotách pod 10 až 15 °C probíhá proces lepení velmi pomalu. K opracování nebo mechanickému namáhání přistupujeme nejčastěji až po 24 hodinách. [2]

4 PŘEHLED LEPIDEL

4.1 Hlavní složky lepidla

Rozlišujeme tyto základní složky, ze kterých se lepidlo skládá:

1. *Adhezivní základ.* Je to látka, která má dodat lepidlu a zhotovenému spoji určité požadované vlastnosti, zejména pevnost a odolnost.
2. *Nosné medium.* Podle formy lepidla to může být rozpouštědlo, fólie, papír, nebo vlákno. Úlohou je zabezpečovat určitou konzistenci lepidla.
3. *Katalyzátory a tvrdidla.* Jejich funkcí je zabezpečit vytvrzovací reakci. Nemusí být zastoupeny v každém lepidle.
4. *Urychlovače, inhibitory, retardéry.* Jsou to látky, které kontrolují vytvrzovací proces. Urychlovač urychluje vytvrzovací reakci, naopak inhibitor ji zpomaluje.
5. *Modifikátory.* Zařazujeme zde přísady, které mění technologické vlastnosti, použití, nebo výsledné vlastnosti spoje. Patří sem plniva, nadouvadla, ředidla, stabilizátory aj. [5]

4.2 Rozdělení

Lepidla tvoří rozsáhlou a chemicky velmi různorodou skupinu. To se také výrazně projevuje ve způsobu jejich třídění do jednotlivých kategorií. Dělí se podle několika hledisek, žádné z nich však nevystihuje úplně přesně jejich povahu. Nové typy lepidel ze syntetických pryskyřic umožnily nová uplatnění a vynutili si současně nové klasifikace. Kromě nejstarších dělení lepidel podle účelu, původu fyzikálního stavu a způsobu zpracování zařazují se lepidla do jednotlivých skupin podle způsobu dosažení pevnosti, spoje, chemického složení, obsahu rozpouštědel, koncentrace vodíkových iontů atd. [6]

4.2.1 Podle fyzikálního stavu

Způsob použití lepidla, zejména jeho nanášení, předpokládá často určitou formu nebo fyzikální stav lepidla. Rozeznáváme lepidla tekutá, pastovitá, práškovitá, pěnová, filmy a lepicí pásy. Filmy a lepicí pásy sice nejsou lepidly v pravém smyslu slova, jsou však běžně používaným spojovacím prostředkem, který spojuje materiály vrstvou lepidla. [6]

4.2.2 Podle původu

Největší vliv na vlastnosti lepidla, na možnosti použití a na způsob zpracování mají výchozí suroviny, z nichž je lepidlo vyrobeno. Dělení lepidel do jednotlivých skupin podle původu vystihuje jejich charakter nejlépe, a proto je zatím nejrozšířenější. Podle původu dělíme lepidla na přírodní a syntetická.

Přírodní lepidla dělíme na lepidla:

- a) *Rostlinná* (mouky, škroby, dextriny, pektiny, algináty, přírodní pryskyřice, přírodní kaučuk, rostlinné slizy a gummy), která se uplatňují v mnoha oborech pro snadnou dostupnost, dobrou zpracovatelnost a cenu. Často se kombinují se syntetickými pryskyřicemi a deriváty celulosy rozpustnými ve vodě. Dává se jim přednost zejména v papírenském průmyslu, textilnictví a při spojování povrchů, které nejsou vystaveny účinkům vody. [6]
- b) *Živočišná* (klihy glutinové, kaseinové, albuminové a rybí), která se uplatňují při výrobě gumovaných papírů, lepicích pásek, jako pojiva při výrobě smirkových, skelných a velurových papírů, v knihařství a papírenství. Ve formě nejčistší želatiny se používají při práci s dřevem a ve fotografickém průmyslu. [6]

Syntetická lepidla dělíme na lepidla:

- a) *Termoreaktivní* (epoxidová, polyesterová) vytvrzují se teplem. Zahřátím dochází, většinou za spolupůsobení katalyzátorů, k chemické reakci, při níž vznikne makromolekulární látka, která má jednotlivé řetězce makromolekul prostorově svázány. Termoreaktivní neboli termosetická lepidla ztvrdnou a jsou nerozpustná. [6]
- b) *Termoplastická* (akrylátová, vinylická, polyamidová) u kterých nedochází působením tepla k chemické reakci, nýbrž pouze ke změně fyzikálních vlastností. Termoplasty zahřátím změknou a stávají se tvárnými. [6]
- c) *Polosyntetická* (lepidla na bázi derivátů celulosy), při jejichž výrobě se vychází z přírodních polymerů (celulosy, kaučuku). Před vypracováním syntetických lepidel byla polosyntetická lepidla důležitou základnou pro výrobu lepidel přírodních. Chemickým zásahem (esterifikací, cyklizací) se upravují jejich vlastnosti a vznikají lepidla mnohdy vynikajících kvalit. [6]

4.2.3 Podle způsobu dosažení pevnosti spoje

Při zpracování lepidla je velmi důležité, jak se dosáhne pevnosti spoje. V podstatě jde o to, jakým způsobem se lepidlo ve formě solu převede v gel.

Známe tyto způsoby:

- a) *vysušením* – odpařením vody nebo organického rozpouštědla,
- b) *aktivováním rozpouštědlem* – některá lepidla po zaschnutí nelepí, proto se suchý nátěr lepidla zvlhčí, neboli aktivuje rozpouštědlem,
- c) *teplotou* – ochlazením, nebo naopak zvýšením teploty,
- d) *tlakem* – některá lepidla jsou po zaschnutí citlivá na tlak a materiály s jejich nánosem mohou být spojeny přitlačením,
- e) *chemicky* – pomocí katalyzátorů, iniciací teplem, světlem, jejich kombinací. [6]

4.2.4 Podle teploty zpracování

Rozdělujeme lepidla tuhnoucí:

- a) *za tepla*, která vytvrdnou díky chemické reakci při pokojové teplotě a doba tvrzení je podle druhu lepidla od 5 sekund až do několika dní,
- b) *za studena*, která vytvrdnou při zahřátí na 150 °C až 250 °C během 5 minut až několika hodin. [17]

4.2.5 Podle složení

Podle složení rozlišujeme lepidla na jednosložková a dvousložková.

Jednosložková lepidla jsou 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.

Dvousložková lepidla, která působí po smíchání dvou složek (lepidla a tužidla), následuje rychlá reakce, při níž je směs nutno zpracovat během předepsané doby. [17]

4.2.6 Podle obsahu rozpouštědel

Podle obsahu rozpouštědel rozdělujeme lepidla na lepidla obsahující rozpouštědlo a na lepidla bez rozpouštědla.

- a) *Bez rozpouštědla*. Tvoří jen poměrně malou skupinu. Mají vynikající vlastnosti, které umožňují řešit obtížné způsoby spojování. Jelikož neobsahují rozpouštědla,

kteřá by mohla vytékat, nemění se skladováním. Většinou patří do skupiny termo-reaktivních lepidel. Tvoří silně viskózní kapaliny nebo pevné kusy, které se roztaví teplem.

- b) *Obsahující rozpouštědlo.* Většina lepidel obsahuje rozpouštědla organické povahy nebo vodu. Všechna rozpouštědla mají vliv na vlastnosti lepidel již při jeho výrobě. Použité rozpouštědlo ovlivňuje kvalitu spoje nebo filmu a rozhoduje často o konzistenci lepidla. Rozpouštědla se volí tak, aby lepidlo zaschlo, to znamená, aby přecházelo v gel vhodnou rychlostí a aby zbytečně nehoustlo při skladování. [6]

4.2.7 Podle chemické reakce lepidla

Podle chemické reakce lepidla rozdělujeme lepidla na kyselá (kostní klíh), zásaditá (rostlinný klíh) a neutrální.

Některá lepidla mají největší lepidivost v určitém prostředí (kyselém, zásaditém nebo neutrálním). Zejména materiály světlých odstínů je výhodné spojovat neutrálními lepidly, aby nedošlo k reakci s podkladem nebo ke změně barvy. [6]

4.2.8 Podle účelu

Dříve velmi často používané dělení podle účelu poskytuje dnes už jen velmi hrubou orientaci, protože nevymezuje ani přibližně chemickou podstatu lepidla. Podle tohoto rozdělení rozeznáváme například lepidla na dřevo, papír, textil a kov. Takové lepidlo na papír však může být vyrobeno z přírodních i syntetických látek, nebo truhlářským klihem může být klíh kostní, kaseinový i klíh ze syntetických pryskyřic. [6]

4.2.9 Podle tvaru

Dělení podle tvaru se nejčastěji používalo u klihů, kde se rozlišoval například klíh tabulkový, mletý, perličkový, šupinkový a podobně. Tvar pochopitelně nenaznačuje ani původ ani jakost či vlastnosti, chemickou povahu nebo možnosti jednotlivých typů, takže tohoto způsobu třídění se používá jen velmi zřídka, stejně jako třídění podle účelu. [6]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem bakalářské práce bylo porovnat pevnost lepených spojů materiálu LDPE, při použití dvousložkových methylakrylátových nebo sekundových kyanoakrylátových lepidel.

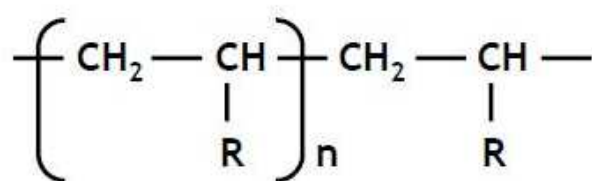
Zásady pro vypracování bakalářské práce byly následující:

1. Vypracovat literární studii na dané téma.
2. Provést přípravu vzorků.
3. Provést měření pevnosti lepených spojů.
4. Vyhodnotit výsledky měření.

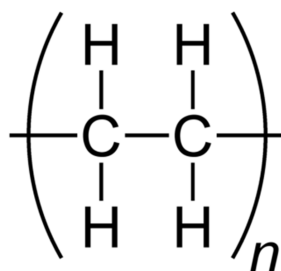
6 VOLBA MATERIÁLU A LEPIDEL

6.1 Použitý materiál – LDPE

Polyolefiny jsou chemicky nejjednodušší polymery s nejvyšší spotřebou. Velmi využívány jsou především díky cenové dostupnosti surovin, dobré zpracovatelnosti a výhodnými užitelskými vlastnostmi. Vznikají z nenasycených uhlovodíků s dvojnou vazbou v poloze 1, které přecházejí polymerací v nasycený lineární řetězec. Mezi nejvíce vyráběné polyolefiny patří polyethylen a polypropylen. [8, 9]

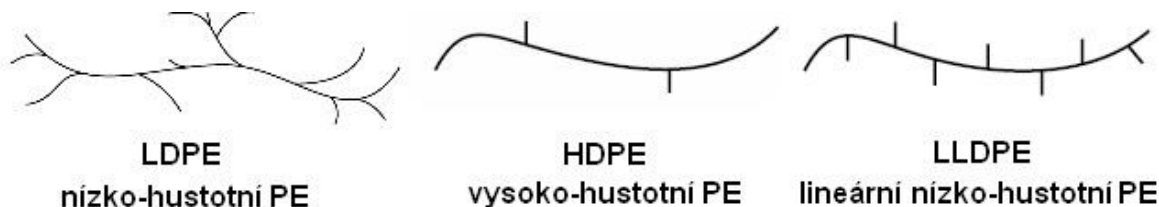


Obr. 13. Obecný vzorec polyolefinu. [9]



Obr. 14. Strukturální vzorec PE. [18]

Polyethylen se dělí na různé typy, které se liší především hustotou (Obr. 15). Poprvé jej syntetizoval Hans von Peckmann v roce 1891 zahříváním diazomethanu. V roce 1931 byla zvládnuta průmyslová syntéza a už roku 1939 byla zahájena průmyslová výroba nízko-hustotního - rozvětveného polyetylenů. [18]



Obr. 15. Rozdíly struktury mezi základními druhy vyráběných polyetylenů. [9]

6.1.1 Charakteristika LDPE

Rozvětvený polyethylen o nízké hustotě (LDPE), se připravuje radikálovou polymerací za teploty 200 °C a vysokého tlaku 150-300 MPa. Struktura polymeru je silně větvená v důsledku přenosu na vlastní řetězec (krátké větve) nebo na sousední řetězec (dlouhé větve). Přibližně každý čtyřicátý uhlík nese větvení. Krátké vedlejší větve způsobují snížení krystalinity, což má za následek změnu mechanických a fyzikálně chemických vlastností. Jeho teplota tání se pohybuje v rozmezí 105-115 °C. Modul pružnosti má 200 až 400 MPa, mez pevnosti 9-15MPa a je houževnatý do teploty -70 °C. Polymer se vyznačuje dobrými tokovými vlastnostmi, dobře se zpracovává a je vhodný zejména na obalové fólie, láhve, desky apod. Vyrábí se vyfukováním, vstřikováním i vytlačováním. Nevýhodou LDPE jsou však nízké mechanické vlastnosti a náchylnost ke korozi pod napětím. [8, 9]

6.1.2 Lepení LDPE

Jedna důležitá otázka při spojování plastů mimo samotného materiálu je jeho polarita. Jeden problém, který je často přehlížen, je použití uvolňovacích činidel ve výrobním procesu. Je-li použito uvolňovací činidlo na bázi silikonu, nelze již později spojovat tyto součásti pomocí kyanakrylátového lepidla. [19]

Lepení LDPE a celkově polyolefinů bez předešlé úpravy povrchu dává spoji jen velmi malou pevnost. Používá se většinou jen při uzavírání obalů a při nalepování etiket. Pro lepení neupraveného PE se využívají roztoková lepidla na bázi kaučuku citlivá na tlak. Předběžná úprava použitím primerů může napomoci k dosažení dobrých pojících vlastností. [1, 19]

6.2 Použitá lepidla

Při konstrukci lepených spojů byla využita tato lepidla:

- a) *Kyanakrylátová lepidla* (Cyberbond 1008, Cyberbond 2008, Cyberbond 2028). Jsou podle způsobu zpracování jednosložková lepidla. Monomerní kyanakryláty tuhnu polymerací aktivovanou vzdušnou vlhkostí prostředí během několika vteřin až minut podle typu lepidla, druhu spojovaného materiálu a teploty. Vzniklý spoj je elastický, houževnatý, s širokou adhezní účinností. Tato lepidla jsou určena k lepení hladkých, nesavých a odmaštěných povrchů malých rozměrů, zvláště pak při lepení plexiskla, pryže a skla. Naproti tomu nejsou vhodná k lepení měkčeného PVC, PS a dřeva. S použitím aktivátorů (Primer CB 9056) lze lepit i nepolární plasty jako PE a PP, pro jejichž spojování se jinak tato lepidla příliš nehodí. [2]



Obr. 16. Lepidlo Cyberbond. [19]

- b) *Methylakrylátová lepidla* (Plexus MA 300). Dvousložková methylakrylátová lepidla jsou založena na kombinaci jemného perličkového polymeru s peroxidem a kapalného methylnmethakrylátu s urychlovačem. [2]



Obr. 17. Lepidlo Plexus. [20]

6.2.1 Cyberbond 1008

Kyanoakrylátové sekundové lepidlo Cyberbond 1008 je žádoucí především pro lepení kovů, kombinace kov-kov, kov-pryž, kov-plast. Lepidlo je jednosložkové a na kovech rychle vytvrzující. Vhodné pro spoje na neporézních, dobře slícovaných materiálech. [19]

Tab. 3. Základní vlastnosti CB 1008. [19]

Základní monomer	etylester
Bod vzplanutí	80 °C
Viskozita při 20 °C	9-15 mPa*s
Hustota při 20 °C	1,09 g/cm ³
Doba fixace pro plast	5 sekund
Doba fixace pro kov	25 sekund
Pevnost v tahu pro gumu	64 N/cm ²
Teplotní rozsah použití	55 do 95 °C

6.2.2 Cyberbond 2008

Kyanoakrylátové sekundové lepidlo Cyberbond 2008 je vhodné zejména pro lepení plastů a gumy. Nadstandardních vlastností dosahuje při lepení obtížně pojitelných elastomerů a vykazuje extrémně rychlé spoje nepodléhající stárnutí. [19]

Tab. 4. Základní vlastnosti CB 2008. [19]

Základní monomer	etylester
Bod vzplanutí	85 °C
Viskozita při 20 °C	12-18 mPa*s
Hustota při 20 °C	1,06 g/cm ³
Doba fixace pro plast	2 sekundy
Doba fixace pro kov	20 sekund
Pevnost v tahu pro gumu	66 N/cm ²
Teplotní rozsah použití	-55 do 95 °C

6.2.3 Cyberbond 2028

Kyanoakrylátové sekundové lepidlo Cyberbond 2028 je určeno pro lepení porézních pryží a plastů. Nestéká, na rozdíl od řidkých typů, a vyplní nerovnosti materiálu. Typy materiálů jako PE, PP a teflon je nutné před nánosem lepidla aktivovat Primerem CB9056. [19]

Tab. 5. Základní vlastnosti CB 2028. [19]

Základní monomer	etylester
Bod vzplanutí	85 °C
Viskozita při 20 °C	160-240 mPa*s
Hustota při 20 °C	1,05 g/cm ³
Doba fixace pro plast	4 sekundy
Doba fixace pro kov	25 sekund
Pevnost v tahu pro gumu	64 N/cm ²
Teplotní rozsah použití	-55 do 95 °C

6.2.4 Plexus MA 300

Plexus MA300 je dvousložkové methakrylátové lepidlo vyvinuté pro strukturální lepení dílů z termoplastů, kovů a kompozitů. V poměru 1:1 má dobu zpracování 4 až 6 minut a dosahuje 75 % celkové pevnosti během 10 až 15 minut při pokojové teplotě. Plexus MA300 nabízí kombinaci vysoké pevnosti a tuhosti, stejně jako schopnosti spojovat širokou paletu materiálů. Lepidlo je dodáváno v náplních připravených k práci, nebo v sudech, a může být mícháno jako nestékavý gel při použití standardního míchacího zařízení. Odolává teplotám v rozmezí -55 až 121 °C a jeho hustota po smíchání je 98 g/cm³. [20]

7 ZHOTOVENÍ LEPENÝCH SPOJŮ A MĚŘENÍ JEJICH PEVNOSTI

7.1 Výroba zkušebních vzorků a postup při konstrukci spojů

Zkušební vzorky byly vyrobeny vstřikováním LDPE na vstřikovacím stroji ARBURG ALLROUNDER 420C Advance, který je k dispozici v univerzitní dílně. Při zhotovení lepeného spoje pak následovaly dále popsané operace.

7.1.1 Vstřikovací stroj ARBURG ALLROUNDER 420C Advance

Vstřikovací stroje ALLROUNDER jsou synonymem pro kvalitu, spolehlivost, efektivitu a hospodárnost výroby. Nabídka modulárních produktů začíná základními hydraulickými modely, pokračuje přes hybridní systémy vysoce výkonných strojů a končí velmi přesnými elektrickými a ergonomickými vertikálními stroji. [12]

U strojů ALLROUNDER C (Obr. 18) spojuje firma ARBURG nejosvědčenější techniku strojů s 32-bitovým multiprocesorovým řídicím systémem SELOGICA. Tato výkonná kombinace je robustní, má dlouhou životnost, a díky své vysoké flexibilitě a modulární konstrukci je předurčena pro univerzální řešení všech úkolů v oblasti vstřikování. [12]

Tab. 6. Technické parametry vstřikovacího stroje. [12]

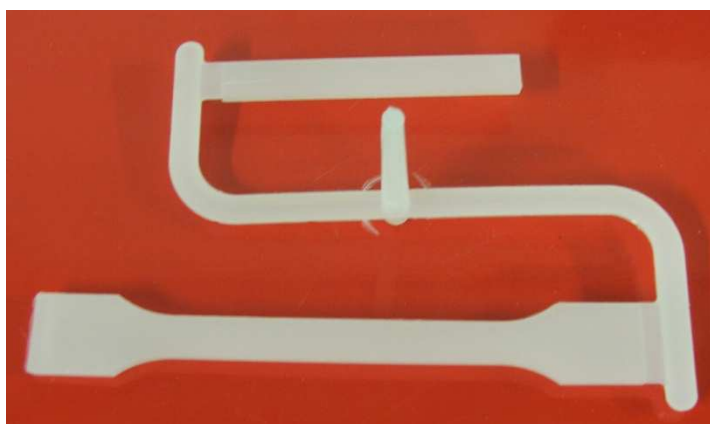
ARBURG ALLROUNDER 420C Advance	
Uzavírací síla	max. 1000 kN
Otevření	max. 500 mm
Výška formy	min. 250 mm
Světlost mezi upínacími deskami	max. 750 mm
Vzdálenost mezi vodícími sloupy	420 x 420 mm
Velikost upínací desky (hor. x vert.)	570 x 570 mm
Vyhazovací síla	max. 40 kN
Zdvih vyhazovače	max. 175 mm
Výkon čerpadla	15 kW
Průměr šneku	40 mm
Objem dávky	max. 188 cm ³
Vstřikovací rychlost	max. 182 cm ³ /s
Krouticí moment šneku	max. 430 Nm
Přítlačná síla trysky	max. 60 kN



Obr. 18. Vstřikovací stroj Arburg ALLROUNDER 420C Advance. [12]

7.1.2 Tvar a rozměry zkušebních vzorků

Jak již bylo zmíněno, zkušební vzorky byly společně s obdélníkovými pásky pro přeplátování vyrobeny vstřikováním, v počtu asi 250 kusů (Obr. 19). Rozměry tělísek pro přeplátování jsou 80x10x4 mm. Tvar a rozměry zkušebního tělíška jsou totožné s normou ČSN EN ISO 527-2.

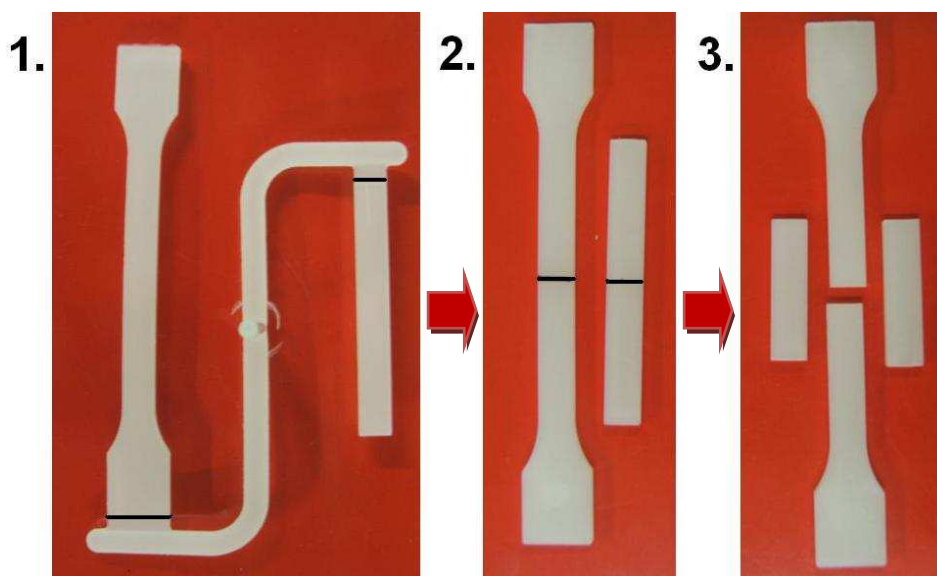


Obr. 19. Zkušební vzorek s vtokovým zbytkem.

7.1.3 Příprava zkušebních vzorků a lepidel

Po vystříknutí byla zkušební tělesa nejprve zbavena vtokového zbytku a poté pomocí pákových nůžek rozstřížena ve středu své délky (Obr. 20).

Před samotnou konstrukcí byly zkušební vzorky zbaveny nečistot a mastnoty, aby byl vzniklý spoj co nejkvalitnější.



Obr. 20. Příprava zkušebních tělísek.

Sekundová lepidla Cyberbond bylo možné ihned po otevření aplikovat, avšak u dvousložkových methakrylátových lepidel Plexus bylo pro nanášení nutné použít vytlačovací pistole (Obr. 21). Po vložení dvousložkového lepidla do vytlačovací pistole byl na vyústění tuby nasazen statický mixér (Obr. 22), který umožňuje dokonalé smísení jednotlivých složek lepidla.



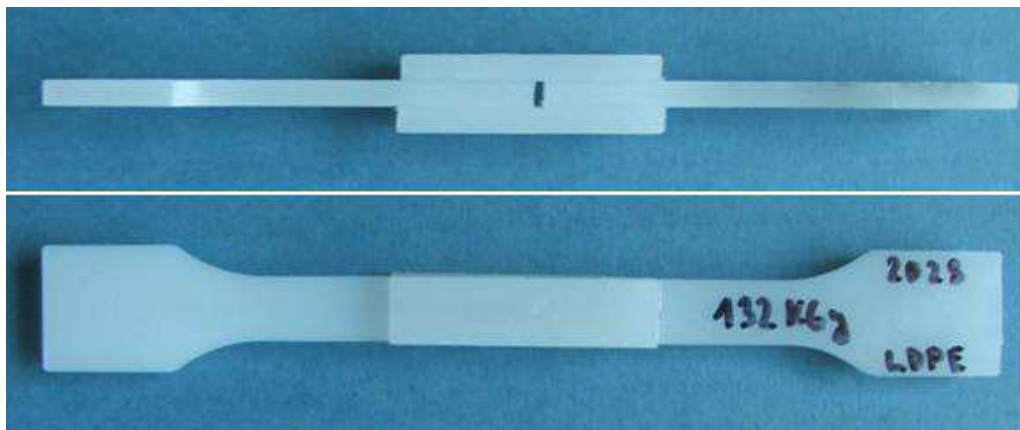
Obr. 21. Vytlačovací pistole.



Obr. 22. Statický mixér.

7.1.4 Konstrukce lepeného spoje

Z hlediska vysoké pevnosti byl pro lepení zkušebních vzorků zvolen čelní spoj s dvěma příložkami (Obr. 23).



Obr. 23. Čelní spoj s dvěma příložkami.

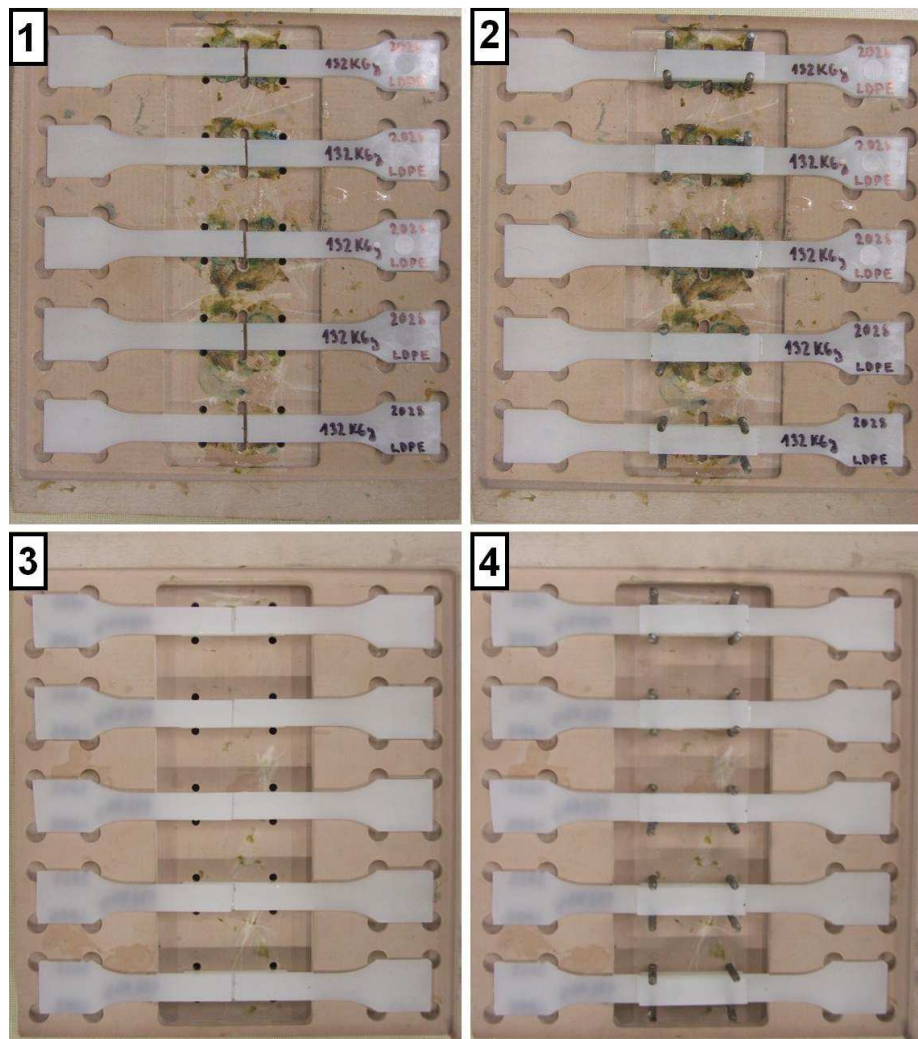
Lepení probíhalo za pokojové teploty (23 °C) v dílnách Ústavu výrobního inženýrství. Při použití sekundových lepidel se pohybovala doba fixace v řádech několika sekund a nános lepidla byl takový, aby smáčel celou plochu adherendu. U dvousložkového lepidla byla doba fixace v řádech několika minut a vrstva lepidla se pohybovala kolem 1 až 2 mm.

7.1.5 Využití forem a postup při lepení

Pro zajištění kvality spoje byly využity dva typy forem k zabezpečení polohy zkušebních vzorků. Formy byly vyrobeny frézováním a umožnily lepení pěti dílů naráz, dokud nedošlo k zatuhnutí lepeného spoje. Poté byly zkušební vzorky opatrně vyjmuty a odloženy na místo, kde byly kvůli dostatečnému vytvrzení ponechány nejméně 24 hodin bez další manipulace.

Postup při lepení (Obr. 24) byl následující:

1. nejprve se rozpůlená tělíska naskládala do jedné části formy,
2. po přeplátování spoje, jehož poloha byla přesně zajištěna kolíky, následovala doba pro fixaci,
3. přeplátované tělísko z jedné strany bylo vloženo do druhé části formy s vytvořenou dutinou,
4. zkušební vzorek byl dokončen přeplátováním z druhé strany.



Obr. 24. Postup při lepení.

7.2 Úprava zkušebních vzorků

Z důvodu, že u materiálu LDPE mají lepené spoje, bez předchozí úpravy povrchu, nedostačnou pevnost, byly některé zkušební vzorky upraveny, abychom dosáhli co nejpevnějšího spojení. Úprava vzorků spočívala buď v aktivaci primerem, nebo v radiálním síťování.

7.2.1 Aktivace spoje primerem (Primer Cyberbond 9056)

Funkce primeru je zaměřena výhradně na adhezní složku pevnosti lepeného spoje a je nezbytná pro lepení některých druhů materiálů. Používá se tam, kde jsou potíže s dosažením dobré adhezní pevnosti spojů a kde jsou známy potíže s dosažením přijatelné pevnosti v odlupování. Význam má také při nutnosti skladování dílů upravených pro lepení, před vlastním nanesením lepidla. [2]

Primer Cyberbond 9056 je využíváný pro kyanakrylátová lepidla. Mění povrchové napětí materiálů, proto dosáhneme vysoké pevnosti spojení i u nepolárních materiálů, které nelze jinak lepit (PE, PP, POM, silikon nebo moderní termoplastické elastomery). Cyberbond 9056 se nanáší štětečkem na lepené plasty. Kyanakrylátová lepidla lze nanášet ihned po odpaření primeru, ale také je možno lepit díly až po 24 hodinách. [19]

Tab. 7. Vlastnosti Primer CB 9056. [19]

Chemický základ	heptan
Hustota při 20 °C	0,68 g/cm ³
Teplota vzplanutí	-1 °C



Obr. 25. Primer CB 9056. [19]

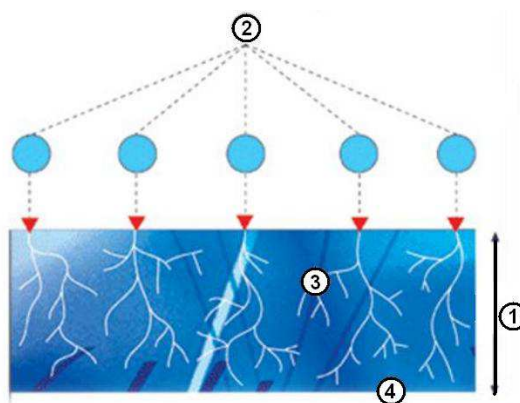
7.2.2 Radiační síťování

Radiační síťování je rozvíjející se technologie, která zlepšuje mechanické, chemické a tepelné vlastnosti plastů, za použití beta nebo gama záření. Tato technologie nám umožňuje v některých případech použít levnější plasty, které zesíťováním dosáhnou vlastností speciálních, drahých termoplastů. [22]

Při tomto procesu dochází ke spojení vazeb chemickou reakcí navzájem reagujících volných radikálů (rozpadají se vazby C-H), které se uvolňují, když materiál absorbuje množství energie na jednotku hmoty získanou z ionizačního záření. Síť vzniká postupným spojováním dvou volných radikálů mezi sousedními řetězci za vzniku vazeb C-C. [23]

Radiační síťování probíhá za normálních teplot bez použití jakýchkoliv dalších přísad kromě síťovacího činidla a ozařují se již hotové výrobky. [23]

Sít'ování pomocí záření beta probíhá v zařízeních s urychlovači elektronů. Žhavicí katoda emituje elektrony, které jsou urychlovány v elektromagnetickém poli. Rychlost elektronů je pak závislá na střídavém napětí mezi žhavicí katodou a anodou. Pracuje se zde s vysokými intenzitami dávek ozáření, ale s omezenou hloubkou vniknutí závislou na energii (Obr. 26). Elektronové beta záření se používá pro sít'ování většiny polymerů, protože potřebují vysoké dávky záření, které jsou v urychlovačích elektronů dodány během několika sekund. [23]



Obr. 26. Průnik záření beta. [23]

1 – hloubka vniknutí elektronů, 2 – primární elektrony, 3 – sekundární elektrony, 4 - ozářený materiál.

Sít'ování LDPE bylo provedeno firmou BGS Beta-Gama-Service GmbH & Co. KG sídlící v Saal an der Donau v Německu. K ozáření bylo využito beta záření za použití toroidního elektronového urychlovače typu Rhodotron o energii záření 10MeV. Zkušební tělíska byla vystavena dávkám záření 33, 66, 99, 132, 165 a 198 kGy.

Absorbovaná dávka je měřena v jednotkách Gray (Gy).

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ Joule/kg}$$

$$10 \text{ kGy} = 1 \text{ Mrad}$$

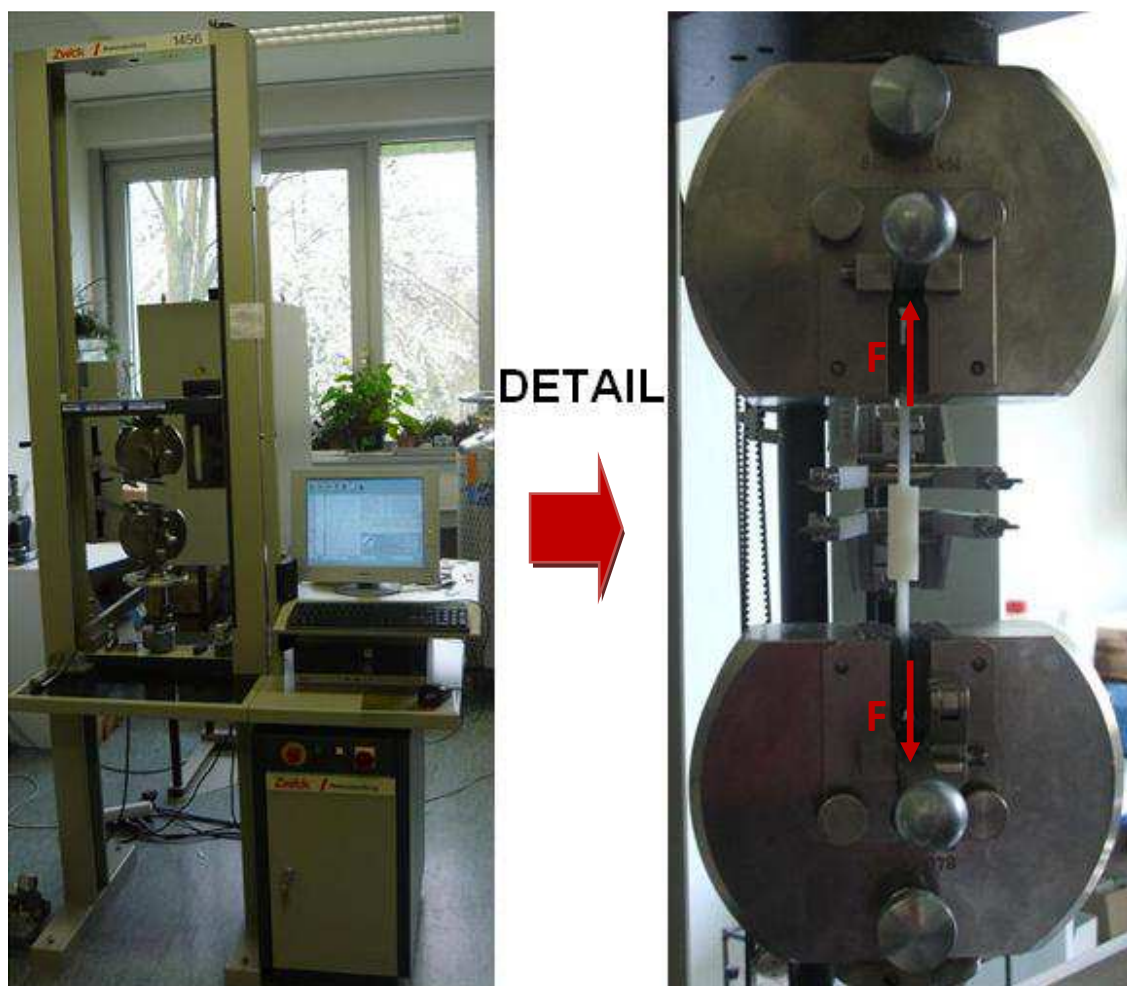
Energie elektronů je kinetická energie elektronů v elektronovém svazku. Jeden elektron-volt (eV) je kinetická energie udělená samotnému náboji prostupující potenciálem jeden volt. K dosažení velké hloubky penetrace je nutná velká energie elektronů do 10MeV.

7.3 Měření pevnosti lepených spojů

Měření pevnosti lepených spojů zkušebních vzorků bylo prováděno na trhacím stroji Zwick 1456 za normální teploty (Obr. 27). Normalizovaná tělíska byla nejprve upnuta do čelisti trhacího stroje a poté byla zpuštěna zkouška jednoosým tahem. Součástí stroje je software Test Expert, který vyhodnotil naměřené výsledky.

Tab. 8. Technické parametry trhacího stroje.

Zwick 1456	
Maximální posuv příčnicku	800 mm/min
Snímače síly	2,5 a 20 kN
Teplotní komora	-80/+20 °C
Test Expert software	Tah/Tlak/Ohyb



Obr. 27. Trhací stroj Zwick 1456 a zkouška jednoosým tahem.

8 VÝSLEDKY ZKOUŠEK

U tahové zkoušky se měřila výsledná hodnota maximální zatěžující síly F_p [N], kterou snesl zkušební vzorek. Tyto naměřené hodnoty byly vyneseny do tabulek, z nichž se stanovil aritmetický průměr (Rov. 1) a střední kvadratická chyba (Rov. 2). Z takto získaných hodnot byly poté sestaveny grafy.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (1)$$

$$\delta = \frac{\sqrt{\frac{\sum x^2 - \frac{1}{n}(\sum x)^2}{n}}}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

8.1 Seznam zhotovených lepených spojů

Celkem bylo zkonstruováno 160 kusů lepených spojů k testování na trhacím stroji Zwick. Dále bylo ponecháno 35 zkušebních těles bez lepení, abychom zjistili maximální možnou zatěžující sílu u neupravených vzorků a mohli ji porovnat s pevností lepených spojů (Tab. 9).

Tab. 9. Počty kusů zhotovených zkušebních vzorků.

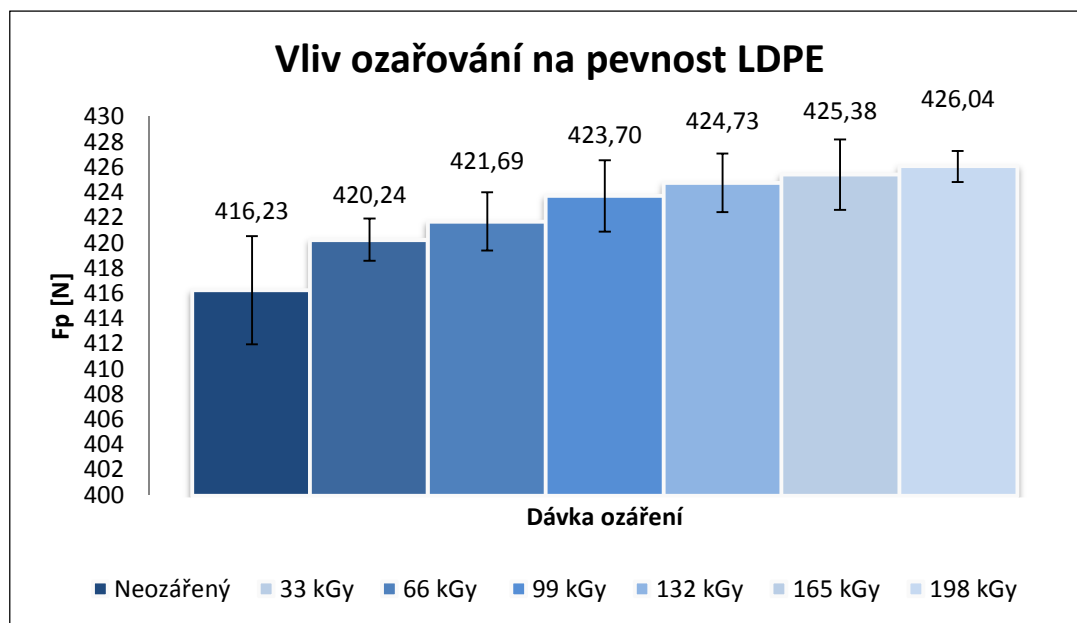
Lepidlo	LDPE						
	Neozářený	33 kGy	66 kGy	99 kGy	132 kGy	165 kGy	198 kGy
Základní materiál - nerozstříhaný	5 ks	5 ks	5 ks	5 ks	5 ks	5 ks	5 ks
Plexus MA 300	8 ks	-	-	-	-	-	-
Plexus MA 300 + Primer CB 9056	8 ks	-	-	-	-	-	-
Cyberbond 1008	8 ks	8 ks	8 ks	8 ks	8 ks	8 ks	8 ks
Cyberbond 1008 + Primer CB 9056	8 ks	-	-	-	-	-	-
Cyberbond 2008	8 ks	-	-	-	-	-	-
Cyberbond 2008 + Primer CB 9056	8 ks	-	-	-	-	-	-
Cyberbond 2028	8 ks	8 ks	8 ks	8 ks	8 ks	8 ks	8 ks
Cyberbond 2028 + Primer CB 9056	8 ks	-	-	-	-	-	-

8.2 Vliv radiačního sít'ování na základním nerozstříhaném vzorku

Při zkoušení základních nerozstříhaných zkušebních tělísek bylo zjištěno, že neozářené LDPE má nejmenší pevnost a čím větší dávkou bylo ozářeno, tím se zlepšily jeho mechanické vlastnosti, což odpovídá poznatkům o radiačním sít'ování. Nárůst pevnosti v tahu byl u tělíska ozářeného dávkou 198 kGy asi o 2 % větší, než u základního neozářeného materiálu (Tab. 10, Obr. 28).

Tab. 10. Velikost maximální zatěžující síly u základního nerozstříhaného vzorku.

č. měření	Dávka ozáření						
	Neozářený Fp [N]	33 kGy Fp [N]	66 kGy Fp [N]	99 kGy Fp [N]	132 kGy Fp [N]	165 kGy Fp [N]	198 kGy Fp [N]
1	413,65	415,6	427,72	434,04	429,44	416,39	425,84
2	409,22	425,25	416,22	422,85	419,17	427,07	425,28
3	415,6	422,5	417,15	416,77	422,71	422,81	423,19
4	432,72	418,21	426,07	422,06	421,37	427,41	425,3
5	409,94	419,65	421,27	422,78	430,98	433,22	430,61
\bar{x}	416,23	420,24	421,69	423,70	424,73	425,38	426,04
$\pm\delta$	4,29	1,68	2,30	2,82	2,32	2,79	1,23



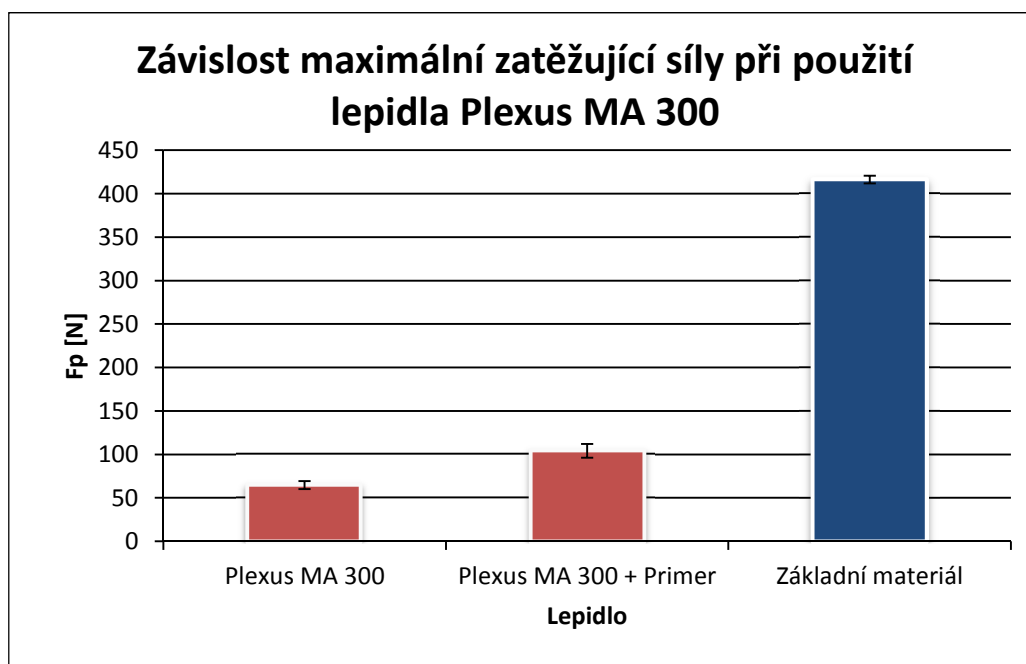
Obr. 28. Vliv ozařování na pevnost LDPE.

8.3 Pevnost lepených spojů s použitím lepidla Plexus MA 300

Z výsledků tahových zkoušek je patrné, že dvousložkové lepidlo Plexus MA 300 není pro lepení LDPE příliš vhodné. Bez úpravy plochy primerem dosáhla průměrná hodnota maximální zatěžující síly $F_p = (64,85 \pm 4,62)N$, což je pouze 15 % pevnosti základního materiálu. Při změně povrchového napětí pomocí primeru se zvýšila pevnost téměř o dvojnásobek na hodnotu $F_p = (104,08 \pm 7,81)N$. Tato pevnost je ale s porovnáním pevnosti základního materiálu příliš malá (Tab. 11, Obr. 29).

Tab. 11. Velikost maximální zatěžující síly při použití lepidla Plexus MA 300.

č. měření	PLEXUS MA 300		
	Plexus MA 300 [N]	Fp	Plexus MA 300 + Primer Fp [N]
1	72,09		74,63
2	77,96		112,22
3	63,10		137,97
4	66,74		111,71
5	69,55		71,10
6	75,39		106,73
7	37,15		101,03
8	56,78		117,27
\bar{x}	64,85		104,08
$\pm \delta$	4,62		7,81
			Základní materiál Fp [N]
			413,65
			409,22
			415,60
			432,72
			409,94
			-
			-
			-



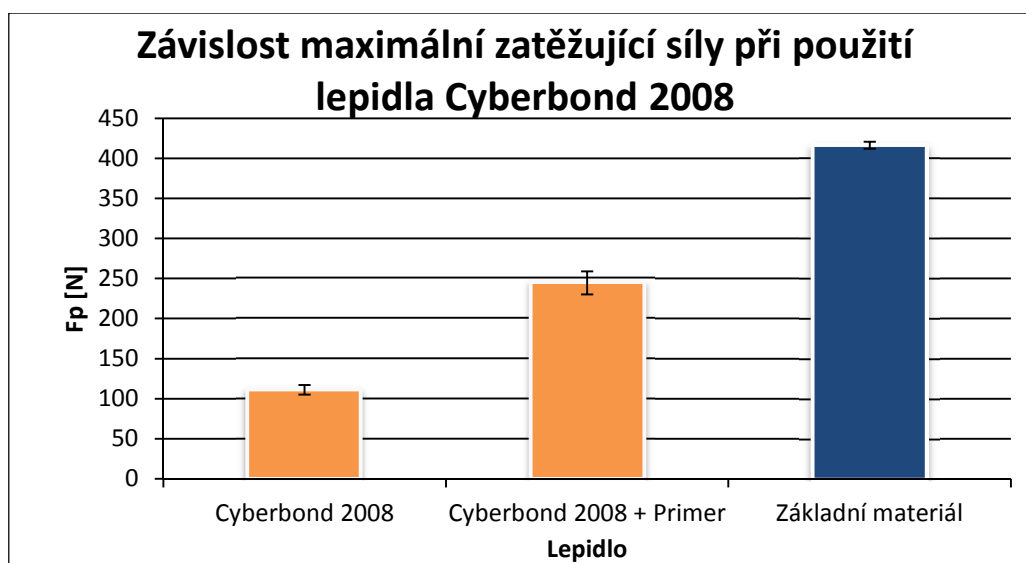
Obr. 29. Závislost maximální zatěžující síly při použití lepidla Plexus MA 300.

8.4 Pevnost lepených spojů s použitím lepidla Cyberbond 2008

Při zkoušení spojů lepených lepidlem Cyberbond 2008 vyplývá z výsledků, že toto lepidlo má v porovnání s ostatními testovanými sekundovými lepidly nejmenší pevnost spoje, pokud nedojde k úpravě vzorku. Průměrná hodnota maximální zatěžující síly dosáhla jen $F_p = (111,03 \pm 5,93)N$. Při aktivaci spoje primerem však vysoce vzrostla pevnost na hodnotu $F_p = (244,48 \pm 14,29)N$, která je vůbec nejvyšší ze všech typů lepidel aktivovaných primerem, a to 59 % pevnosti základního materiálu. Tento rozdíl mezi aktivací a bez aktivace povrchu je ze všech lepidel nejpatrnější. Pokud byl použit primer, pevnost spoje se zvýšila o 120 % (Tab. 12, Obr. 30).

Tab. 12. Velikost maximální zatěžující síly při použití lepidla Cyberbond 2008.

č. měření	CYBERBOND 2008		
	Cyberbond 2008 F_p [N]	Cyberbond 2008 + Primer F_p [N]	Základní materiál F_p [N]
1	136,80	210,00	413,65
2	95,53	308,89	409,22
3	88,84	242,41	415,60
4	116,21	276,54	432,72
5	110,93	261,89	409,94
6	104,04	240,32	-
7	103,76	240,01	-
8	132,10	175,76	-
\bar{x}	111,03	244,48	416,23
$\pm \delta$	5,93	14,29	4,29



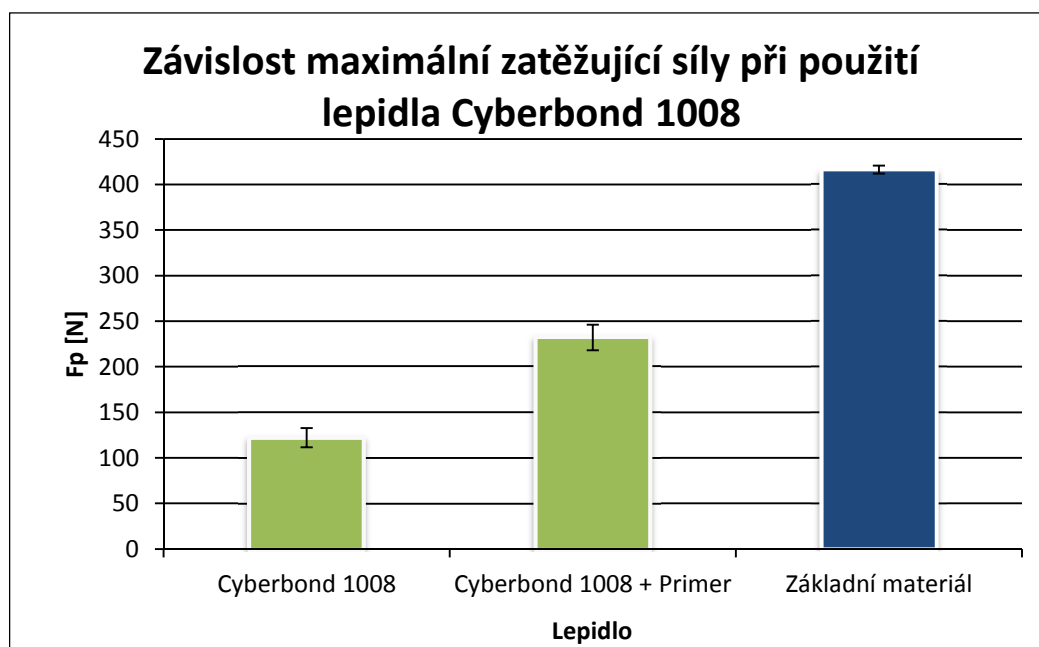
Obr. 30. Závislost maximální zatěžující síly při použití lepidla Cyberbond 2008.

8.5 Pevnost lepených spojů s použitím lepidla Cyberbond 1008

Při zkoušení pevnosti spojů lepených lepidlem Cyberbond 1008 bylo zjištěno, že průměrná hodnota maximální zatěžující síly lepeného spoje, bez úpravy povrchu, dosáhla $F_p = (122,22 \pm 10,58)N$ a při aktivaci spoje primerem $F_p = (232,48 \pm 14,16)N$, což je 56 % pevnosti základního materiálu. (Tab. 13, Obr. 31).

Tab. 13. Velikost maximální zatěžující síly při použití lepidla Cyberbond 1008.

č. měření	CYBERBOND 1008		
	Cyberbond 1008 F_p [N]	Cyberbond 1008 + Primer F_p [N]	Základní materiál F_p [N]
1	89,49	240,73	413,65
2	83,8	158,3	409,22
3	136,45	227,94	415,6
4	119,03	285,91	432,72
5	179,26	249,65	409,94
6	118,72	204,03	-
7	135,9	270,95	-
8	115,08	218,54	-
\bar{x}	122,22	232,01	416,23
$\pm \delta$	10,58	14,16	4,29



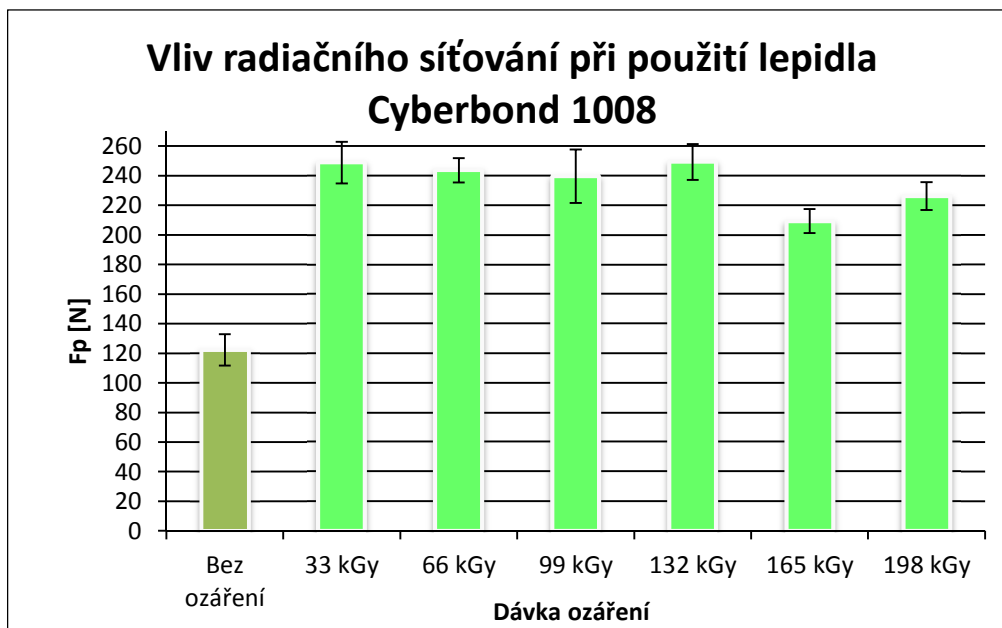
Obr. 31. Závislost maximální zatěžující síly při použití lepidla Cyberbond 1008.

8.5.1 Vliv radiačního síťování na pevnost spoje při použití lepidla Cyberbond 1008

U radiačního síťování LDPE a následného použití lepidla Cyberbond 1008 není z výsledků patrná jednoznačná závislost. Pokud LDPE ozáříme dávkou záření 33 kGy, pevnost lepeného spoje vzniklého lepidlem Cyberbond 1008 výrazně vzroste v porovnání s neupraveným materiálem. Pokud dávku ozáření zvyšujeme, dochází k mírnému poklesu pevnosti spoje a opětovnému zvýšení na maximum při hodnotě 132 kGy, kdy je průměrná velikost maximální zatěžující síly $F_p = (249,25 \pm 12,12)N$. Nejmenší pevnost lepeného spoje je při dávce ozáření 165 kGy, $F_p = (209,29 \pm 8,08)N$. Rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou pevnosti spoje upravených vzorků radiačním síťováním činí 16 % (Tab. 14, Obr. 32).

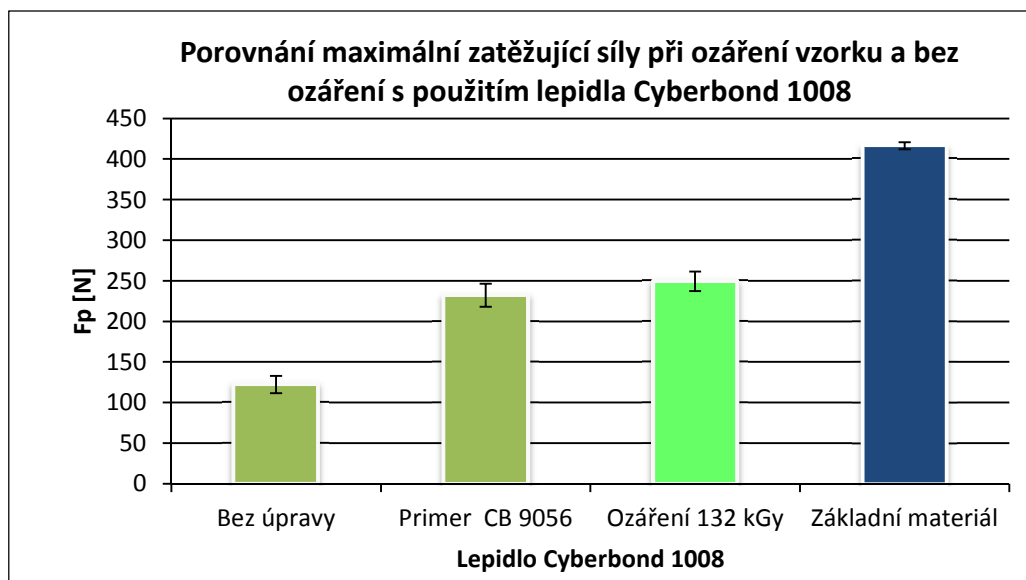
Tab. 14. Velikost maximální zatěžující síly s ozářeným zkušebním vzorkem a při použití lepidla Cyberbond 1008.

č. měření	CYBERBOND 1008					
	Dávka ozáření					
	33 kGy Fp [N]	66 kGy Fp [N]	99 kGy Fp [N]	132 kGy Fp [N]	165 kGy Fp [N]	198 kGy Fp [N]
1	277,78	232,02	256,22	226,93	193,14	213,4
2	297,46	246,2	149,62	252,88	201,79	200,56
3	236,82	250,35	289,97	254,39	218,62	194,79
4	202,11	228,41	282,59	272,97	222,87	206,94
5	216,02	263,94	277,13	190,36	217,81	265,11
6	204,21	277,7	225,39	244,78	211,1	250,55
7	259,04	249,08	256,46	242,48	166,08	224,56
8	297,7	201,91	179,52	309,19	242,89	253,81
\bar{x}	248,89	243,70	239,61	249,25	209,29	226,22
$\pm \delta$	14,07	8,20	18,06	12,12	8,08	9,50



Obr. 32. Vliv radiačního síťování při použití lepidla Cyberbond 1008.

Pokud porovnáme maximální průměrnou hodnotu zatěžující síly u spoje aktivovaného primerem a LDPE ozářeného 132 kGy, lepeného lepidlem Cyberbond 1008 zjistíme, že takto ozářený vzorek má asi o 7 % větší pevnost než vzorek aktivovaný primerem. Proto, pokud použijeme lepidlo Cyberbond 1008, je nejvýhodnější pro kvalitu spoje ozářit LDPE množstvím 132 kGy (Obr. 33).



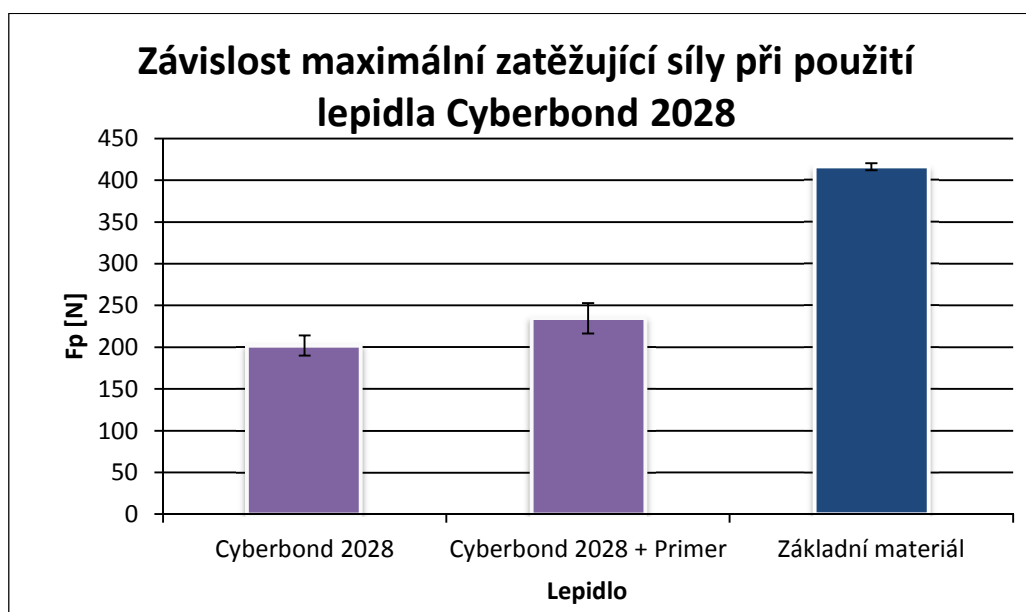
Obr. 33. Porovnání maximální zatěžující síly při ozáření vzorku a bez ozáření s použitím lepidla Cyberbond 1008.

8.6 Pevnost lepených spojů s použitím lepidla Cyberbond 2028

Při zkoušení pevnosti spojů lepených lepidlem Cyberbond 2028 vyplývá z výsledků, že toto lepidlo je jednoznačně nejvhodnější ze všech testovaných typů pro použití bez úpravy zkušební vzorku. Průměrná hodnota maximální zatěžující síly těchto zkušebních vzorků dosáhla $F_p = (201,25 \pm 12,18)N$, tedy 49 % pevnosti základního materiálu. Použití primeru CB 9056 v závislosti s lepidlem Cyberbond 2028 už není tak výhodné, protože zlepšilo pevnost v tahu pouze o 14 %, ve srovnání se zkušebními vzorky bez aktivace povrchu (Tab. 15, Obr. 34).

Tab. 15. Velikost maximální zatěžující síly při použití lepidla Cyberbond 2028.

č. měření	CYBERBOND 2028		
	Cyberbond 2028 Fp [N]	Cyberbond 2028 + Primer Fp [N]	Základní materiál Fp [N]
1	212,26	279,31	413,65
2	194,41	271,59	409,22
3	159,64	277,25	415,60
4	217,07	262,83	432,72
5	245,19	156,51	409,94
6	200,90	154,24	-
7	238,35	244,64	-
8	147,86	231,42	-
\bar{x}	201,96	234,72	416,23
$\pm \delta$	12,18	18,25	4,29



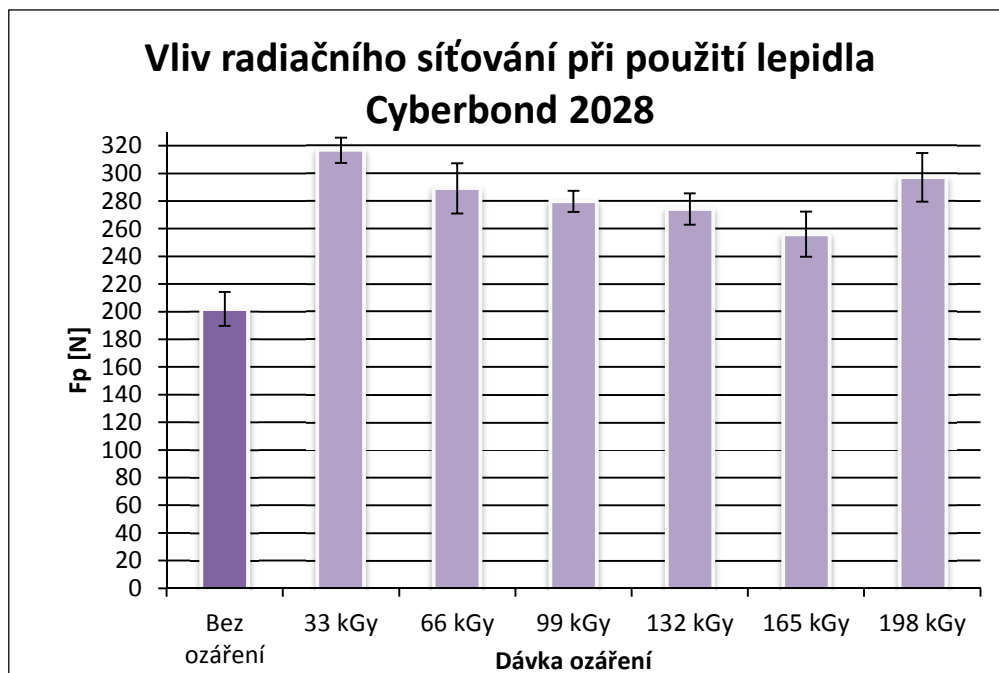
Obr. 34. Závislost maximální zatěžující síly při použití lepidla Cyberbond 2028.

8.6.1 Vliv radiačního sít'ování na pevnost spoje vzniklého použitím lepidla Cyberbond 2028

Z radiačního sít'ování LDPE a následného použití lepidla Cyberbond 2028 je podle výsledků tahové zkoušky patrné, že nejvyšší maximální pevnost lepeného spoje má materiál nejméně ozářený. Nejlepší spoj tedy vzniká při ozáření LDPE dávkou 33 kGy o pevnosti $F_p = (316,72 \pm 9,20)N$, a tato pevnost je vůbec nejvyšší, která vzniká ze všech typů námi použitých lepidel. S dávkou ozáření pevnost spoje klesá a ke zvýšení pevnosti dojde až při ozáření 198 kGy. Rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou pevnosti spoje upravených vzorků radiačním sít'ováním činí 19 % (Tab. 16, Obr. 35).

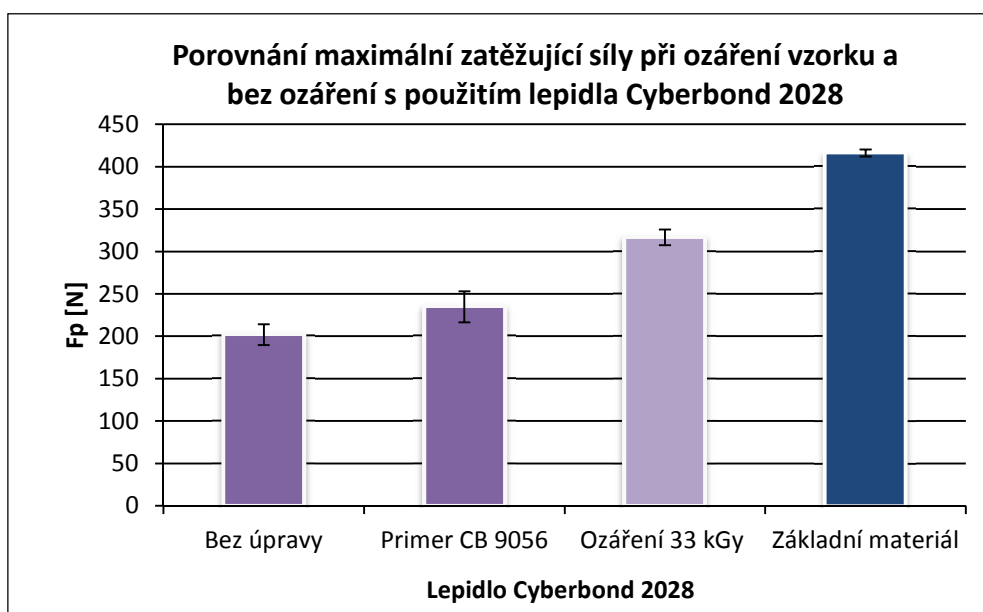
Tab. 16. Velikost maximální zatěžující síly s ozářeným zkušebním vzorkem a při použití lepidla Cyberbond 2028.

č. měření	CYBERBOND 2028					
	Dávka ozáření					
	33 kGy F_p [N]	66 kGy F_p [N]	99 kGy F_p [N]	132 kGy F_p [N]	165 kGy F_p [N]	198 kGy F_p [N]
1	320,25	249,70	269,44	299,10	268,13	245,40
2	330,86	234,53	289,94	285,57	211,47	326,67
3	291,28	363,58	309,54	254,12	262,22	359,05
4	298,35	218,25	283,76	318,12	230,94	243,68
5	348,20	288,80	235,11	215,05	353,32	324,37
6	354,72	314,48	289,18	255,18	265,90	339,68
7	304,25	304,91	273,87	279,29	249,04	230,60
8	285,82	339,39	287,77	287,77	207,11	307,24
\bar{x}	316,72	289,21	279,83	274,28	256,02	297,09
$\pm \delta$	9,20	18,19	7,67	11,30	16,26	17,59



Obr. 35. Vliv radiačního síťování při použití lepidla Cyberbond 1008.

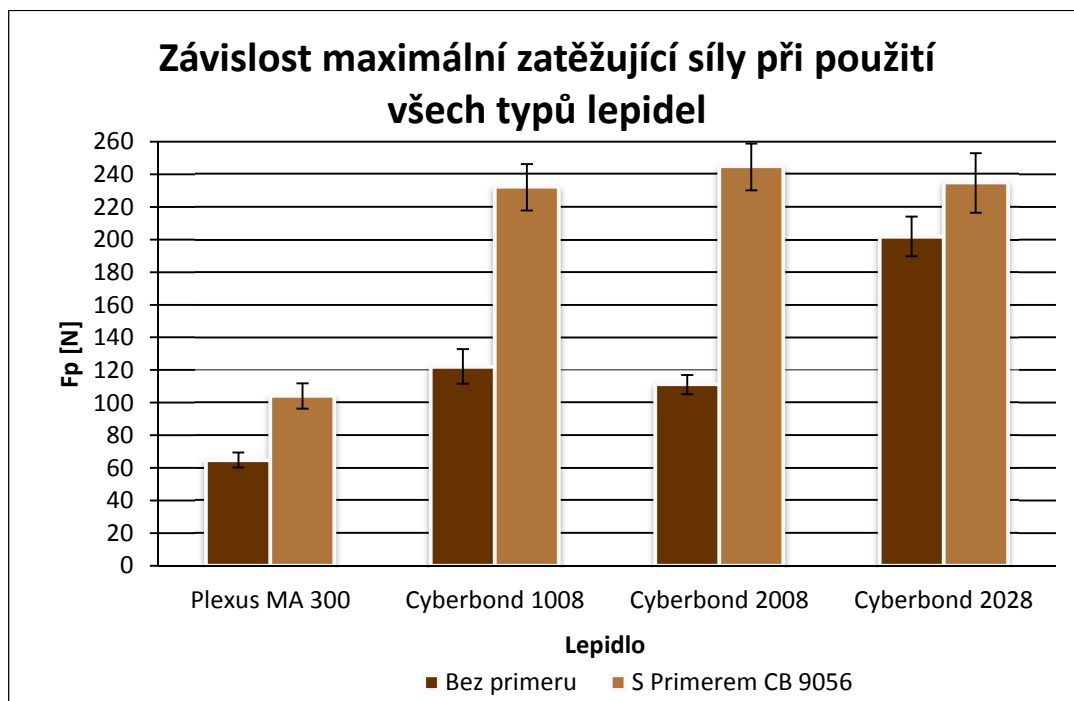
Pokud porovnáme maximální průměrnou hodnotu zatěžující síly u spoje aktivovaného primerem a LDPE ozářeného 33 kGy, lepeného lepidlem Cyberbond 2028, zjistíme, že takto ozářený vzorek má asi o 26 % větší pevnost než vzorek aktivovaný primerem. Proto pokud použijeme lepidlo Cyberbond 2008 je nejvýhodnější pro kvalitu spoje ozářit LDPE množstvím 33 kGy (Obr. 36).



Obr. 36. Porovnání maximální zatěžující síly při ozáření vzorku a bez ozáření s použitím lepidla Cyberbond 1008.

8.7 Srovnání maximálních zatěžujících sil všech lepidel s aktivací povrchu primerem a bez aktivace

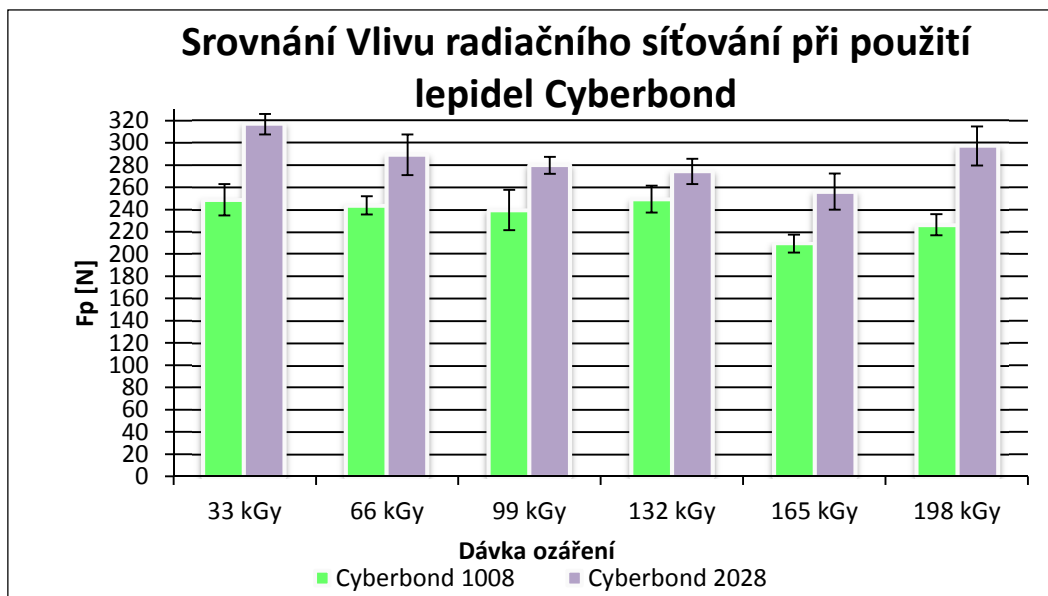
Z grafu závislosti maximálních zatěžujících sil vyplývá, že aktivace spoje primerem výrazně zlepšuje pevnost spoje. Nejvýrazněji tomu je při použití lepidla Cyberbond 2008 a nejmenší uplatnění aktivace spoje primerem je při použití lepidla Cyberbond 2028 (Obr. 37).



Obr. 37. Závislost maximální zatěžující síly při použití všech typů lepidel.

8.8 Srovnání vlivu radiačního síťování na pevnost spoje vzniklého použitím lepidel Cyberbond 1008 a Cyberbond 2028

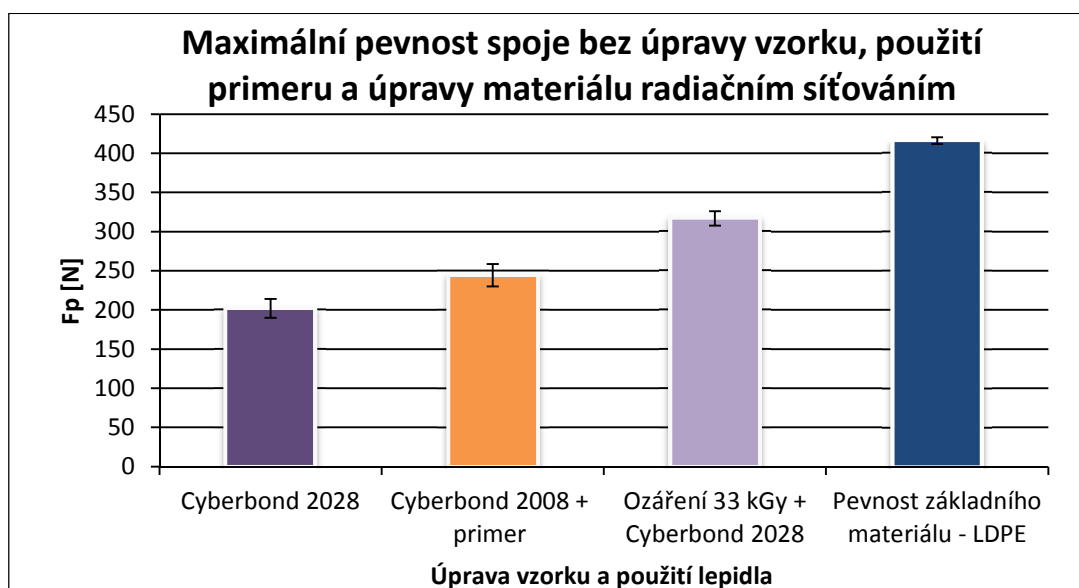
Z grafu srovnání vlivu radiačního síťování na pevnost spoje při použití dvou námi zvolených typů kyanoakrylátových lepidel lze vyvodit, že lepidlo Cyberbond 1008 nedosahuje tak vysoké pevnosti spoje jako lepidlo Cyberbond 2028. Nejvhodnější je zvolit dávku ozáření 33 kGy, protože ve srovnání s oběma lepidly dosáhneme nejlepších výsledků. Nejméně vhodné je pak ozářit LDPE dávkou 165 kGy. Takto zesíťovaný materiál má u obou použitých lepidel nejmenší pevnost (Obr. 38).



Obr. 38. Srovnání Vlivu radiačního síťování při použití lepidel Cyberbond.

8.9 Srovnání maximálních pevností spoje v závislosti na úpravu vzorku

Nejvyšší pevnost čelního spoje s dvěma příložkami bez úpravy vzorku byla zjištěna u lepidla Cyberbond 2028, u něhož dosáhla 49 % pevnosti základního materiálu. Lepidlo Cyberbond 2008 mělo nejvyšší pevnost lepeného spoje při aktivaci primerem, a to 59 % pevnosti základního materiálu. Nejpevnější spoj materiálu LDPE byl dosažen ozářením materiálu dávkou 33 kGy a použitím lepidla Cyberbond 2028, kdy pevnost spoje dosáhla 76 % pevnosti základního ozářeného materiálu (Obr. 39).



Obr. 39. Maximální pevnost spoje bez úpravy vzorku, použití primeru a úpravy materiálu radiačním síťováním.

DISKUZE VÝSLEDKŮ

Materiál LDPE byl vybrán k testování pevnosti lepených spojů, vzhledem k jeho velmi špatným vlastnostem vytvořit pomocí technologie lepení pevný spoj. Za tímto účelem vytvoření co nejpevnějšího spoje, byl použit jeden typ dvousložkového methylakrylátového lepidla Plexus MA 300 a tři typy kyanoakrylátového sekundového lepidla Cyberbond (1008, 2008, 2028). Ke zvýšení pevnosti spoje byl na část vzorku aplikován Primer CB 9056, který mění povrchové napětí materiálu a část vzorků byla ozářena radiačním beta zářením o různých dávkách. Samotná pevnost lepených spojů byla zjišťována tahovou zkouškou na trhacím stroji Zwick 1456.

V první části experimentu byla vybraná lepidla nanášena na zkušební vzorek bez jakékoliv předběžné úpravy. Z tohoto testu vyšlo nejlépe sekundové lepidlo Cyberbond 2028, jež dosáhlo 49 % pevnosti základního materiálu (Tab. 15, Obr. 34). Z opačného hlediska nejhůře obstálo dvousložkové lepidlo Plexus MA 300, jehož pevnost byla pouze 16 % pevnosti základního materiálu (Tab. 11, Obr. 29).

Ve druhé části experimentu byla nejprve na zkušební vzorek nanesena vrstva Primeru CB 9056, po jehož odpaření se na aktivovaný povrch aplikovalo lepidlo. Tato úprava zkušební vzorku výrazně zlepšila pevnost spoje. Největší pevnost spoje byla tahovou zkouškou zjištěna u lepidla Cyberbond 2008, a to 59 % pevnosti základního materiálu (Tab. 12, Obr. 30). Nejhůře opět obstálo dvousložkové lepidlo Plexus MA 300, u kterého pevnost lepeného spoje dosáhla 25 % pevnosti základního materiálu (Tab. 11, Obr. 29). Toto dvousložkové lepidlo proto není k lepení LDPE příliš vhodné.

V poslední části experimentu byly nejprve zkušební vzorky LDPE ozářeny dávkami záření, které se pohybovaly od 33 kGy do 198 kGy. Po radiačním síťování došlo k aplikování lepidla na zkušební vzorek. Z výsledků vyplývá, že nejvhodnější je zkušební vzorek ozařovat dávkou záření 33 kGy. Lepidlo Cyberbond 2028 mělo u takto ozářeného materiálu pevnost spoje 75 % pevnosti základního materiálu (Tab. 16, Obr. 35) a u lepidla Cyberbond 1008 dosáhla pevnost lepeného spoje, po ozářením dávkou 33 kGy, 60 % pevnosti základního materiálu (Obr. 32, Tab. 14).

Při porovnání základních, nerozstříhaných materiálů bez ozářením se základními materiály, které byly ozářeny radiačním beta zářením, bylo zjištěno, že nejmenší pevnost vykazuje neozářený materiál a naopak nejvyšší pevnosti bylo dosaženo ozářením o dávce 198 kGy, kdy se pevnost zvýšila o 2 % (Tab. 10, Obr. 28).

ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá problémem zajištění pevnosti lepeného spoje materiálu LDPE. Součástí praktické části bylo vystříknutí zkušebních tělísek na vstřikovacím stroji a následná úprava až po finální zkonstruování čelního spoje s dvěma příložkami. Za účelem vytvoření co nejpevnějšího spoje byl použit jeden typ dvousložkového methylokrylátového lepidla Plexus MA 300 a tři typy kyanoakrylátového sekundového lepidla Cyberbond (1008, 2008, 2028). Po vyrobení zkušebních vzorků bez předešlé úpravy byl dále zkoumán vliv aktivace povrchu primerem CB 9056 a vliv ozařování polymeru na pevnost lepeného spoje. Pevnost pak byla zjišťována jednoosou tahovou zkouškou na trhacím stroji Zwick 1456.

Z výsledků testování vyplývá, že lepení LDPE bez jakékoliv předchozí úpravy vzorku ozářením, či aktivací primerem, nedává spoji příliš velkou pevnost. Při použití námi zvoleného dvousložkového lepidla Plexus MA 300 je pevnost spoje nedostatečná, proto bych toto lepidlo označil jako nevhodné k lepení LDPE. Kyanoakrylátová sekundová lepidla Cyberbond jsou k řešení problematiky pevnosti lepeného spoje vyhovující.

S problematikou lepení LDPE nám pak výrazně napomáhá funkce primeru a radiační sítování materiálu, které zřetelně zvyšují pevnost spoje. Vůbec nejvyšší pevnosti lepeného spoje bylo dosaženo ozářením materiálu dávkou 33 kGy a aplikací lepidla Cyberbond 2028. Tato úprava zkušební vzorku zajistila 75 % pevnosti základního materiálu, což se dá považovat za vyhovující. Z výsledků měření je patrné, že pro získání co nejvyšší pevnosti lepeného spoje materiálu LDPE, je nutné zvolit optimální úpravu lepeného povrchu v závislosti na použitém lepidle a výsledném využití v praxi.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [3] PETERKA, Jindřich. *Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství*. 1. vyd. Praha 1: SNTL, 1980. 792 s.
- [2] OSTEN, Miloš. *Práce s lepidly a tmely*. 3. vyd. Praha 1: Grada Publishing, 1996. 136 s.
- [3] OSTEN, Miloš. *Práce s lepidly a tmely*. 3. vyd. Praha 1: SNTL, 1986. 288 s.
- [4] OSTEN, Miloš. *Lepení plastických hmot*. 1. vyd. Praha 1: SNTL, 1972. 152 s.
- [5] KOVAČIČ, Ludomír. *Lepenie kovov a plastov*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1980. 392 s.
- [6] BOUBLÍK, Vlastimil. *Lepidla a jejich příprava*. 1. vyd. Praha 1: SNTL, 1966. 192 s.
- [7] LANGMAIER, Ferdinand. *Adhese a adheziva*. 1. vyd. Zlín: FT VUT, 1999. 106 s.
- [8] MĚŘÍNSKÝ, Vlastimil. *Nauka o materiálech 2*. Praha 1: SNTL, 1989. 196 s.
- [9] NAVRÁTILOVÁ, Jana. *Konstrukční polymery*. (přednáška) Zlín: UTB Zlín.
- [10] Projekt alfa. *Lepidla* [online]. 2009 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://projektaalfa.ic.cz/lepidla.htm>
- [11] Loctite. *Arburg allrounder*. [online]. 2011 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.kleje-loctite.pl/book/i021ch02.htm>
- [12] Technika a trh. *Informacje techniczne*. [online]. 2011 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.technikaatrh.cz/plasty/allrounder-570-c>
- [13] GREGOR, Miroslav. UHU. *Lepení plastů* [online]. 2008 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.uhu.cz/lepeni-plastu>
- [14] LENFELD, Petr. Oddělení tváření kovů a plastů. *Doplňkové technologie pro zpracování plastů: Technologie spojování plastů*. [online]. 2005 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/12.htm
- [15] Zkoušení stavebních hmot a výrobku. *Identifikace plastů*. [online]. 2010 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=plasty_identif
- [16] Ústav fyziky a materiálového inženýrství. *Identifikační zkoušky polymerů*. [online]. 2009 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/kzm/KZM_05.pdf

- [17] Informační web pro žáky. *Lepené spoje*. [online]. 2012 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-s-09_lepenespoje.pdf
- [18] Wikipedie. *Polyethylen*. [online]. 2012 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Polyethylen>
- [19] Cyberbond. *Sekundová lepidla*. [online]. 2009 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://cybershopcz.com/>
- [20] HorTrade. *Listy technických dat Plexus*. [online]. 2012 [cit. 2012-05-16]. Dostupné z: <http://www.hortrade.cz/main.php?lang=cs&a=96>
- [21] HRÁDEK, Zbyněk. *Metodika modelování lepených spojů v automobilovém průmyslu*. Brno, 2010. Diplomová práce. VUT.
- [22] LAMBOROVÁ, Romana. *Recyklace ozářených polymerů*. Zlín, 2009. Diplomová práce. UTB.
- [23] SCHINDLEROVÁ, Lucie. *Vliv radiačního síťování na vlastnosti vybraných polymerů*. Zlín, 2011. Diplomová práce. UTB.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PA	Polyamid
PC	Polykarbonát
PE	Polyethylen
PS	Polystyren
PVC	Polyvinylchlorid
POM	Polyoxymethylen
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
PMMA	Polymethylmethakrylát
LDPE	Nízko-hustotní polyethylen
HDPE	Vysoko-hustotní polyethylen
LLDPE	Lineární nízko-hustotní polyethylen
CB	Cyberbond
ČSN	Česká technická norma
\bar{x}	Aritmetický průměr
δ	Střední kvadratická chyba
F _p	Maximální zatěžující síla

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Adheze a koheze v lepeném spoji. [11].....</i>	14
<i>Obr. 2. Vztah lepidla k lepenému materiálu. [3]</i>	15
<i>Obr. 3. Přehled adhezních vlivů. [3]</i>	15
<i>Obr. 4. Struktura lepeného spoje. [4]</i>	16
<i>Obr. 5. Rozdílný průběh napětí mezi spoji. [14]</i>	18
<i>Obr. 6. Pronikání lepidla do mikropovrchu. [3]</i>	19
<i>Obr. 7. Typy nerovností mikropovrchu. [3]</i>	20
<i>Obr. 8. Smáčení povrchu kapalinami. [13]</i>	20
<i>Obr. 9. Vady ve vrstvě lepidla. [21]</i>	24
<i>Obr. 10. Přehled konstrukčních možností lepených plochých spojů. [14]</i>	25
<i>Obr. 11. Deformace jednostranně přeplátovaných spojů v důsledku excentrického působení sil. [2]</i>	26
<i>Obr. 12. Namáhání lepeného spoje. [2]</i>	31
<i>Obr. 13. Obecný vzorec polyolefinu. [9]</i>	39
<i>Obr. 14. Strukturní vzorec PE. [18]</i>	39
<i>Obr. 15. Rozdíly struktury mezi základními druhy vyráběných polyethylenů. [9]</i>	39
<i>Obr. 16. Lepidlo Cyberbond. [19]</i>	41
<i>Obr. 17. Lepidlo Plexus. [20]</i>	41
<i>Obr. 18. Vstřikovací stroj Arburg ALLROUNDER 420C Advance. [12]</i>	44
<i>Obr. 19. Zkušební vzorek s vtokovým zbytkem.</i>	44
<i>Obr. 20. Příprava zkušebních tělísek.</i>	45
<i>Obr. 21. Vytlačovací pistole.</i>	45
<i>Obr. 22. Statický mixér.</i>	45
<i>Obr. 23. Čelní spoj s dvěma příložkami.</i>	46
<i>Obr. 24. Postup při lepení.</i>	47
<i>Obr. 25. Primer CB 9056. [19]</i>	48
<i>Obr. 26. Průnik záření beta. [23]</i>	49
<i>Obr. 27. Trhací stroj Zwick 1456 a zkouška jednoosým tahem.</i>	50
<i>Obr. 28. Vliv ozařování na pevnost LDPE.</i>	52
<i>Obr. 29. Závislost maximální zatěžující síly při použití lepidla Plexus MA 300.</i>	53
<i>Obr. 30. Závislost maximální zatěžující síly při použití lepidla Cyberbond 2008.</i>	54
<i>Obr. 31. Závislost maximální zatěžující síly při použití lepidla Cyberbond 1008.</i>	55

<i>Obr. 32. Vliv radiačního sítování při použití lepidla Cyberbond 1008.....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 33. Porovnání maximální zatěžující síly při ozáření vzorku a bez ozáření s použitím lepidla Cyberbond 1008.</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 34. Závislost maximální zatěžující síly při použití lepidla Cyberbond 2028.....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 35. Vliv radiačního sítování při použití lepidla Cyberbond 1008.....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 36. Porovnání maximální zatěžující síly při ozáření vzorku a bez ozáření s použitím lepidla Cyberbond 1008.</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 37. Závislost maximální zatěžující síly při použití všech typů lepidel.....</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 38. Srovnání Vlivu radiačního sítování při použití lepidel Cyberbond.</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 39. Maximální pevnost spoje bez úpravy vzorku, použití primeru a úpravy materiálu radiačním sítováním.</i>	<i>62</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Výhody a nevýhody různých metod spojování. [12]</i>	17
<i>Tab. 2. Zkoušky plastických hmot plamenem. [13]</i>	30
<i>Tab. 3. Základní vlastnosti CB 1008. [19]</i>	41
<i>Tab. 4. Základní vlastnosti CB 2008. [19]</i>	42
<i>Tab. 5. Základní vlastnosti CB 2028. [19]</i>	42
<i>Tab. 6. Technické parametry vstřikovacího stroje. [12]</i>	43
<i>Tab. 7. Vlastnosti Primer CB 9056. [19]</i>	48
<i>Tab. 8. Technické parametry trhacího stroje</i>	50
<i>Tab. 9. Počty kusů zhotovených zkušebních vzorků</i>	51
<i>Tab. 10. Velikost maximální zatěžující síly u základního nerozstříhaného vzorku</i>	52
<i>Tab. 11. Velikost maximální zatěžující síly při použití lepidla Plexux MA 300</i>	53
<i>Tab. 12. Velikost maximální zatěžující síly při použití lepidla Cyberbond 2008</i>	54
<i>Tab. 13. Velikost maximální zatěžující síly při použití lepidla Cyberbond 1008</i>	55
<i>Tab. 14. Velikost maximální zatěžující síly s ozářeným zkušebním vzorkem a při použití lepidla Cyberbond 1008</i>	56
<i>Tab. 15. Velikost maximální zatěžující síly při použití lepidla Cyberbond 2028</i>	58
<i>Tab. 16. Velikost maximální zatěžující síly s ozářeným zkušebním vzorkem a při použití lepidla Cyberbond 2028</i>	59

SEZNAM PŘÍLOH

PI CD ROM