

Lepení LLDPE

Ondřej Hubáček

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: **Ondřej HUBÁČEK**
Osobní číslo: **T09423**
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Téma práce: **Lepení LLDPE**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracování literární studie na dané téma
2. Příprava zkušebních vzorků na 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: HUBÁČEK ONDŘEJ

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 10.5.2012

Hubáček

²¹ 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 nevdělečně 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.

²² 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).

³⁰ 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 díla:

(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 užit či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jim 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 přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá vlastnostmi lepených spojů u lineárního nízkohustotního polyetylenu LLDPE. V teoretické části je popsána problematika lepeného spoje, jeho vznik, činitelé ovlivňující jeho kvalitu. Dále jsou zde popsány hodnotící metody kvality lepeného spoje. Praktická část se týká přípravy lepených vzorků, jejich slepení daným lepidlem a následného testování slepených spojů na pevnost v tahu na trhacím stroji Zwick 1456.

Klíčová slova: Lepení, LLDPE, lepené spoje, pevnost spoje, lepidlo.

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with properties of adhesively bonded joints of linear low-density polyethylene (LLDPE). The theoretical part describes adhesively bonded joints, its formation and factors affecting its quality. This part describes measuring methods of quality adhesively bonded joint. The practical part includes preparation of test samples and measuring of strength of bonded joints in a testing machine Zwick 1456.

Keywords: Adhesive bonding, LLDPE, bonded joins, strength joins, adhesive.

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu své bakalářské práce, panu Ing. Martinu Bednaříkovi za odborné vedení, rady a pomoc při zpracování bakalářské práce.

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

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 TEORIE LEPENÍ	13
1.1 VÝHODY LEPENÍ.....	13
1.2 NEVÝHODY LEPENÍ.....	13
2 ADHEZNÍ A KOHEZNÍ SÍLY	15
2.1 DRUHY ADHEZE.....	15
2.1.1 Chemická teorie adheze.....	15
2.1.2 Mechanická teorie adheze.....	16
2.1.3 Elektrostatická teorie adheze.....	16
2.1.4 Difuzní teorie adheze.....	16
2.1.5 Sorpční teorie adheze.....	17
3 ČINITELÉ OVLIVŇUJÍCÍ KVALITU LEPENÉHO SPOJE	18
3.1 POLARITA.....	18
3.2 KRISTALINITA POLYMERŮ.....	18
3.3 OBSAH PLNIV.....	18
3.4 OBSAH ZMĚKČOVADEL.....	18
3.5 SOUDRŽNOST POVRCHU.....	19
3.6 ROVNOST A HLADKOST POVRCHU.....	19
3.7 ČISTOTA POVRCHU.....	20
3.8 DÉLKOVÁ ROZTAŽNOST.....	21
3.9 ROZPUSTNOST, BOTNAVOST.....	21
4 LEPIDLA	22
4.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ LEPIDEL.....	22
4.2 VLASTNOSTI LEPIDEL.....	22
4.2.1 Polymerační stupeň.....	22
4.2.2 Vedlejší skupiny na řetězci polymeru.....	22
4.2.3 Přídavek plniva.....	23
4.2.4 Přídavek změkčovadla.....	23
4.2.5 Obsah rozpouštědla.....	23
4.2.6 Viskozita lepidla.....	24
4.2.7 Kyselost a alkalita.....	24
4.2.8 Homogenita lepidla.....	24
4.2.9 Objemová stálost filmu lepidla.....	24
4.3 SKLADOVÁNÍ LEPIDEL.....	25
5 LEPENÍ POLYMERŮ	26
5.1 STRUKTURA LEPENÉHO SPOJE.....	26
5.2 ÚPRAVA POVRCHŮ (ADHERENDŮ).....	27
5.2.1 Mechanické očištění.....	27
5.2.2 Odmašťování.....	27
5.3 NANÁŠENÍ LEPIDLA.....	28
6 HODNOCENÍ KVALITY LEPENÉHO SPOJE	30

6.1	ZKUŠEBNÍ METODY DESTRUKTIVNÍ	30
6.1.1	Pevnost lepených spojů ve smyku.....	30
6.1.2	Pevnost lepených spojů v tahu	30
6.1.3	Pevnost lepených spojů v odlupování	30
6.1.4	Pevnost lepených spojů při namáhání rázem	31
6.1.5	Zkouška lámavosti lepených spojů	31
6.1.6	Zkouška soudržnosti lepeného spoje při statickém zatížení	31
6.1.7	Zkouška trvalé (časové) pevnosti a stárnutí	31
6.2	ZKUŠEBNÍ METODY NEDESTRUKTIVNÍ	31
6.2.1	Optická zkušební metoda	31
6.2.2	Defektoskopie pomocí radioizotopu	31
6.2.3	Ultrazvuková defektoskopie.....	32
6.2.4	Akustická defektoskopie	32
II	PRAKTICKÁ ČÁST	33
7	CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	34
8	VOLBA MATERIÁLU A LEPIDEL	35
8.1	VOLBA MATERIÁLU	35
8.2	VOLBA LEPIDEL.....	35
8.2.1	Cyberbond 1008	36
8.2.2	Cyberbond 2008	36
8.2.3	Cyberbond 2028	37
8.2.4	Plexus MA832.....	37
9	VÝROBA LEPENÝCH SPOJŮ	39
9.1	VÝROBA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	39
9.1.1	Vstřikovací stroj Arburg 420C Advanced.....	39
9.2	ÚPRAVA POVRCHŮ ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	40
9.2.1	Radiační síťování	40
9.2.2	Aktivace Primerem Cyberbond 9056.....	42
9.3	KONSTRUKCE LEPENÝCH SPOJŮ.....	43
9.3.1	Příprava před lepením vzorků	44
9.3.2	Přípravky pro lepení	45
9.4	MĚŘENÍ PEVNOSTI LEPENÝCH SPOJŮ	46
10	VÝSLEDKY TAHOVÝCH ZKOUŠEK	48

10.1	VLIV OZÁŘENÍ NA PEVNOST ZÁKLADNÍHO MATERIÁLU	48
10.2	VZORKY LEPENÉ LEPIDLEM CYBERBOND 1008	50
10.3	VZORKY SLEPENÉ LEPIDLEM CYBERBOND 2008.....	52
10.4	VZORKY SLEPENÉ LEPIDLEM CYBERBOND 2028.....	54
10.5	VZORKY SLEPENÉ LEPIDLEM PLEXUS MA832.....	55
10.6	SROVNÁNÍ NEJLEPŠÍCH VÝSLEDKŮ PEVNOSTI LEPENÝCH SPOJŮ BEZ POVRCHOVÉ ÚPRAVY	56
10.7	SROVNÁNÍ NEJLEPŠÍCH VÝSLEDKŮ PEVNOSTI LEPENÝCH SPOJŮ S AKTIVÁTOREM PRIMER	57
10.8	SROVNÁNÍ NEJLEPŠÍCH VÝSLEDKŮ PEVNOSTI LEPENÝCH SPOJŮ U OZÁŘENÝCH VZORKŮ	58
10.9	SROVNÁNÍ NEJLEPŠÍCH VÝSLEDKŮ VŠECH LEPIDEL	59
	DISKUZE VÝSLEDKŮ	60
	ZÁVĚR	62
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	63
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	64
	SEZNAM OBRÁZKŮ	65
	SEZNAM TABULEK.....	67
	SEZNAM PŘÍLOH.....	68

ÚVOD

Lepení ve srovnání s klasickými metodami spojování poskytuje nové kombinační možnosti a dovoluje získat spoj takových tvarů a vlastností, které nejsou dosažitelné jinými způsoby spojování. Lepení je výhodné nejen pro vytváření velkoplošných spojů, ale i pro upevňování velkého počtu malých součástí, pro sestavování rovnoměrných celků z dílců apod. Lepit můžeme téměř všechny materiály, a to mezi sebou navzájem, i s jinými materiály. Lepení totiž umožňuje jak pevné a pružné spoje současně, tak i vrstvení materiálů na sebe. Vhodnost použití lepeného spoje se ovšem musí pro každý jednotlivý případ vždy předem ověřit a hodnoty dosažených pevností porovnat s hodnotami vlastností původního materiálu. Nesmíme očekávat, že každé lepidlo poskytne pevné spoje na všech materiálech. Některá lepidla lze s úspěchem použít na spoustu materiálu, nelze je však považovat za univerzální. Univerzální lepidla na všechny materiály neexistují. Jen s určitými druhy lepidel, na konkrétních materiálech a za konkrétních podmínek je možné získat spoje s optimálními vlastnostmi. Pro úspěšné použití lepidel je velice důležitá znalost technologie lepení a faktorů, které ovlivňují pevnost lepeného spoje. [2, 4]

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TEORIE LEPENÍ

Lepením rozumíme technologický postup, při kterém se dosahuje trvalého spoje stejných nebo rozdílných materiálů, pomocí lepidla. Lepidlo je látka, která spojuje povrchy přilnavostí (adhezí) a vlastní soudržností (kohezí), aniž se podstatně mění struktura slepované hmoty. Adheze i koheze se uplatňují ve slepovaném spoji souběžně. [1]

Tak jako jiné zpracovatelské metody, vyznačuje se i lepení nejen mnoha výhodami, ale i některými zápornými, ale i limitujícími činiteli, např. vyššími nároky na čistotu a přesnost práce. Při rozhodování o způsobu a typu spoje je třeba uvážit přednosti a nevýhody lepení ve srovnání s tradičními způsoby spojování materiálů. [2]

Pro konstruktéra má lepení jako způsob vytváření nerozebíratelných spojů mnoho předností a výhod. Lepené spoje jsou na rozdíl od klasických spojů provedených nýty či šrouby nepropustné pro kapaliny, popř. i pro plyny. Lepením se nenarušuje hladkost povrchu a tedy ani estetický vzhled výrobku. Nezhoršují se též mechanické vlastnosti konstrukčního materiálu vrtáním otvorů pro spojovací prvky. Při dynamickém namáhání konstrukce rozvádí lepený spoj vzniklé pnutí mnohem rovnoměrněji než kterýkoliv jiný mechanický spoj. [4]

1.1 Výhody lepení

Lepení dovoluje spojovat stejné nebo různorodé materiály bez ohledu na jejich tloušťku a aplikací lepidel není narušena celistvost spojovaných dílců. Je možné připravit spoje vodotěsné i plynotěsné a není narušován profil ani estetický vzhled lepeného souboru. Lepené spoje zabraňují vzniku elektrolytické koroze kovových adherendů a mohou být průhledné nebo i barevně přizpůsobené. Lepením se nezvyšuje hmotnost souboru, což je jedním z předpokladů miniaturizace a lze dosáhnout vysoké pevnosti spojů, zejména při namáhání ve smyku a rázové pevnosti. [2]

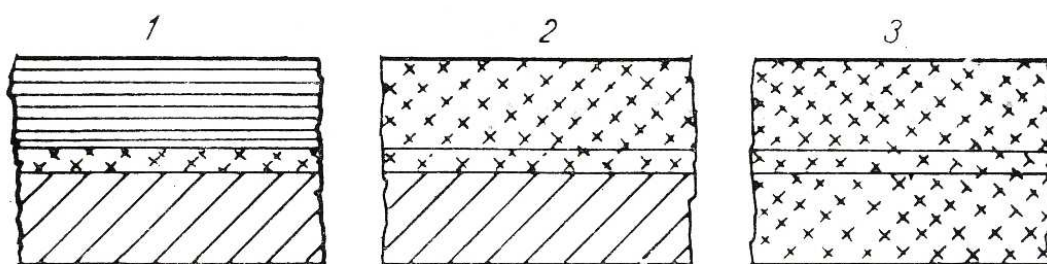
1.2 Nevýhody lepení

Lepení klade vysoké požadavky na rovinnost a čistotu povrchu lepených dílců (adherendů) a jsou nutné speciální úpravy povrchu u adherendů se špatnými adhezními vlastnostmi. Konstrukčně použitelné spoje nejsou rozebíratelné a většina lepených spojů je citlivá vůči namáhání v odlupování. U lepení je omezena jak životnost lepících směsí, tak i odolnost vůči vyšším teplotám. Film termoplastických lepidel je citlivý vůči dlouhodobému static-

kému namáhání (vede k tečení polymerní složky lepidla) a maximální pevnosti spoje je dosaženo až po určité době. Lepení v průmyslovém měřítku je náročnější na vybavení pracoviště (nanášecí zařízení, lisy, přípravky). [2, 4]

2 ADHEZNÍ A KOHEZNÍ SÍLY

Síly vyvolávající přilnavost lepidla (adheziva) a lepeného materiálu (adherendu) označujeme jako adhezi. Má-li lepidlo a spojovaný materiál stejné složení, jde o auto adhezi jednostrannou nebo oboustrannou. Pro pevnost lepeného spoje má význam nejen adheze lepidla k adherendu, ale i soudržnost filmu lepidla po ztuhnutí nebo vytvrzení. Jde o tzv. kohezi, jejíž hodnoty závisí na složení filmu lepidla v konečné fázi lepení. [2]



Obr. 1. Vztah lepidla k lepenému materiálu.[2]

1 - složení lepidla je odlišné od složení lepených dílců (běžný adhezní vztah); 2 - lepidlo a jedna z lepených ploch mají shodné chemické složení (jednostranná adheze); 3 - lepidlo a oba lepené materiály mají shodné chemické složení (úplná adheze)

2.1 Druhy adheze

2.1.1 Chemická teorie adheze

Chemické teorie adheze vycházejí z představy, že síly působící na fázovém rozhraní adherend/adhezní film mají charakter chemických (kovalentních) vazeb, které jsou typické vysokým energetickým obsahem. Látky, které zprostředkovávají adhezi, se označují jako promotory adheze. V různých systémech adherend/adhezivum mohou mít různou povahu. Přítomnost promotorů není vždy nutnou podmínkou. Chemické teorie adheze jsou v dnešní době zastávány malou měrou především proto, že snahy zavést do adheziv či adherendů reakce schopné funkční skupiny vedly spíše k zhoršení pevnosti adhezních spojů než k jejich zlepšení. [3]

2.1.2 Mechanická teorie adheze

Mechanické teorie vychází z představy, že po proniknutí kapalného adheziva do trhlin a kavit lepeného povrchu, dojde po zatuhnutí adheziva k jeho „zaklínění k povrchu adherendu. Teoreticky by zvýšená penetrace adheziva do povrchu adherendu (nižší viskozita adheziva) měla vést k vyšší pevnosti spoje, avšak v praxi často dochází s poklesem viskozity adheziva k snížení pevnosti spojení následkem vzniku diskontinuálního adhezivního filmu [2, 3]

2.1.3 Elektrostatická teorie adheze

Elektrostatická teorie adheze vychází z poznatku, že přilnavost filmu lepidla na kov nebo vysokomolekulární plasty závisí na rychlosti odtrhování spoje. Byl vysloven názor, že při úzkém kontaktu dvou nestejných polymerů nebo polymerů a kovu dochází mezi oběma materiály k přechodu elektronů. Jedna z hraničních vrstev se tak stává chudší a druhá bohatší na elektrony, což podle uvedené teorie vede k vytvoření dvojvrstvy, která je jakýmsi mikrokondenzátorem. Působí-li pak síla ve smyslu oddálení obou vrstev, zvětšuje se rozdíl potencionálu až do momentu roztržení, kdy se rozdíl vyrovná. Závislost odporu působícího proti odtrhové síle na rychlosti odtrhování byla vysvětlena tím, že při pomalém odtrhování mohou elektrické náboje odtékat, kdežto při zvýšené rychlosti odtrhování je tomu naopak. V současné době je elektrostatická koncepce ve všech svých modifikacích prakticky opuštěna. [2, 3]

2.1.4 Difuzní teorie adheze

Difuzní teorie vychází v podstatě z mechanické teorie, ale místo úrovně mikroskopické používá úroveň molekulární. Jejím základem byly teorie autoadheze polymerů (adheze vrstev téhož polymeru). Uplatňuje se interdifuze makromolekulárních segmentů přes fázové rozhraní tak výrazně, že vede k vymizení férového rozhraní. Pokud jsou makromolekulární segmenty různých polymerů dostatečně pohyblivé a vzájemně kompatibilní (rozpuštěné) může se interdifuze uplatnit i v případech rozdílných polymerů. Pevnost adhezivního spojení pak závisí na několika faktorech, především na:

- době kontaktu adheziva a adherendu,
- teplotě,
- charakteru polymerů (kompatibilitě),

- molekulární hmotnosti polymerů. [3]

2.1.5 Sorpční teorie adheze

Teorie adsorpční spočívá na termodynamických úvahách o smáčení pevného povrchu kapalinami. V procesu adhezního spojování rozeznáváme dvě stádia. V prvním převažuje transport molekul adheziva k povrchu adherendu na vzdálenost, umožňující vzájemnou interakci obou fází silami van der Waalsovskými. Toto stádium urychlují všechny faktory, které zvyšují pohyblivost molekul (zvýšení teploty, tlaku, přidavek plastifikátorů, dobré smáčení povrchu adherendu kapalným adhezivem atd.). Druhá fáze, k níž dochází v okamžiku, když se molekuly adherendu a adheziva přiblíží na vzdálenost, při které začínají působit van der Waalsovské síly je analogická sorpci a je časově podstatně méně náročná. Za předpokladu dostatečného kontaktu (na molekulární úrovni) adherendu a adheziva postačují van der Waalsovské síly k dobré pevnosti adhezního spojení. Příčina malé pevnosti adhezního spoje je spatřována především v omezeném kontaktu polymerů adherendu a adheziva. Adheziva se vždy aplikují v kapalně formě a podmínka k dosažení dobrého kontaktu s polymerem adherendu proto úzce souvisí s dokonalostí smáčení tohoto povrchu kapalným adhezivem. [3]

3 ČINITELE OVLIVŇUJÍCÍ KVALITU LEPENÉHO SPOJE

3.1 Polarita

Slabě až středně polární hmoty (polyvinylchlorid, polymethylmetakrylát, polyestery, celulozoid, fenoplasty, aminoplasty, epoxidové hmoty aj.) jsou vesměs lepitelné polárními lepidly stejného původu jako lepená hmota.

Silně polární hmoty, zejména polyamidy, hydratovaná celulóza a některé z polyuretanových hmot, se lepí hůře než hmoty polární.

Některé nepolární hmoty jako např. polyetylén, polypropylén, polytetrafluóretylén a vysokomolekulární polyizobutyren jsou velmi těžce lepitelné až nelepitelné. Problém se proto obchází předběžnou úpravou povrchu oxidací, která vede k místnímu zlepšení polarit. Lepitelnost nepolárního polymeru lze do jisté míry zlepšit i přidávkem polárních plniv, polárních kopolymerů, změkčovadel apod. Potíže činí i slepování hmot s rozdílnou polaritou.

3.2 Krystalinita polymerů

Ne všechny plastické hmoty mají amorfní strukturu. Některé termoplasty (polyetylen, polypropylén, polytetrafluórethylen, polyamid) jeví v důsledku rovnoměrné stavby makromolekulárního řetězce sklon ke krystalinitě. Vyznačují se vesměs lepšími mechanickými a fyzikálními vlastnostmi než polymery amorfní. Z hlediska dosažení optima těchto vlastností je tedy ataktický podíl v polymerech nežádoucí. Na lepitelnost má však krystalinita vliv právě opačný. Se zvyšujícím se krystalinickým podílem lepitelnost polymeru klesá, a naopak.

3.3 Obsah plniv

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

3.4 Obsah změkčovadel

Měkké plastické hmoty, ať už fólie, nebo lehčené materiály, pokud obsahují ve větším množství nízkomolekulární změkčovadla (ftaláty, fosfáty apod.), mohou být spolehlivě lepeny jen lepidly, která se s těmito změkčovadly nemísí. Jsou to např. vulkanizovatelná

kaučuková lepidla, lepidla tvrditelná a některé kopolymery. Jinak migrující změkčovadlo po určité době film lepidla rozleptá, čímž je ohrožena pevnost spoje. Nízkomolekulární změkčovadla se proto nahrazují měkkými termoplastickými hmotami, zejména polyizobutylénem, polydialylftalátem, polypropyléndiadiatátem aj. Je-li měkčící složka zabudována v makromolekule polymeru je ohrožení spoje migrací změkčovadla vyloučeno.

3.5 Soudržnost povrchu

Jiným z faktorů, na nichž závisí pevnost spoje, je soudržnost povrchové vrstvy lepené hmoty. Tato vlastnost je důležitá při zpracování lehčených pěnových materiálů, kaširovaných vícevrstevných hmot, dekoračních materiálů elektrostaticky poprašovaných a skelných laminátů. Některé pěnové hmoty, zejména na fenolické a močovinové bázi, mají při menší objemové váze jen velmi malou soudržnost. I při malém zatížení lepeného spoje dojde zpravidla k jeho destrukci stržením jedné z povrchových vrstev. V uvedených případech může být pevnost spoje zhoršena např. tím, že rozpouštědlo nebo tvrdidlo obsažené v lepidle naruší soudržnost kaširované nebo poprašované vrstvy s nosičem. Ke zhoršení soudržnosti povrchové vrstvy může dojít i nevhodným zdrsněním, jestliže hmota (např. skelný laminát) obsahovala těsně pod povrchem orientované plnivo – nosič.

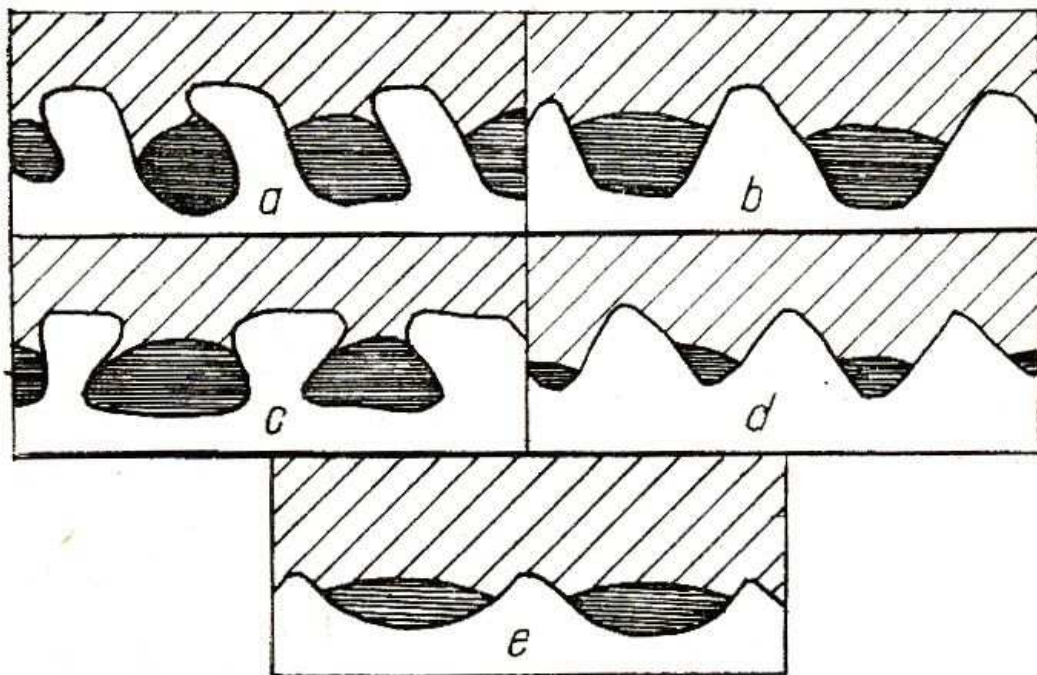
3.6 Rovnost a hladkost povrchu

Každá styčná plocha představuje tři druhy povrchu:

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

Geometrický povrch, zahrnující délkové rozměry lepené plochy a tloušťkové tolerance vytvářející charakteristiku souběžnosti spojovaných ploch, ovlivňuje především stejnoměrnost rozvrstvení lepidla ve spáře. Na účinný styk lepidla s povrchem má při dané viskozitě lepidla vliv tvar nerovností mikropovrchu. Základní typy nerovností jsou zobrazeny na Obr. 2. Z výpočtů smáčivosti ve vztahu k hloubce a průměru nerovnosti bylo zjištěno, že se zmenšujícím průměrem a hloubkou nerovností (typu d) dochází postupně až k samovolné adhezi i bez použití lepidla. Jiné nerovnosti povrchu (např. typu a), jsou naopak pro lepení nevýhodné, protože lepidlo jen obtížně proniká do prohlubní naplněných plynem (vzdu-

chem) a nesmáčí větší volnou část mikropovrchu. U miskovité nerovnosti (typ e), jejíž výskyt se předpokládá na leštěném povrchu, je tomu podobně. Lze tedy říci, že jen tvarově výhodné zdrsnění povrchu může mít příznivý vliv na pevnost spoje. Jako optimální hloubka zdrsnění se zpravidla uvádí 1 až 6 mikrometru. Přitom lepidla tvrzená za normální teploty jsou na tvar povrchu citlivější než lepidla tvrzená za horka.



Obr. 2. Pět typů nerovností povrchu podle deBruyna.[4]

a - válcová nerovnost; b - kónická otevřená nerovnost; c - kónická uzavřená nerovnost; d - kónická plochá nerovnost; e - miskovitá nerovnost

3.7 Čistota povrchu

Absolutní kontakt lepidla s povrchem lepené hmoty předpokládá, že plocha určená k lepení je zbavena všech separačně působících látek, zejména mastnoty, korozních zplodin a adsorbovaných plynů. Odstranění prvých dvou druhů nečistot není v zásadě problém; k odmašťování se používá rozpouštědel a moření chemickými látkami. Odstranění adsorbované plynové vrstvy, o jejich existenci svědčí výsledky pokusů s ultrazvukem, nebylo dosud spolehlivě vyřešeno.

3.8 Délková roztažnost

Většina plastických hmot má 6 až 10krát větší délkovou roztažnost za tepla než klasické materiály, jako je např. sklo, dřevo nebo beton a kovy. U kombinovaných spojů, není-li tomu zabráněno jejich zvláštním provedením, se tato vlastnost může stát příčinou vzniku pnutí a následné deformace nebo porušení spoje.

3.9 Rozpustnost, bobtnavost

Řada termoplastických polymerů se rozpouští nebo bobtná v organických rozpouštědlech, která jsou obsažena v roztokových, popř. disperzních rozpouštědlech. Při práci s kompaktními tlustostěnnými materiály je tato okolnost pro dosažení lepší adheze výhodou (lepí se i čistými rozpouštědly), kdežto při lepení fólií, kdy může být příčinou deformace povrchu, není žádoucí. [4]

4 LEPIDLA

4.1 Základní rozdělení lepidel

Lepidla můžeme rozdělovat podle několika hledisek:

- a) *podle původu* (lepidla organická, anorganická, smíšená),
- b) *podle konzistence* (lepidla tuhá, polotuhá, tekutá),
- c) *podle způsobu tuhnutí* (lepidla reaktivní, nereaktivní),
- d) *podle tepelných vlastností filmu* (lepidla termosetická, termoplastická, kaučuková),
- e) *podle odolnosti filmu lepidla k vodě* (lepidla neodolná proti vodě, krátkodobě odolná proti vodě, trvale odolná proti vodě). [4]

4.2 Vlastnosti lepidel

4.2.1 Polymerační stupeň

Vliv polymeračního stupně polymeru obsaženého v lepidle je do značné míry protichůdný. S rostoucí délkou molekuly stoupá viskozita roztoků, adheze k podkladu zpravidla klesá a koheze stoupá, a naopak. S vyšším polymeračním stupněm se zpravidla zlepšuje teplená odolnost. Makromolekuly s nižším polymeračním stupněm lépe difundují do mikroskopických pórů povrchu. Makromolekuly vyššího polymeračního stupně jsou vhodnější pro vytvoření pevného filmu lepidla. Protože pro správnou funkci lepidla ve spáře je nutná jak vysoká adheze k podkladu, tak dostatečná koheze, musí být v lepidle zastoupeny v kompromisním poměru vysokomolekulární i nízkomolekulární složky. Proto se například adhezní vlastnosti a elasticita vysokomolekulárních látek zlepšují přidávkem změkčovadel nebo nízkomolekulárních měkkých pryskyřic. Podle dosavadních zkušeností se pro použití na lepidla hodí polymery polymeračního stupně od 50 do 300. Volba jmenovitého polymeračního stupně je ovšem možná jen při výrobě lepidel na bázi nereaktivních polymerů. [4]

4.2.2 Vedlejší skupiny na řetězci polymeru

Vedlejšími skupinami na řetězci polymeru jsou určovány polární charakteristiky, rozpustnost a tuhost filmu lepidla. Vhodnou kombinací příbuzných polymerů lze dosáhnout zvýraznění vlastností v tom či onom směru. Roztok polybutylakrylátu je lepidlem, které vytvá-

ří podstatně elastičtější film a vyznačuje se lepší přilnavostí než roztok polymetylmetykrylátu. Velmi markantní je vliv substituentů na makromolekule celulózy. [4]

4.2.3 Příklad plniva

Příklad plniva v lepidle splňuje několiký účel. Především se jím reguluje viskozita a nepřímo tedy prosakování lepidla do podkladu a tloušťka filmu lepidla. Plnivo může dále sloužit k rozvedení vnitřního pnutí lepidla (mouka močovinoformaldehydových lepidel) nebo vyrovnání fyzikálních vlastností lepidla a lepené hmoty, například délkové roztažnosti teplem a tepelné vodivosti (příklad kovového prachu). Některá plniva se hodí jako nastavovadla, která lepící směs zlevňují. K tomuto účelu se používá různých organických a anorganických látek, zpravidla inaktivního charakteru, například kaolinu, porcelánové moučky, kysličníku titaničitého, technické žitné mouky, škrobu, mletých kovů, popřípadě i vzduchu pokud jde o takzvané šlehané lepící směsi. Při zahušťování dvousložkových lepidel platí zásada, že plnivo se přidává, do lepidla vždy před přidáním tvrdidla. Mají-li se s plnivem mísit velmi viskózní lepidla, směs se přechodně ředí těkavým organickým rozpouštědlem. [4]

4.2.4 Příklad změkčovadla

Je známo, že nejen tuhost filmu lepidla, ale i jeho adhezi k podkladu lze ovlivnit přidáním změkčovadla. Používá se arylfosfátů, ftalátů, glykolů a měkkých pryskyřicových produktů například kumaron-indenové, alkylfenolové a alkydové pryskyřice. Větší měkkost a přilnavost filmu obsahujícího změkčovadlo je vysvětlována lepší pohyblivostí makromolekul a jejich snadnějšímu pronikání do mikroskopických pórů povrchu lepené hmoty. Obsah změkčovadel v lepidle nepřekračuje zpravidla 20%. Nejsou-li tekutá změkčovadla s polymerem obsaženým v lepidle chemicky vázána, mohou po delší době migrovat do sousedních vrstev, pokud je tyto vrstvy přijímají. V takovém případě může dojít ke zhoršení pevnosti spoje. [4]

4.2.5 Obsah rozpouštědla

Rozpouštědla slouží v lepidlech jako pomocný prostředek, usnadňující rovnoměrné nanesení polymeru na lepený povrch. Zlepšují také smáčivost povrchu, a tím i kontakt lepidla s mikropovrchem hmoty. Rozpouštědlo se z filmu lepidla musí vždy zase odstranit. Děje se tak trojím způsobem:

- a) předběžným odpařením ve fázi otevřeného sestavení spoje,

- b) vsáknutími jedné nebo obou lepených ploch a následným odpařením,
- c) polymerací, jde-li o reaktivní rozpouštědlo (monomer). [4]

4.2.6 Viskozita lepidla

Je funkcí obsahu sušiny, polymeračního stupně filmotvorného polymeru, poměru rozpouštědla k ředidlu a teploty. Čím je lepidlo viskóznější, tím hůře se nanáší a v extrémním případě dochází i k nedokonalému smáčení povrchu lepené hmoty. U některých reaktivních lepidel viskozita stárnutím samovolně vzrůstá. Taková lepidla se musí uchovávat v chladu (při 0 až 5 °C), kdy polykondenzační reakce prakticky ustávají. Rozpouštědlová lepidla všeho druhu se mají skladovat v uzavřených nádobách, aby se zabránilo odpařování rozpouštědel, a tím i vzrůstu viskozity. [4]

4.2.7 Kyselost a alkalita

Některá dvousložková lepidla se vytvrzují silně kyselými nebo silně alkalickými tvrdícími katalyzátory. Takových lepidel nelze použít k lepení povrchů, které by potřebnou kyselost nebo alkalitu obsaženého tvrdidla otupovaly. Silně kyselé nebo alkalické lepicí směsi vyžadují mimo to zvláštní péči o čistotu zařízení a dodržování předpisů bezpečnosti práce. [4]

4.2.8 Homogenita lepidla

Je samozřejmým předpokladem úspěšného lepení. Lepidla s obsahem plniva se musí před nanášením dobře promíchat, neboť při dlouhodobém uskladnění plnivo sedimentuje. Podobně může u lepidel obsahujících vodu dojít při uskladnění v mrazu k oddělení pryskyřičných produktů od vodné vrstvy. Zpětná homogenizace takto oddělených vrstev není vždy dobře proveditelná. Absolutní homogenita se vyžaduje i při směšování reaktivních lepidel s tvrdidly a jinými pomocnými látkami. Není tedy přípustné přidávat tvrdidlo v krystalické formě, je-li předepsáno použití roztoku. [4]

4.2.9 Objemová stálost filmu lepidla

Při tuhnutí lepidla ve spáře dochází i k jeho objemovým změnám. Nejméně se smršťují lepidla tavná a lepidla reaktivní. K největší ztrátě objemu dochází naopak u rozpouštědlových a disperzních lepidel na bázi termoplastických polymerů, která obsahují max. 40 až 50 % sušiny. Některé polymery, například polystyren, zadržují rozpouštědlo velmi dlouho, takže dosažení objemové stability spáry je obtížné. [4]

4.3 Skladování lepidel

Lepidla se skladují pokud možno v původních, uzavřených obalech v chladných a suchých místnostech při teplotách nad bodem mrazu do $+10^{\circ}\text{C}$. Co do časového limitu uskladnění jsou nejméně náročná lepidla rozpouštědlová, obsahující roztoky derivátů celulózy a termoplastických polymerů, jež se mohou v dokonale uzavřených skleněných nebo kovových obalech skladovat téměř bez omezení. [2]

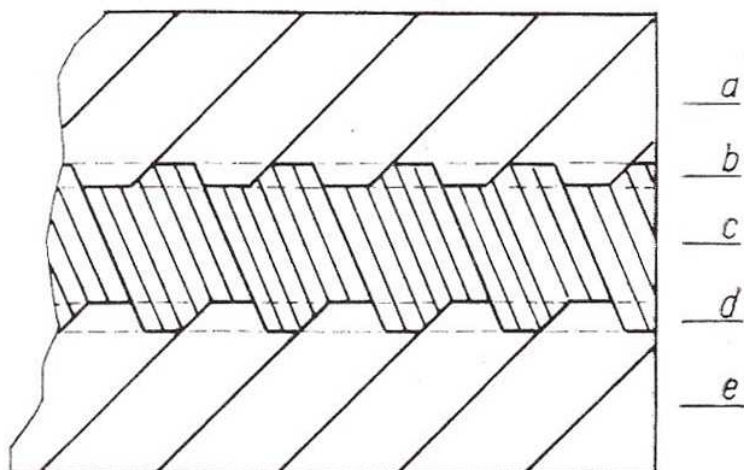
5 LEPENÍ POLYMERŮ

Metody lepení jsou charakterizovány způsobem nanášení lepidla a mechanismem jeho vytvrzování ve spoji. Některá lepidla, zejména rozpouštědlová, mohou být zpracovávána různými postupy. Výběr postupu závisí na struktuře a poloze adherendů, na jejich velikosti, na množství spojovaných dílců a na dalších okolnostech. [2]

5.1 Struktura lepeného spoje

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

- a) lepený materiál na jedné straně spoje,
- b) mikrovrstva, v níž se lepidlo a nerovnosti (póry) povrchu lepené hmoty prolínají na jedné straně spoje,
- c) vlastní film lepidla,
- d) mikrovrstva, v níž se lepidlo a nerovnosti (póry) povrchu lepené hmoty prolínají na druhé straně spoje,
- e) lepený materiál na druhé straně spoje. [4]



Obr. 3 Schéma struktury lepeného spoje. [4]

5.2 Úprava povrchů (adherendů)

5.2.1 Mechanické očišťování

Mechanickým opracováním kontaktních ploch lepených částí se upravuje tvar lepené spáry, odstraňují se hrubé nerovnosti povrchu, nerozpustné nečistoty a vrstvy kryjící aktivní povrch adherendu. Způsob mechanického opracování závisí na vlastnostech lepených částí, např. na tloušťce stěn, tepelné odolnosti a tuhosti materiálu, dále na konstrukci spoje a na prostředcích, kterými disponujeme. V domácích podmínkách býváme odkázáni na ruční hoblování, obrušování ocelovým kartáčem nebo brusnými papíry. V průmyslu se kontaktní plochy upravují frézováním, strojním hoblováním, soustružením, obrušováním mezi válci nebo otryskáváním. Při těchto úpravách má být materiál tepelně a mechanicky co nejméně namáhán, aby povrch nebyl opálen, popřípadě aby nedošlo k vnitřnímu pnutí v materiálu. Tomu lze zabránit použitím ostrých nástrojů a vysokými otáčkami při malých posuvech za současného chlazení vzduchem nebo chladicí kapalinou. Také broušení povrchu musí být podřízeno určitým zásadám. Brusnými prostředky nesmí být adherend hrubě rozedírán, protože hluboké rýhy brání dobrému smáčení mikropovrchu. To platí jak pro práci brusnými papíry, tak pro otryskávání. [2]

5.2.2 Odmašťování

Lepené části se mohou odmašťovat dvěma způsoby:

- rozpouštěním mastných látek vhodnými rozpouštědly se širokým rozsahem účinnosti,
- převedením mastných nečistot do stabilizované emulze pomocí anorganických solí.

Pokud to okolnosti dovolují, je třeba dát přednost kapalinám nehořlavým, zdravotně nezávadným, stálým za vyšší teploty a snadno regenerovatelným. [2]

Rozpouštědla použitelná k odmašťování lze rozlišit na hořlavá a nehořlavá. K prvnímu typu patří směsi alifatických uhlovodíků, zejména benzín, nižší alkoholy, aceton, toluen apod. Hořlavá rozpouštědla jsou poměrně levná a zpravidla nepříliš toxická (s výjimkou benzenu). Alkohol a benzín jsou např. vhodnými rozpouštědly k odmašťování termoplastů a pryže. Nehořlavá rozpouštědla jsou zastoupená chlorovanými uhlovodíky, hlavně trichlorethylenem. Jde o kapaliny charakteristické vůně s narkotickými účinky, jejichž páry jsou

těžší než vzduch. Při individuální práci se adherendy odmašťují převážně ručně hořlavými i nehořlavými rozpouštědly (otírají se štětcem, vatovými tampóny apod.). Rozměrnější předměty se odmašťují v komorách, do nichž se postupně ponořují. [2]

Odmašťování vodnými roztoky alkalických solí, na rozdíl od organických rozpouštědel, nerozpouští mastné nečistoty, ale uvolní je z upravovaného povrchu řadou fyzikálních a chemických pochodů. Nečistota uvolněná od podkladu je rozptýlena a stabilizována v kapalině. Moderní přípravky tohoto druhu obsahují jako účinnou složku zejména sodné soli kyseliny fosforečné v kombinaci s uhličitany, křemičitany a tenzidy. Doba odmašťování závisí na stupni znečištění adherendu, na způsobu cirkulace a ohřívání lázně. V praxi se pohybuje od 5 do 10 minut. Plochy odmašťované alkalickými roztoky se musí na závěr opláchnout tekoucí vodou, dále vodou destilovanou a usušit za teplot do 60 °C. [2]

Bobtnáním adherendu organickými rozpouštědly se mohou povrchově upravovat termoplasty, zejména polyolefiny, např. polyethylen. Předpokládá se, že oddálení řetězců makromolekul jako následek proniknutí rozpouštědla pod povrch polymeru zvětšuje plochu kontaktu mezi adherendem a lepidlem a připravuje i lepší podmínky pro difúzi lepidla. Rozpouštědlo použité k bobtnání adherendu nesmí být však hmotou dlouho zadržováno. Pracuje se obvykle s trichlorethylenem, toluenem, xylenem nebo dekalinem. Předmět se ponoří do rozpouštědla zahřátého na 80 – 85 °C asi na 15 sekund, než jeho povrch zbledne. Účinnost se zvýší předehřátím adherendu. Aktivace povrchu trvá asi 48 hodin. [2]

Oxidace v elektrickém poli využívá ionizace vzdušného kyslíku v elektrickém poli vedoucí ke vzniku ozónu, umožňující oboustranné úpravy adhezních vlastností plastu bez nebezpečí deformace a v jediném pracovním cyklu. [2]

5.3 Nanášení lepidla

Způsob nanášení lepidla má odpovídat způsobu doporučenému výrobcem lepidla, dále tvaru i požadovaným vlastnostem spoje a počtu lepených souborů. S výjimkou ohebných a propustných spojů se lepidlo nanáší po celé ploše spoje na jeden, anebo oba adherendy.

Jednostranný nános postačí při práci s lepidly s obsahem filmotvorné látky a dostatečné životnosti, k aktivaci takových lepidel dojde až po uzavření spoje a zavedení tlakového režimu. Jednostranný nános se využívá z úsporných důvodů a v případech, kdy je oboustranný nános technicky obtížný. [2]

Oboustranný nános se doporučuje při aplikaci lepidel rozpouštědlových a disperzních, a je nutný pro kontaktní lepidla kaučuková. Přitom se lepidlo nanáší na méně porézní povrch.

Množství lepidla se udává vždy v gramech na jeden čtvereční metr lepené plochy (g/m^2) a závisí především na druhu lepidla, rovinnosti a poréznosti adherendů. Optimální tloušťku vrstvy lepidla je třeba pro každý případ ověřovat zvlášť, protože i standardní dodávky jednoho druhu lepidla mohou vykazovat určité rozdíly v obsahu sušiny a viskozitě. Nános lepidla musí být tak velký, aby za daných podmínek zpracování postačil k vytvoření stejnoměrné vrstvy filmotvorné látky ve spáře. [2]

Nanášení lepidla se dále liší tím, že v dílenské praxi jsou zpravidla k dispozici jiné výrobní prostředky než v průmyslu. Při malosériové výrobě jde vesměs o ruční nanášení klasických tekutých lepidel, která lze nanášet štětcem nebo pístovými přípravky s tvarovanými nástavci. Do nepřístupných míst je možné dávkovat nízkoviskózní lepidla i kapátkem nebo injekční soupravou. [2]

6 HODNOCENÍ KVALITY LEPENÉHO SPOJE

Z množství spojů metod navržených k hodnocení lepených spojů se převážně používají metody destruktivní, spočívající v hodnocení spoje namáhaného ve smyku, v tahu, v odlupování a v rázu. Doplňkovými zkouškami bývají zkoušky pevnosti spojů při statickém zatížení a zkoušky trvalé pevnosti za zvolených podmínek, např. za zvýšené teploty nebo po explozi v různých kapalinách.

Výsledek slouží ke kontrole vlastností lepidel a spojů i jako podklad pro konstrukční výpočty. [2]

6.1 Zkušební metody destruktivní

6.1.1 Pevnost lepených spojů ve smyku

Běžné jsou lepené spoje přeplátované, trubkové nebo násuvné, u nichž se zkouší především pevnost ve smyku. Zkouška spočívá v namáhání přeplátovaného spoje statickým tahem ve směru podélné osy do porušení vzorku. Při zatížení může podle druhu materiálu zkušebního tělesa dojít k vychýlení nebo k deformaci roviny lepeného spoje. Například při hodnocení pevnosti spoje ve smyku u plastů se zkušební těleso protahuje a spoj se vychyluje z osy namáhání. Při různých modulech pružnosti filmu lepidla a plastických hmot pak vzniká nerovnoměrné rozložení sil ve spoji a naměřené hodnoty pevnosti jsou zkreslené. Zjištěné hodnoty nelze v těchto případech považovat za čistou pevnost ve smyku, i když je tak uváděna. Proto byly pro zkoušení spojů plastů navrženy různé úpravy, které mají zajistit působení smykové síly ve směru osy lepeného spoje. [2]

6.1.2 Pevnost lepených spojů v tahu

Zkouška slouží k hodnocení tzv. čelních spojů a provádí se na normalizovaných tělesech. Spoj se v trhačím stroji podrobí namáhání v tahu a při tom se měří síla potřebná k roztržení vzorku. [2]

6.1.3 Pevnost lepených spojů v odlupování

Tato zkouška se provádí, je-li alespoň jeden ze spojovaných materiálů ohebný. Podle tuhosti spojovaných materiálů se určí úhel odlupování. U polotuhých materiálů je menší než 90°. Pevnost v odlupování se zaznamenává graficky, rozumí se jí průměrná hodnota z hodnot střední části průběhové křivky. [2]

6.1.4 Pevnost lepených spojů při namáhání rázem

Rázová pevnost spojů je nejmenší síla potřebná k porušení zkušebního vzorku rázem. Při zkouškách je lepený spoj namáhán ve smyku rázovým tlakem ve směru podélné osy. Zkouška se provádí na kyvadlovém přístroji. [2]

6.1.5 Zkouška lámavosti lepených spojů

Spoj je namáhán statickým tlakem kolmo na podélnou osu a plochu spoje do porušení zkušební tělesa. Zkouška se doporučuje především pro hodnocení spojů tvrdých materiálů. [2]

6.1.6 Zkouška soudržnosti lepeného spoje při statickém zatížení

Podle druhu lepidel a směrů jejich použití se zkouší soudržnost lepeného spoje při statickém zatížení ve smyku nebo v odlupování. Zavěšená zkušební tělesa se na stanovenou dobu zatíží. Potom se zjišťuje, zda se během stanovené doby (např. na 24 hodin) vlivem statického zatížení nerozlepila. [2]

6.1.7 Zkouška trvalé (časové) pevnosti a stárnutí

Umožňuje zjistit chování lepených spojů při trvalém používání. V praxi je spoj podroben nejen dlouhodobému namáhání, ale někdy také vlivům teploty, vlhkosti, povětrnosti, prostředí apod., které jsou příčinou jeho stárnutí. [2]

6.2 Zkušební metody nedestruktivní

Jednotlivé nedestruktivní metody umožňují ověřit jakost lepených výrobků, aniž by byly poškozeny. Nelze jimi však lepit pevnost lepeného spoje. Naproti tomu však dovolují odhalit skryté vady spojů jako neslepená místa, místa s nedostatečným nánosem nebo bez nánosu lepidla, trhliny a puchýře. [2]

6.2.1 Optická zkušební metoda

Spočívá v prosvětlení tenkých lepených celků intenzivními světelnými zdroji nebo u tlustších souborů rentgenovými paprsky. [2]

6.2.2 Defektoskopie pomocí radioizotopu

Do lepidla se přidá vhodný radioizotop a kontroluje se jeho rozložení ve spoji. [2]

6.2.3 Ultrazvuková defektoskopie

Zkoušený celek se umístí mezi ultrazvukový generátor a přijímač ultrazvukových vln, a tak se zjišťují místa s vadným slepením. [2]

6.2.4 Akustická defektoskopie

Těleso vydává po rozkmitání v místech vadného spoje zvuk jiné amplitudy, jiné vlnové délky a zvukového spektra než v místech kvalitního spoje.[2]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem bakalářské práce bylo porovnat pevnosti lepených spojů u zvoleného materiálu LLDPE vytvořené za pomoci kyanoakrylátových sekundových lepidel (Cyberbond 1008, 2008 a 2028) a dvousložkového lepidla (Plexus MA832). Zároveň porovnat lepené spoje bez povrchové úpravy a spoje s povrchovou úpravou pomocí látky Primer a pomocí radi-
ačního síťování.

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.

8 VOLBA MATERIÁLU A LEPIDEL

8.1 Volba materiálu

Lineární nízkohustotní polyethylen je nejmladším ze všech typů PE. Jeho struktura je podobná struktuře HDPE, ale má nízkou krystalinitu vzhledem k velkému počtu krátkých řetězců. Z toho důvodu také má nízkou hustotu (obvykle nižší než 0,940 g/cm³). LLDPE je používán k výrobě jak ohebných, tak i pevných produktů. Je velmi pevný a zachovává si tvar. Tyto vlastnosti jsou užitečné pro výrobu i větších předmětů. [10]

Tab. 1. Fyzikální vlastnosti LLDPE. [11]

Hustota [g / cm ³]	0,870 - 0,965
Pevnost v tahu, mez [Mpa]	7,30 - 42,0
Prodloužení při přetržení [%]	25,0 až 965
Prodloužení při tahu [%]	8,00 - 30,0
Pevnost v ohybu [Mpa]	16,5 - 865
Rázová houževnatost [kJm ⁻²]	75,0 - 365
Navlhavost [%]	0,01%

8.2 Volba lepidel

Pro lepení daného polymeru LLDPE byla zvolena kyanoakrylátová vteřinová lepidla a jeden druh dvousložkového lepidla. Konkrétně se jednalo o vteřinová lepidla: Cyberbond 1008, 2008, 2028 a dvousložkové lepidlo: Plexus MA832.



Obr. 4. Lepidla Cyberbond 1008, 2008 a 2028.

8.2.1 Cyberbond 1008

Vteřinové lepidlo určené pro lepení kovů, kombinace kov-kov, kov-pryž. kov-plast. Lepidlo je řídké a na kovech rychle vytvrzující. Vhodné pro spoje na neporézních dobře slícovaných materiálech. [9]

Tab. 2. Základní vlastnosti Cyberbond 1008. [9]

Vzhled	bezbarvé/ čiré
Hustota při 20°C	1,09g / cm ³
Bod vzplanutí	80°C
Teplotní rozsah pro použití (polymer)	-55 do +95°C
Doba pro vytvoření manipulovatelného spoje - plast (ABS)	4 – 6sekund

8.2.2 Cyberbond 2008

Sekundové lepidlo vhodné pro plasty a gumu. Nejrychlejší lepidlo pro pryže a plasty. Pro lepení hladkých neporézních pryží. [9]

Tab. 3. Základní vlastnosti Cyberbond 2008. [9]

Vzhled	bezbarvé/ čiré
Hustota při 20°C	1,06g / cm ³
Bod vzplanutí	85°C
Teplotní rozsah pro použití (polymer)	-55 do +95°C
Doba pro vytvoření manipulovatelného spoje - plast (ABS)	2 – 4sekund

8.2.3 Cyberbond 2028

Lepidlo vhodné pro porézní pryže a plasty. Nestéká jako řídké typy, vyplní nerovnosti materiálu. [9]

Tab. 4. Základní vlastnosti Cyberbond 2028. [9]

Vzhled	bezbarvé/ čiré
Hustota při 20°C	1,05g / cm ³
Bod vzplanutí	85°C
Teplotní rozsah pro použití (polymer)	-55 do +95°C
Doba pro vytvoření manipulovatelného spoje - plast (ABS)	2 – 4sekund

8.2.4 Plexus MA832

Plexus MA832 ® je moderní dvousložkové methakrylátové lepidlo vyvinuté pro strukturální lepení termoplastů, kovů a kompozitů. V poměru 10:1 má dobu zpracování 12-16 minut a dosahuje 75% své celkové pevnosti za 50-60 minut. [6]

*Tab. 5. Základní vlastnosti Plexus
MA832. [6]*

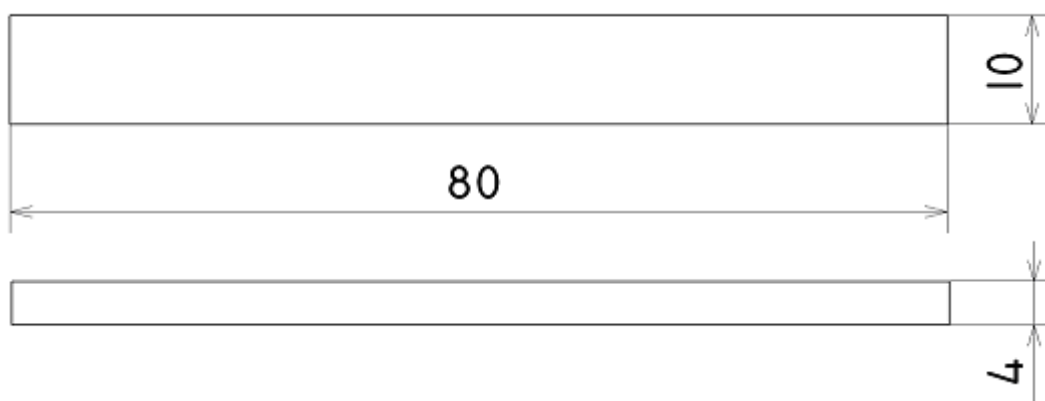
Doba zpracování	12-16 minut
Doba fixace	50-60 minut
Teplotní odolnost	-40 do +80°C
Výplň mezery	do 12mm

9 VÝROBA LEPENÝCH SPOJŮ

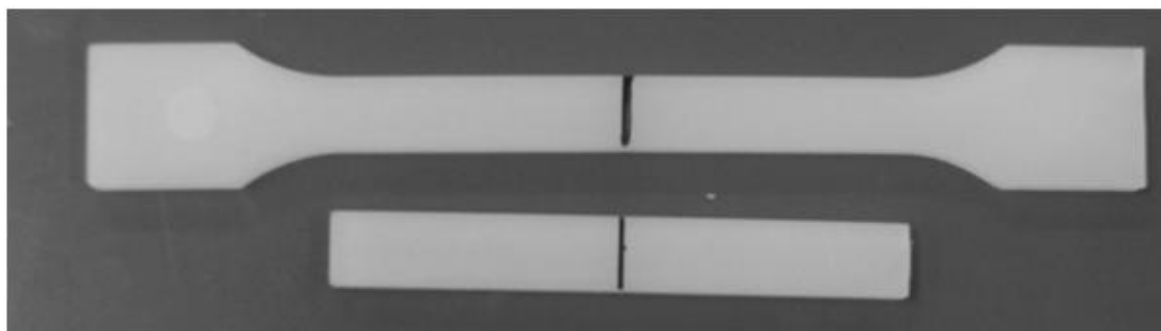
Celkem bylo slepeno 159 vzorků, ze kterých pak byla naměřena a vyhodnocena potřebná data.

9.1 Výroba zkušebních vzorků

Zkušební vzorky byly vyrobeny technologií vstřikování na vstřikovacím stroji Arburg 420C Advanced. Tvar a rozměry vzorků jsou shodné s rozměry uvedenými v normě ČSN EN ISO 527 – 2 (Obr. 6). Rozměry plátku pro přeplátování jsou zobrazeny na Obr. 5.



Obr. 5. Tvar a rozměry pásku pro přeplátování.



Obr. 6. Zkušební vzorek a pásek pro přeplátování.

9.1.1 Vstřikovací stroj Arburg 420C Advanced

U vstřikovacího stroje Arburg 420 C Advanced (Obr. 7) se spojuje nejosvědčenější technika s inovačním 32-bitovým multiprocessorovým řídicím systémem SELOGICA. Tato výkonná kombinace je robustní, má dlouhou životnost a díky své flexibilitě a modulární konstrukci je předurčena pro univerzální řešení všech úkolů v oblasti vstřikování. Modulární koncepce umožňuje velké množství různých, individuálně konfigurovatelných kombinací.

Řídící systém, hydraulika, rozměry upínacích desek, uzavírací síly i vstřikovací jednotky jsou k dispozici ve formě modulů v montážních stupních, vyhovujících požadavkům praxe. [7]



Obr. 7. Vstřikovací stroj Arburg 420C Advanced. [6]

Tab. 6. Technická data vstřikovacího stroje Arburg 420C. [6]

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

9.2 Úprava povrchů zkušebních vzorků

9.2.1 Radiační síťování

Radiační síťování je proces, kde dochází ke spojení vazeb chemickou reakcí navzájem reagujících volných radikálů (rozpadají se vazby C-H), které se uvolňují, když materiál absor-

buje množství energie na jednotku hmoty získanou z ionizačního záření. Síť vzniká postupným spojováním dvou volných radikálů mezi sousedními řetězci za vzniku vazeb C-C.

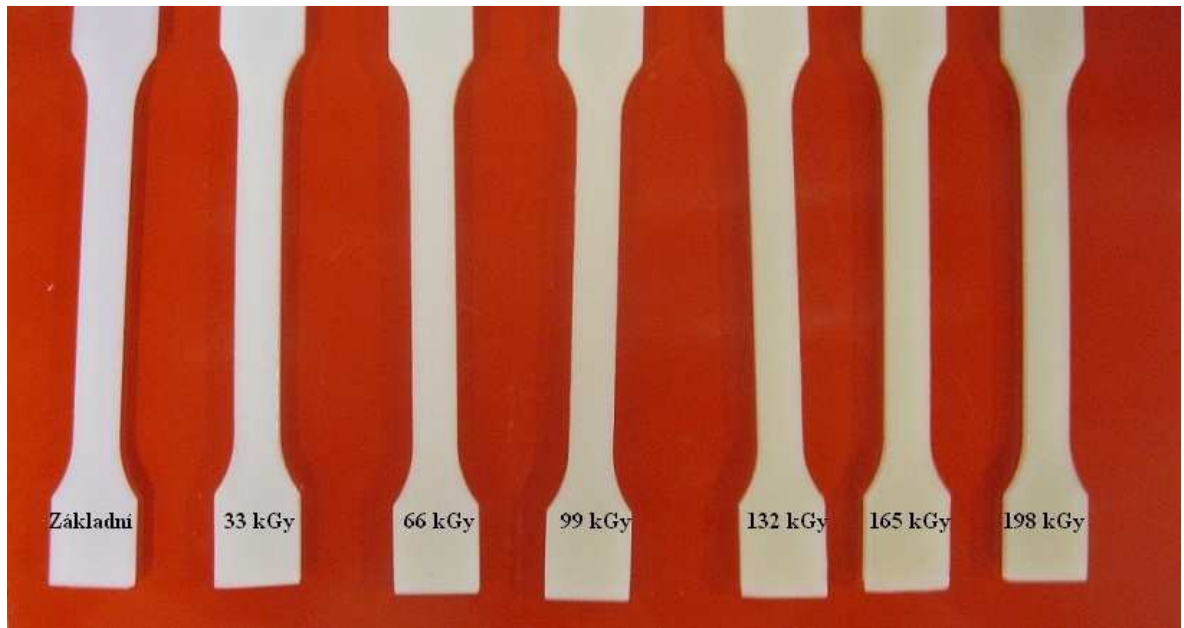
Radiační síťování probíhá za pokojových teplot bez použití jakýchkoliv dalších přísad kromě síťovacího činidla. Pokud bychom jej u některých polymerů nepřidali, polymer by nezesíťoval, ale naopak by došlo k jeho degradaci a tím i ke ztrátě jeho tepelných a mechanických vlastností. Ale také se do polymerních směsí může přidávat pro zlepšení vlastností, snížení dávek ozařování atd.

Radiačním síťováním jsou měněny a zlepšovány vlastnosti a to hlavně tažnost a pružnost při dlouhém tepelném a mechanickém zatížení. U termoplastů dojde k tomu, že za určitých teplot mají vlastnosti elastomerů. To se projevuje hlavně nad teplotou tání a tím může termoplast odolávat vyšším teplotám než běžný neozářený termoplastický díl. [5]

Vlivem radiačního síťování dochází u plastů ke změně mechanických vlastností:

- narůstání modulu pružnosti,
- zvýšení pevnosti,
- snížení poměrného prodloužení při přetržení,
- redukce studeného toku,
- narůstání tvrdosti,
- zlepšení meze únavy,
- zlepšení odolnosti proti vnitřnímu pnutí a redukce přenosu a růstu,
- zlepšení ošetrivzdornosti,
- zlepšení chování při dlouhodobém zatížení vnitřním tlakem. [7]

Následným ozářením zkušebních těles hodnotou ozáření (33 kGy, 66 kGy, 99 kGy, 132 kGy, 165 kGy a 198 kGy) došlo se vzrůstající hodnotou ozáření ke změně barevného odstínu těles (Obr. 8.).



Obr. 8. Ozářená tělesa.

9.2.2 Aktivace Primerem Cyberbond 9056

Primer Cyberbond 9056 umožňuje spojovat nepolární plasty jako např. polyethylen (PE), polypropylen (PP), polyformaldehyd (POM), silikon nebo moderní termoplastické elastomery (TPE) pomocí kyanakrylátových lepidel Cyberbond. Cyberbond 9056 mění povrchové napětí.

Má následující výhody:

- vysoká pevnost spojení u materiálů, které jinak není možné lepit,
- rychlé a jednoduché použití.

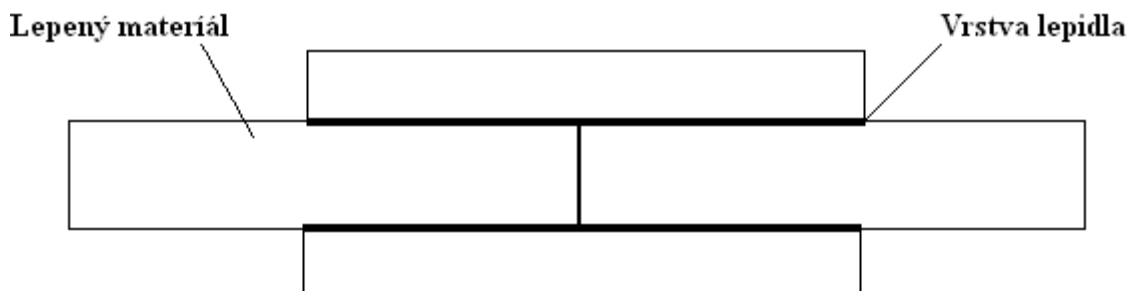
Cyberbond 9056 se nanáší na lepené materiály a po odpaření je možné okamžitě použít kyanakrylátové lepidlo Cyberbond. Díly je ale také možno lepit až po 24 hodinách. [8]



*Obr. 9. Primer
Cyberbond 9056.*

9.3 Konstrukce lepených spojů

Pro lepení zkušebních vzorků byl zvolen z hlediska dostatečné pevnosti čelní spoj se dvěma příložkami (Obr. 10)

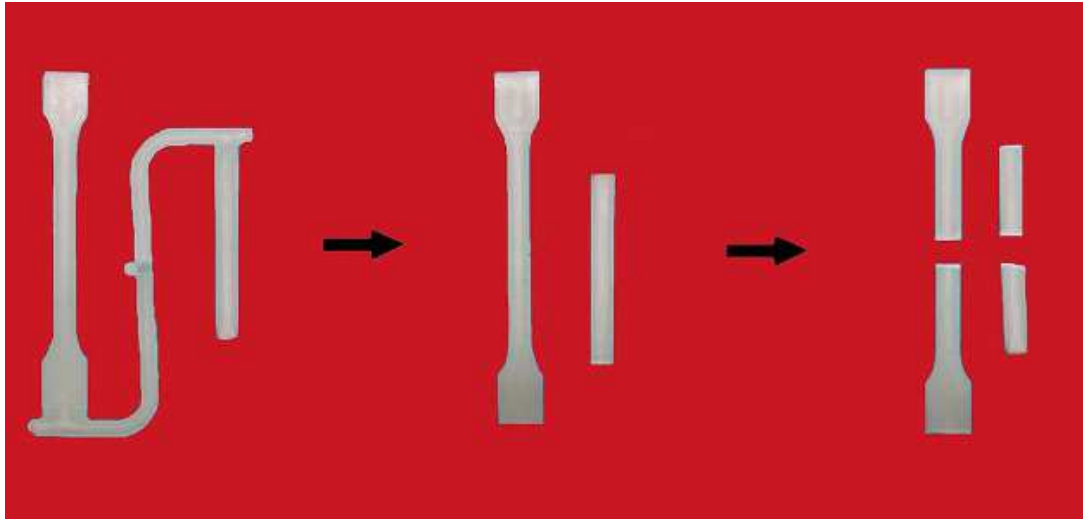


Obr. 10. Čelní spoj se dvěma příložkami.

Příprava těles a samotné lepení probíhalo ve školních dílnách. Vzorky byly nastříhány, poté následovalo jejich očištění, zbavení viditelných nečistot a bylo potřeba s nimi pracovat tak, aby nedošlo k nanesení mastnoty na jejich povrch. Pak následovalo vložení vzorků do přípravků (forem), kde se naneslo lepidlo na jednu stranu pásku určeného pro přeplátování, který byl následně přiložen na střed rozstříhnutého zkušebního tělesa. Nanesená vrstva lepidla byla v rozmezí jednoho až dvou milimetrů. Po uplynutí potřebné doby, aby byl vytvořen pevný spoj, mohlo se těleso otočit a následoval stejný postup z obrácené strany. Následně bylo potřeba dodržet nutnou dobu pro vytvrzení spoje pro dané lepidlo.

9.3.1 Příprava před lepením vzorků

Vzorky vyrobené vstřikováním byly ve středu své délky pomocí nůžek přestříženy (Obr. 11)



Obr. 11. Příprava zkušebních vzorků.

Při nanášení sekundových lepidel na tělesa stačila originální nádobka lepidla s nástavcem pro snadnou aplikaci. U dvousložkového lepidla bylo pro aplikaci potřeba vytlačovací pistole (Obr. 12). Pro to, aby došlo k promíchání jednotlivých složek lepidla a bylo tak zajištěna dokonale homogenní směs, byl dále použit i statický mixér (Obr. 14), který byl nasazen na otvor tuby lepidla.



Obr. 12. Vytlačovací pistole.



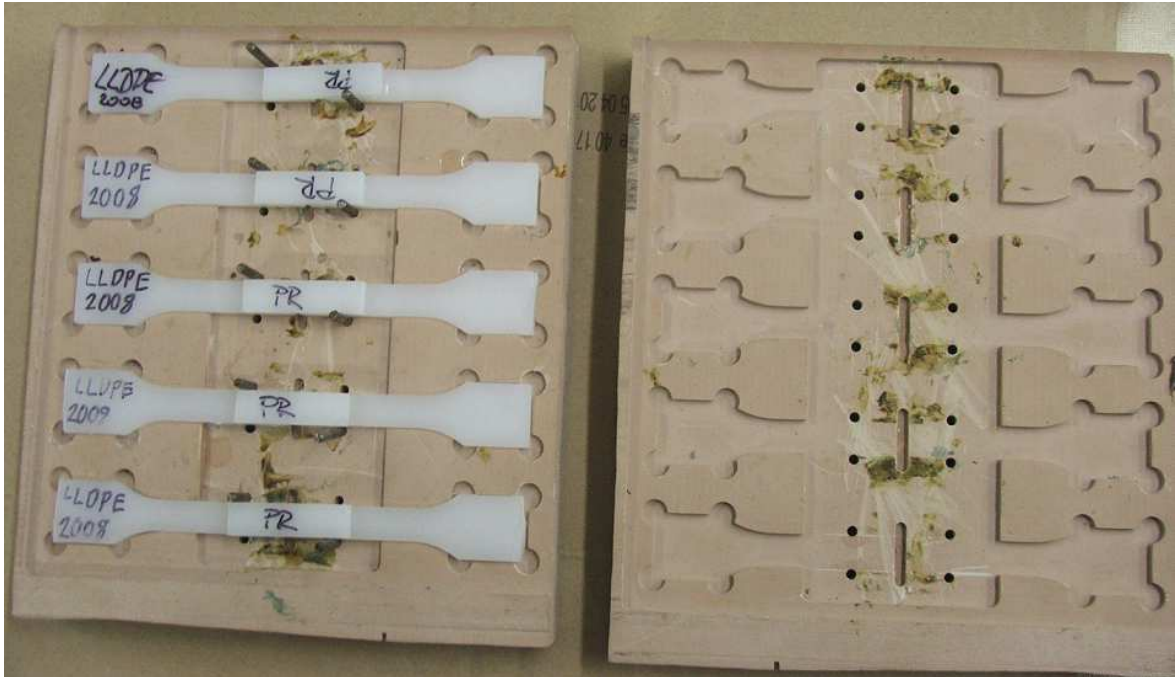
Obr. 13. Lepidlo Plexus MA832.



Obr. 14. Statický mixér.

9.3.2 Přípravky pro lepení

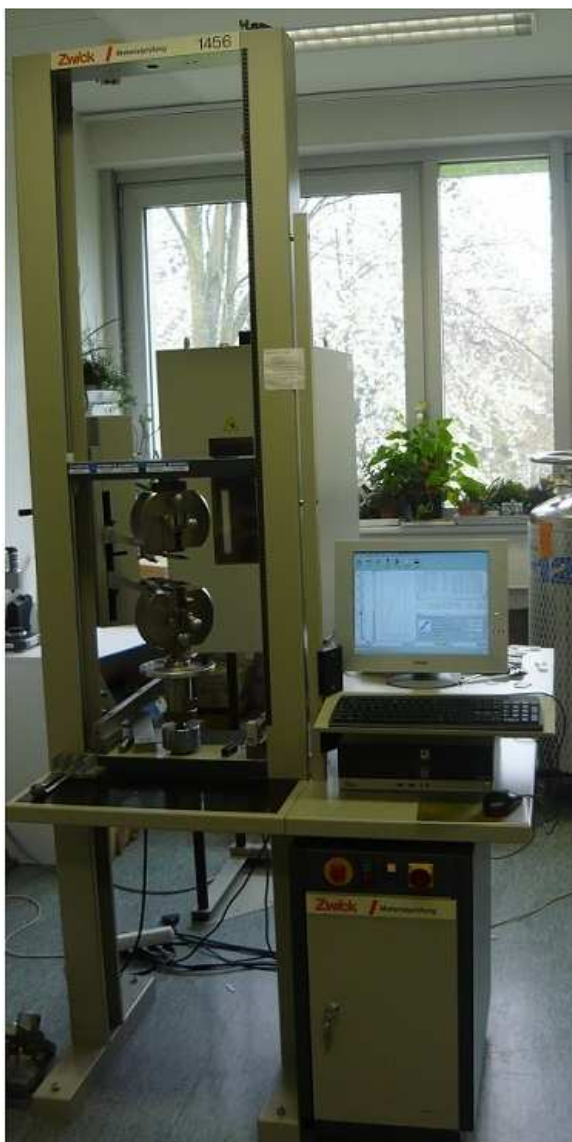
Pro zajištění kvality a přesnosti při tvorbě lepených spojů bylo při slepování vzorků použito přípravků (Obr. 15), které pomáhají zajistit správnou polohu lepených dílů.



Obr. 15. Přípravky pro lepení.

9.4 Měření pevnosti lepených spojů

Pro zkoušku pevnosti lepených spojů u zkušebních vzorků, bylo použito trhacího stroje Zwick 1456 (Obr. 16). Zkušební vzorky byly na trhacím stroji upnuty a zatěžovány jednoosým tahem. Naměřené hodnoty byly vyhodnoceny softwarem Test Expert, který je součástí trhacího stroje.



Obr. 16. Trhací stroj Zwick 1456. [6]

Tab. 7. Technické údaje trhacího stroje Zwick 1456. [6]

Maximální posuv příčnicku	800 mm/min
Snímače síly	2,5 a 20 kN
Teplotní komora	-80/+250 °C
TestExpert software	Tah/Ohyb/Tlak

10 VÝSLEDKY TAHOVÝCH ZKOUŠEK

Naměřené hodnoty z trhačích stroji Zwick byly zaznamenány do tabulek a grafů. U hodnot byl stanoven aritmetický průměr (Rov. 1) a střední kvadratická chyba (Rov. 2).

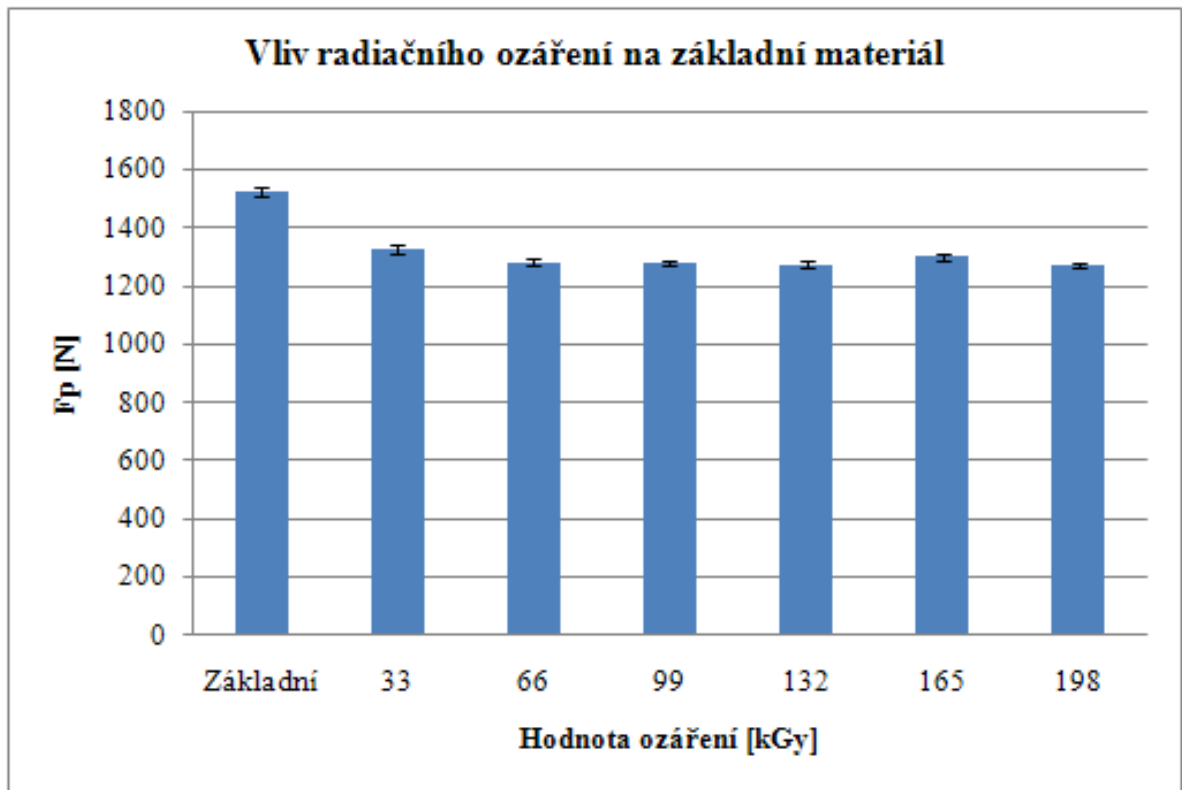
$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (1)$$

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

10.1 Vliv ozáření na pevnost základního materiálu

Tab. 8. Velikost maximální zatěžující síly u základních ozářených materiálu.

Materiál	1	2	3	4	5	\bar{x} (Fp[N])	δ
Základní vzorek neozářený	1491,41	1570,99	1506,5	1507,22	1549,86	1525,20	15,03
Základní vzorek ozářený dávkou 33 kGy	1284,21	1336,95	1374,48	1308,73	-	1326,09	19,40
Základní vzorek ozářený dávkou 66 kGy	1308,52	1278	1260,31	1278,58	-	1281,35	10,00
Základní vzorek ozářený dávkou 99 kGy	1301,84	1273,6	1269,78	1277,35	-	1280,64	7,23
Základní vzorek ozářený dávkou 132 kGy	1293,11	1241,67	1293,35	1267,01	-	1273,79	12,36
Základní vzorek ozářený dávkou 165 kGy	1283,83	1281,95	1322,57	1311,1	-	1299,86	10,08
Základní vzorek ozářený dávkou 198 kGy	1259,52	1280,2	1279,51	1267,11	-	1271,59	5,02



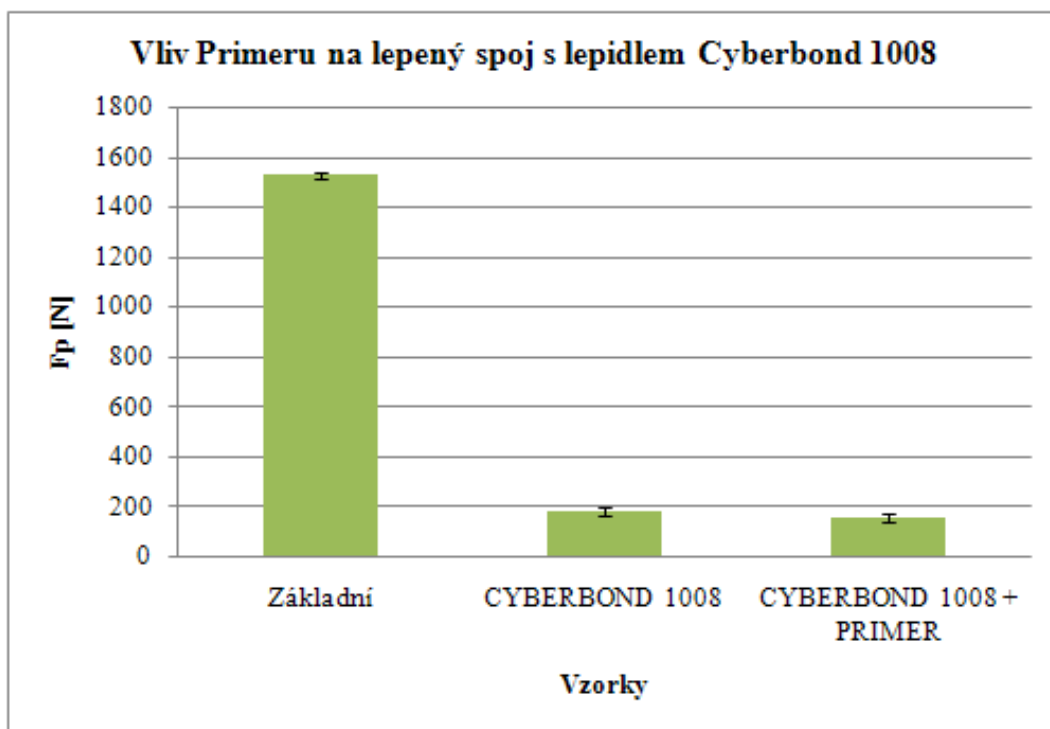
Obr. 17. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u základního ozářeného materiálu.

Při zkoušení vlivu ozáření na základní materiál bylo zjištěno, že u všech ozářených vzorků mělo ozáření za následek, že došlo ke zhoršení pevnosti v porovnání se základním neozářeným materiálem. Nejvyšší pevnost měl neozářený vzorek $F_p=1525,20\text{N}$ a nejnižší pevnost byla naměřena u vzorku ozářeného dávkou 198 kGy $F_p=1271,59\text{N}$ což je o 17 % méně než základní vzorek (Tab. 8, Obr. 17).

10.2 Vzorčky lepené lepidlem Cyberbond 1008

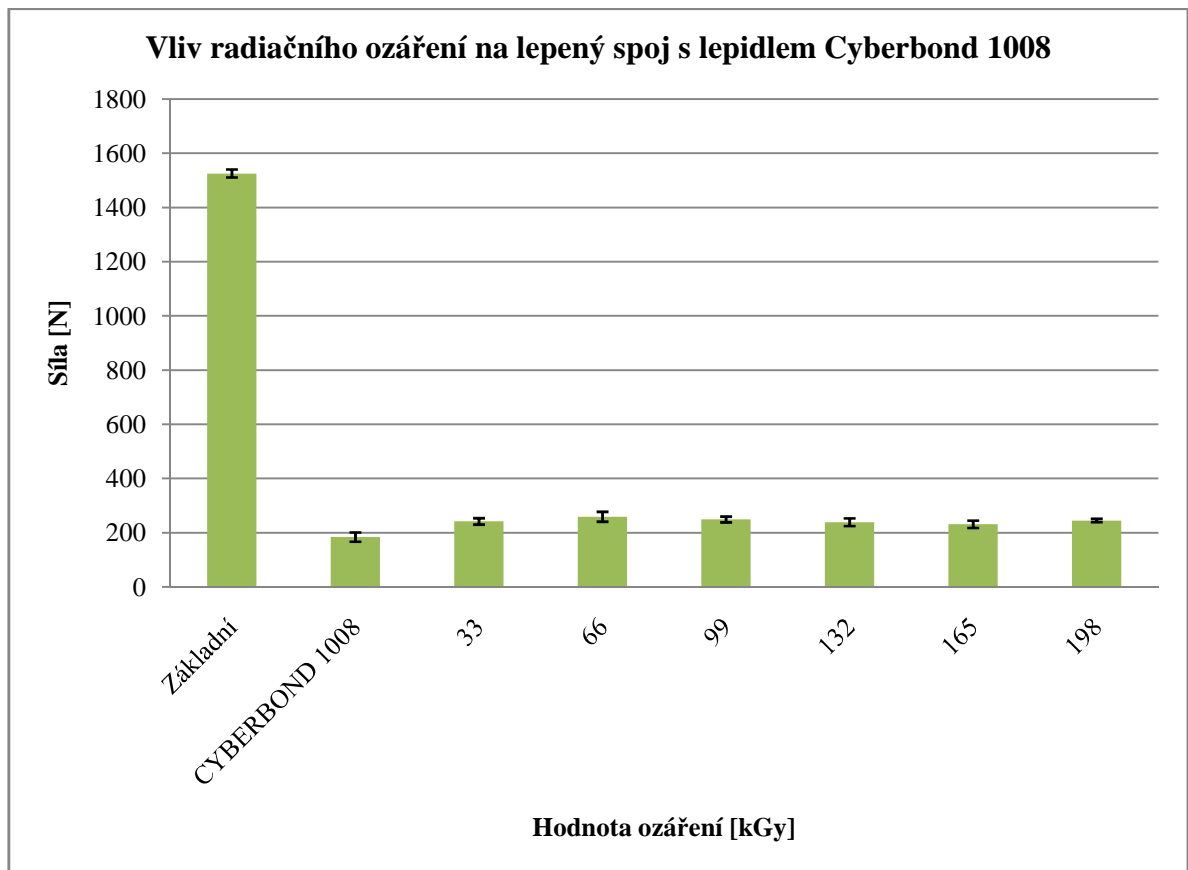
Tab. 9. Velikost maximální zatěžující síly u ozářených materiálů lepených lepidlem Cyberbond 1008.

Materiál	1	2	3	4	5	6	7	8	\bar{x} (Fp [N])	δ
Základní vzorek neozářený	1491,41	1570,99	1506,5	1507,2	1549,9	-	-	-	1525,20	15,03
Cyberbond 1008	221,45	223,03	134,98	161,87	231,47	200,05	97,45	200,91	183,90	16,96
Cyberbond 1008 + Primer	144,38	150,14	147,81	265,93	139,78	95,29	93,03	207,99	155,54	20,24
Cyberbond 1008 + 33 kGy	179,36	251,1	200,21	276,75	251,13	251,65	260,02	262,25	241,56	11,85
Cyberbond 1008 + 66 kGy	226,43	275,69	272,67	361,36	203,85	286,9	211,57	232,26	258,84	18,32
Cyberbond 1008 + 99 kGy	205,67	265,42	215,6	251,41	275,6	294,23	228,55	252,75	248,65	10,73
Cyberbond 1008 + 132 kGy	248,73	199,8	206,29	193,79	219,68	255,43	304,39	281,66	238,72	14,32
Cyberbond 1008 + 165 kGy	222,88	204,61	223,29	184,11	296,05	226,69	284,61	205,85	231,01	13,87
Cyberbond 1008 + 198 kGy	251,24	251,34	255,94	263,98	237,74	259,96	227	211,48	244,84	6,38



Obr. 18. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného lepidlem Cyberbond 1008.

Při zkoušení lepených spojů kdy byl povrch aktivován Primerem a slepen lepidlem Cyberbond 1008 bylo zjištěno, že ke zlepšení pevnosti lepeného spoje s aktivovaným povrchem nedošlo. Slepěný vzorek bez použití Primeru byl pevnější $F_p=183,9\text{N}$ což je o 88 % méně než pevnost základního vzorku (Tab. 9, Obr.18).



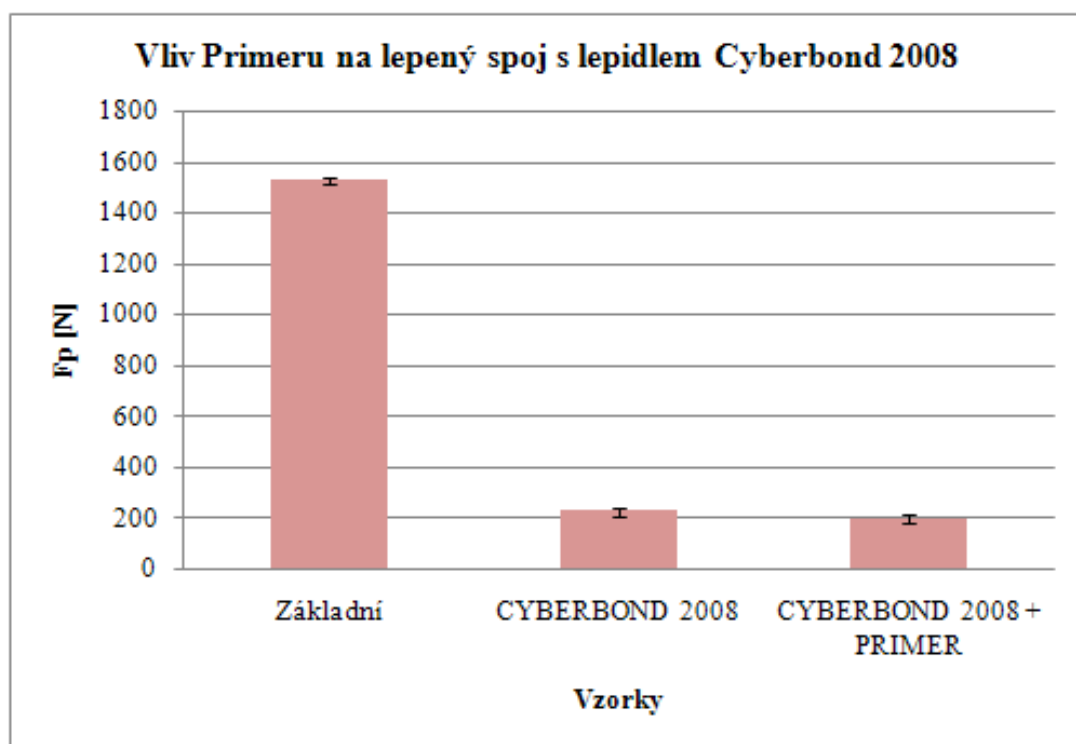
Obr. 19. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u ozářeného materiálu slepeného lepidlem Cyberbond 1008.

Při zkoušení vlivu ozáření na lepené spoje pomocí lepidla Cyberbond 1008 byla zjištěna největší pevnost u vzorků ozářených dávkou 66 kGy $F_p=258,84\text{N}$ což je o 83 % méně než pevnost základního vzorku, ale o 29 % více než pevnost lepidla s neupraveným povrchem. Naopak nejnižší pevnost byla zjištěna u vzorků ozářených dávkou 165 kGy $F_p=231,01\text{N}$ což je o 85 % méně než pevnost základního vzorku (Tab. 9, Obr.19).

10.3 Vzorky slepené lepidlem Cyberbond 2008

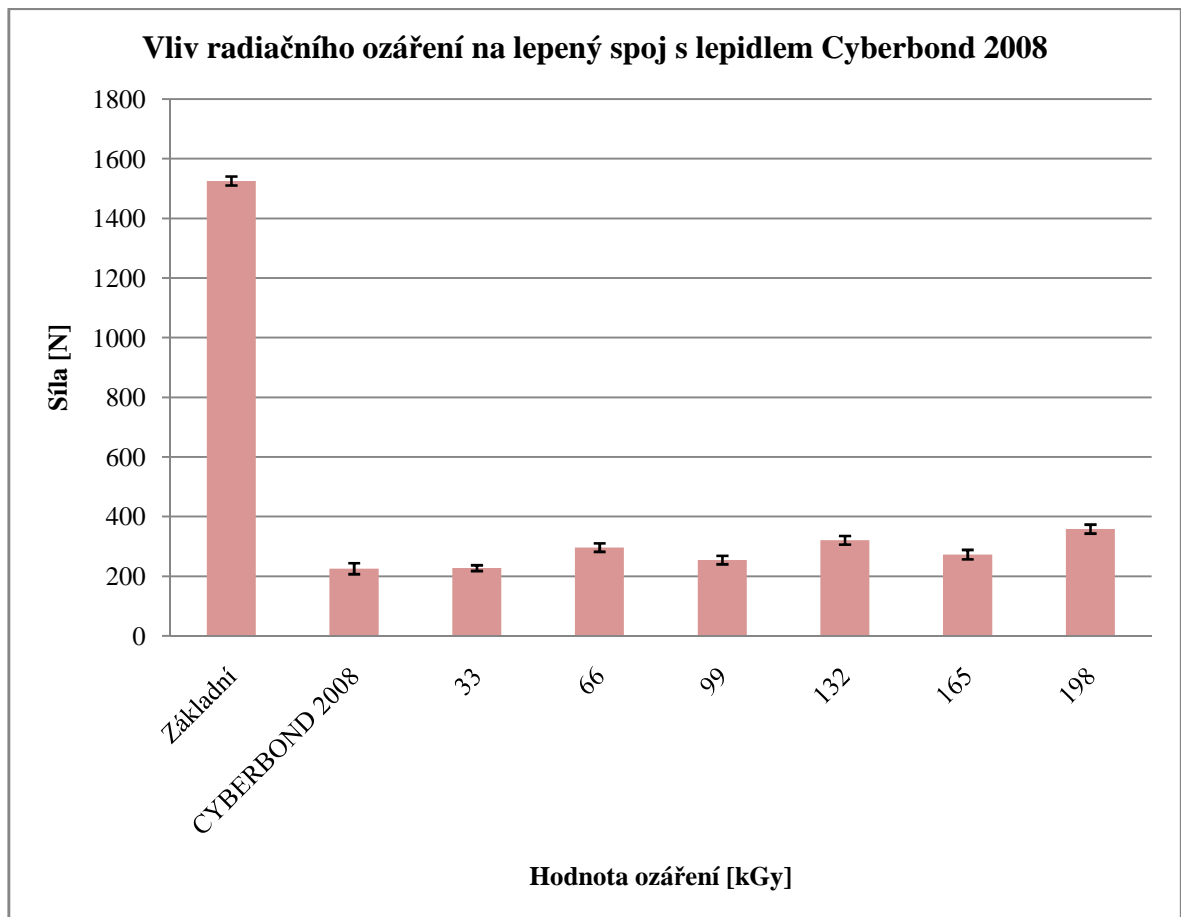
Tab. 10. Velikost maximální zatěžující síly u ozářených materiálů lepených lepidlem Cyberbond 2008.

Materiál	1	2	3	4	5	6	7	8	\bar{x} (Fp [N])	δ
Základní vzorek neozářený	1491,41	1570,99	1506,5	1507,22	1549,86	-	-	-	1525,20	15,03
Cyberbond 2008	211,88	139,68	287,14	205,13	179,5	252,6	290,95	238,74	225,70	18,46
Cyberbond 2008 + Primer	191,75	147,43	246,49	251,91	183,38	161,56	140,64	262,96	198,27	17,37
Cyberbond 2008 + 33 kGy	207,49	225,39	216,24	268,56	262,59	241,93	193,6	205,09	227,61	9,74
Cyberbond 2008 + 66 kGy	352,84	350,46	272,06	302,29	260,02	284,37	309,77	240,08	296,49	14,36
Cyberbond 2008 + 99 kGy	267,86	290,04	262,8	202,34	216,7	295,81	295,34	206,12	254,63	14,25
Cyberbond 2008 + 132 kGy	372,65	280,46	339,55	380,26	283,24	287,98	327,24	295,94	320,92	14,24
Cyberbond 2008 + 165 kGy	264,68	250,59	290,38	349,37	204,23	255,22	318,37	250,24	272,89	16,00
Cyberbond 2008 + 198 kGy	359,71	337,4	302,61	321,74	361,72	359,86	379,5	444,59	358,39	15,11



Obr. 20. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného lepidlem Cyberbond 2008.

Při zkoušení lepených spojů kdy byl povrch aktivován látkou Primer a slepen lepidlem Cyberbond 2008 bylo zjištěno, že ke zlepšení pevnosti spoje s aktivovaným povrchem nedošlo. Slepěný vzorek bez použití Primeru byl pevnější $F_p=220,7\text{N}$ což je o 86 % méně než pevnost základního vzorku (Tab. 10, Obr.20).



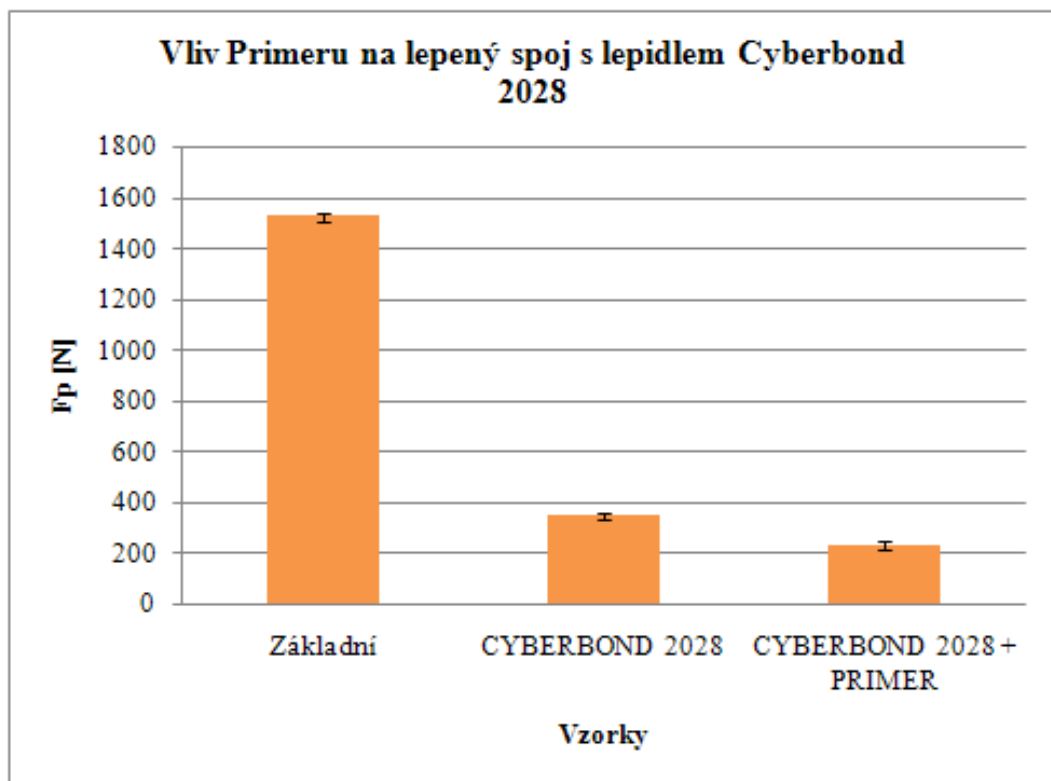
Obr. 21. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u ozářeného materiálu slepeného lepidlem Cyberbond 2008.

Při zkoušení vlivu ozáření na lepené spoje pomocí lepidla Cyberbond 2008 byla zjištěna největší pevnost u vzorků ozářených dávkou 198 kGy $F_p=358,39\text{N}$ což je o 77 % méně než pevnost základního vzorku, ale o 37 % více než pevnost lepidla s neupraveným povrchem. Naopak nejnižší pevnost byla zjištěna u vzorků ozářených dávkou 33 kGy $F_p=227,61\text{N}$ což je o 85 % méně než pevnost základního vzorku (Tab. 10, Obr. 21).

10.4 Vzorky slepené lepidlem Cyberbond 2028

Tab. 11. Velikost maximální zatěžující síly u materiálů lepených lepidlem Cyberbond 2008.

Materiál	1	2	3	4	5	6	7	8	\bar{x} (Fp [N])	δ
Základní vzorek neozářený	1491,41	1570,99	1506,5	1507,22	1549,86	-	-	-	1525,20	15,03
Cyberbond 2028	369,67	345,91	329,4	334,76	307,01	334,41	413,48	-	347,81	13,05
Cyberbond 2028 + Primer	189,67	223,86	289	162,42	288,92	218,3	247,01	243,13	232,79	15,65



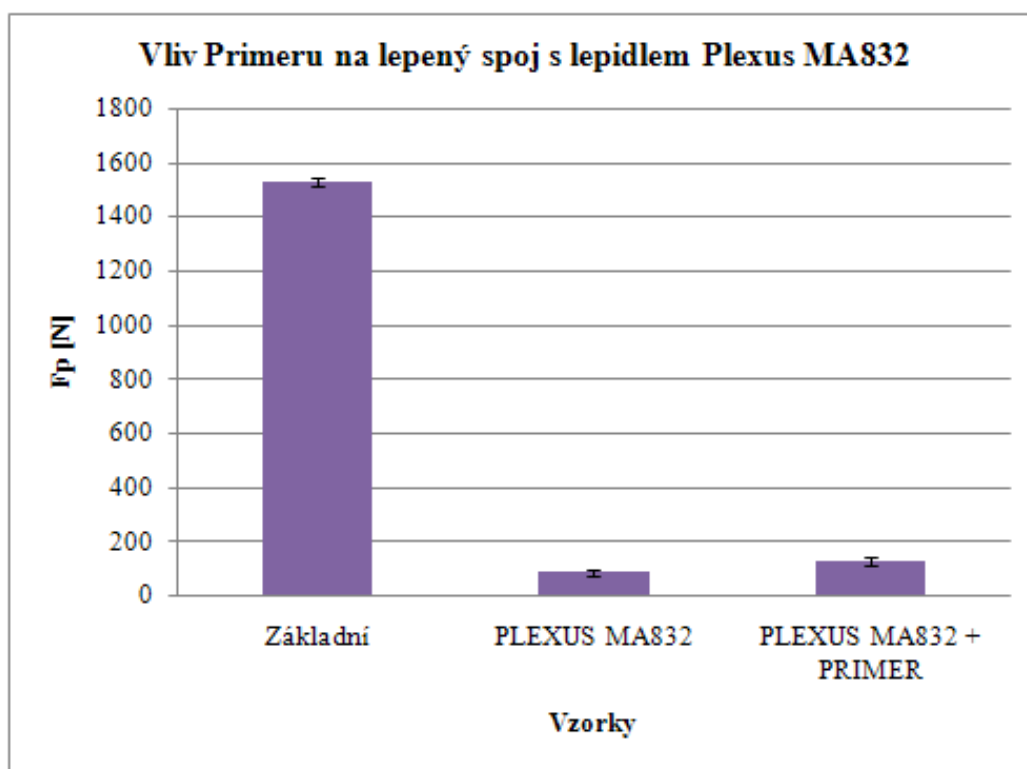
Obr. 22. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného lepidlem Cyberbond 2028.

Při zkoušení lepených spojů kdy byl povrch aktivován látkou Primer a slepen lepidlem Cyberbond 2028 bylo zjištěno, že ke zlepšení pevnosti spoje s aktivovaným povrchem nedošlo. Slepěný vzorek bez použití Primeru byl pevnější. $F_p=347,81\text{N}$ což je o 77 % méně než pevnost základního vzorku (Tab. 11, Obr. 22).

10.5 Vzorčky slepené lepidlem Plexus MA832

Tab. 12. Velikost maximální zatěžující síly u materiálů lepených lepidlem Plexus MA832.

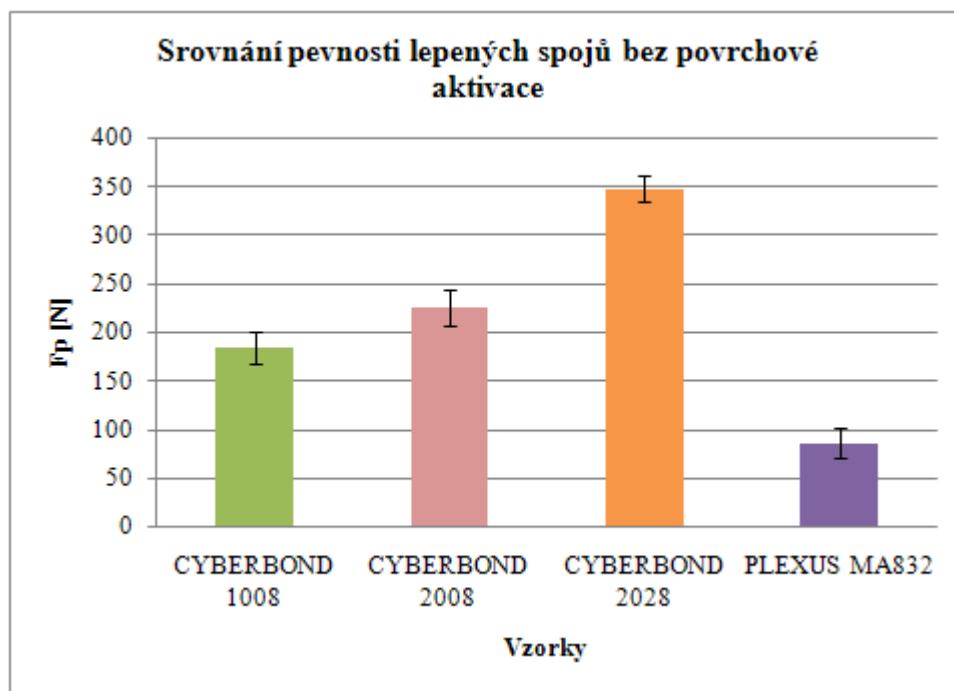
Materiál	1	2	3	4	5	6	7	8	\bar{x} (Fp [N])	δ
Základní vzorek neozářený	1491,41	1570,99	1506,5	1507,22	1549,86	-	-	-	1525,20	15,03
Plexus MA832	137,15	23,31	133,68	65,36	57,19	122,22	97,91	50,47	85,91	15,11
Plexus MA832 + Primer	85,35	86,72	154,08	168,29	164,72	146,28	127,95	91,73	128,14	12,55



Obr. 23. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného lepidlem Plexus MA832.

Při zkoušení lepených spojů kdy byl povrch aktivován látkou Primer a slepen dvousložkovým lepidlem Plexus MA832 bylo zjištěno, že po aktivaci povrchu došlo ke zlepšení pevnosti $F_p=128,14\text{N}$ což je o 92 % méně než pevnost základního vzorku (Tab. 12, Obr. 23).

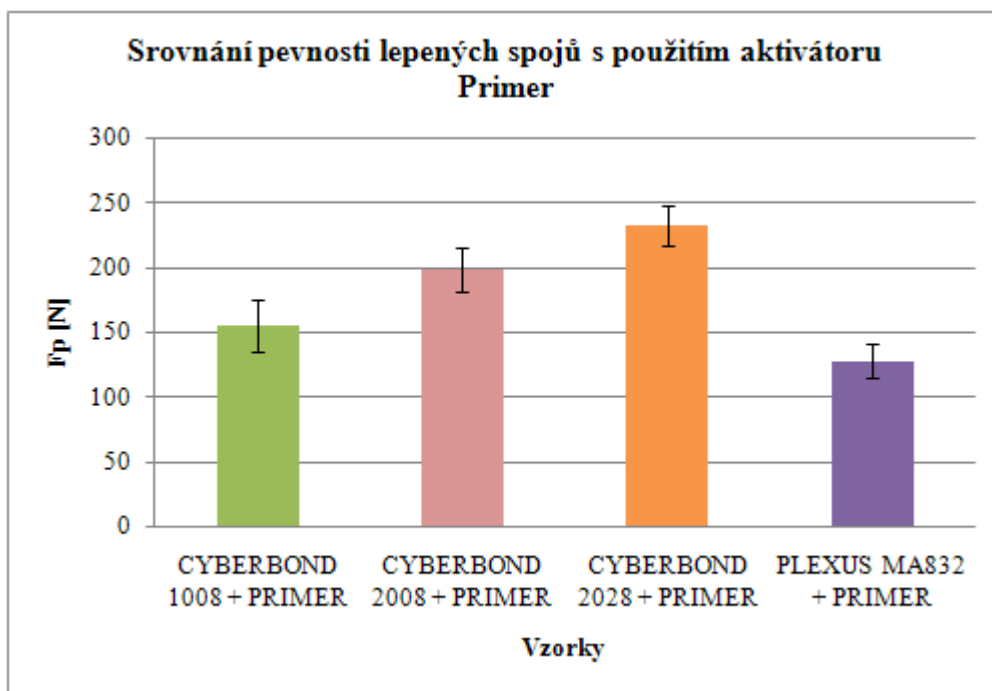
10.6 Srovnání nejlepších výsledků pevnosti lepených spojů bez povrchové úpravy



Obr. 24. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, na spoji vytvořeném daným lepidlem.

Při srovnání lepených spojů bez povrchové aktivace bylo zjištěno, že největší pevnost lepeného spoje byla dosažena lepidlem Cyberbond 2028 $F_p=347,81\text{N}$ což je o 77 % méně než pevnost základního materiálu. Nejnižší pevnost lepeného spoje byla u spojů s lepidlem Plexus MA832 $F_p=85,91\text{N}$ což je o 94 % méně než pevnost základního materiálu (Tab. 9, Tab. 10, Tab. 11, Tab. 12, Obr. 24).

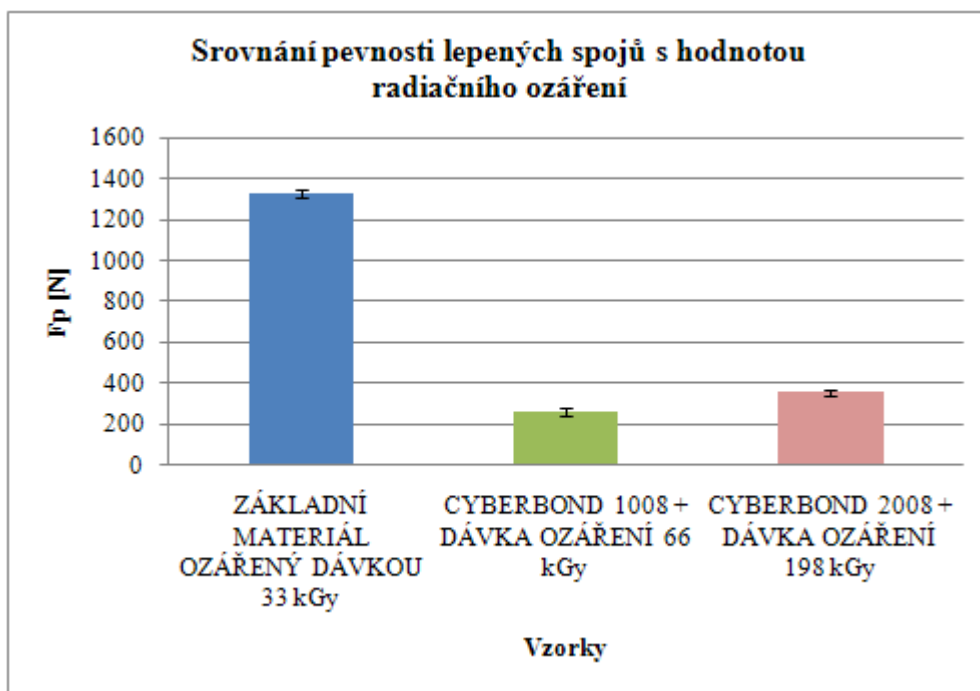
10.7 Srovnání nejlepších výsledků pevnosti lepených spojů s aktivátorem Primer



Obr. 25. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, na spoji vytvořeném daným lepidlem s aktivátorem Primer.

Při srovnání největších pevností lepených spojů s aktivací povrchu primerem má největší pevnost lepidlo Cyberbond 2028 $F_p=347,81\text{N}$ což je o 77 % méně než pevnost základního vzorku. Nejnižší pevnost byla naměřena u dvousložkového lepidla Plexus MA832 $F_p=85,91$ což je o 94 % méně než pevnost základního materiálu (Tab. 9, Tab. 10, Tab. 11, Tab. 12, Obr. 25).

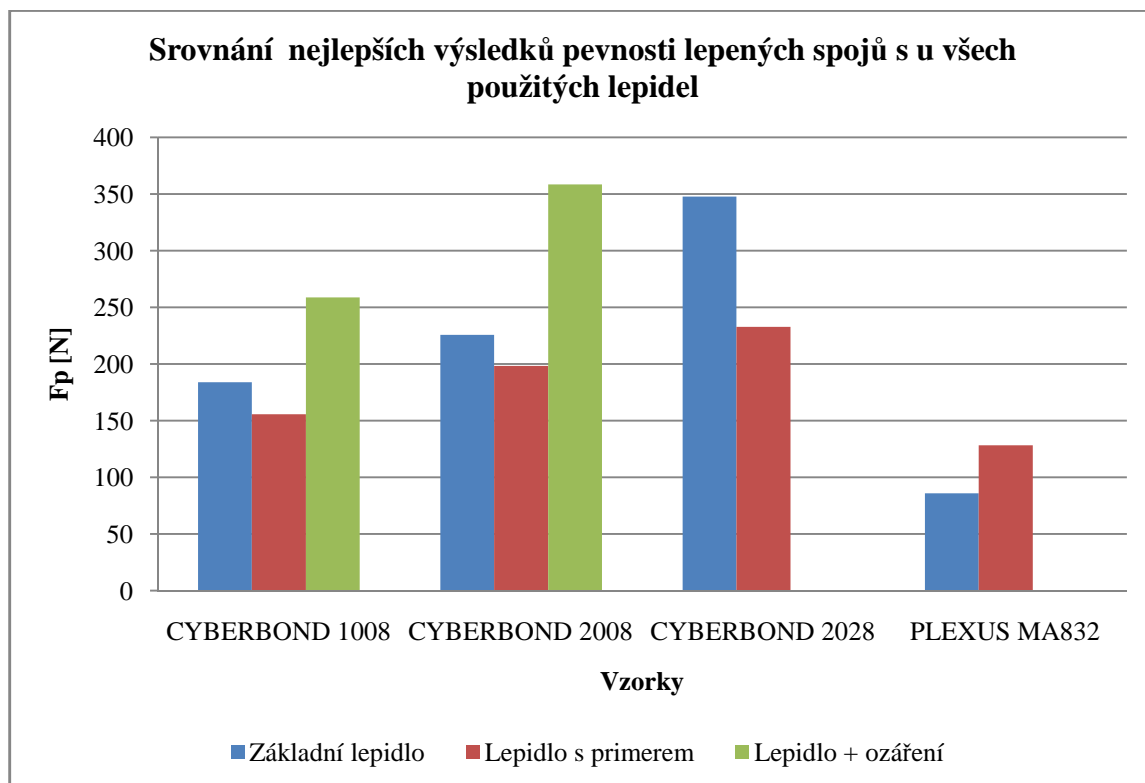
10.8 Srovnání nejlepších výsledků pevnosti lepených spojů u ozářených vzorků



Obr. 26. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, na ozářeném materiálu.

Při srovnání největších pevností u aktivovaného povrchu radičním ozářením bylo zjištěno, že největší pevnost má lepidlo základní materiál ozářený hodnotou 33 kGy, $F_p=1326,09$ což je o 13 % méně než je pevnost základního vzorku. Nižší pevnost byla naměřena u vzorku s lepidlem Cyberbond 2008 ozářeném dávkou 198 kGy, $F_p=358,39\text{N}$ což je o 76 % méně než pevnost základního vzorku. Nejnížší pevnost byla naměřena u lepidla Cyberbond 1008 ozářené dávkou 66 kGy, $F_p=258,84\text{N}$ což je o 83% méně než pevnost základního vzorku (Tab. 9, Tab. 10, Tab. 11, Tab. 12, Obr. 26).

10.9 Srovnání nejlepších výsledků všech lepidel



Obr. 27. Vybrané srovnání maximálních zatěžujících sil u všech lepidel

Při srovnání všech největších pevností spojů u použitých lepidel a povrchových úpravách, má největší pevnost lepidlo Cyberbond 2008 s povrchovou aktivací ozářením dávkou 198 kGy $F_p=358,39\text{N}$ což je o 77 % méně než pevnost základního materiálu. Nejnižší pevnost mělo základní lepidlo Plexus MA832 $F_p=85,91\text{N}$ což je o 94 % méně než pevnost základního materiálu (Tab. 9, Tab. 10, Tab. 11, Tab. 12, Obr. 27).

DISKUZE VÝSLEDKŮ

Pro testování lepených spojů byl zvolen materiál LLDPE a 3 typy kyanoakrylátových sekundových lepidel (Cyberbond 1008, 2008 a 2028) a také dvousložkové methakrylátové lepidlo (Plexus MA832). Zkušební tělesa byla vstříknuta na vstřikovacím stroji Arburg 420C Advanced a následná zkouška pevnosti lepených spojů byla zjišťována tahovou zkouškou na trhacím stroji Zwick 1456.

V praktické části jsem nejdříve v první fázi zjišťoval pevnost vzorků, u kterých nebyla provedena žádná povrchová úprava a u vzorků u kterých naopak byl jejich povrch aktivován Primerem. Z naměřených hodnot vyplynulo, že nejlepším lepidlem, pokud budeme lepit bez povrchové úpravy, je lepidlo Cyberbond 2028, které dosáhlo bez povrchové úpravy průměrné pevnosti lepeného spoje 23 % průměrné pevnosti základního materiálu. Naproti tomu nejnižší pevnost lepeného spoje bez povrchové úpravy mělo lepidlo Plexus MA832, které dosáhlo průměrné pevnosti lepeného spoje 6 % průměrné pevnosti základního materiálu. Následně jsem zjišťoval pevnost lepeného spoje s povrchovou úpravou pomocí primeru. Z naměřených hodnot vyplynulo, že nejlepším lepidlem, pokud budeme lepit s povrchovou úpravou, je lepidlo Cyberbond 2028, které dosáhlo průměrné pevnosti lepeného spoje 15 % průměrné pevnosti základního neozářeného materiálu. Avšak oproti tomu nejnižší pevnost lepeného spoje s povrchovou úpravou pomocí primeru mělo lepidlo Plexus MA832, které dosáhlo průměrné pevnosti lepeného spoje 8 % průměrné pevnosti základního neozářeného materiálu. Lze říci, že u kyanoakrylátových lepidel měla aktivace látkou Primer spíše negativní vliv, jelikož pevnost spoje klesala. Naopak je tomu u dvousložkového lepidla, kde došlo k mírnému zlepšení pevnosti spoje.

V další fázi praktické části jsem zjišťoval pevnost lepených spojů u vzorků s povrchovou úpravou pomocí radiačního ozáření. Porovnával jsem pevnost základního ozářeného materiálu s lepenými spoji lepidla Cyberbond 2008 a 1008. Z naměřených údajů vyplynulo, že lepším lepidlem, v případě je-li povrch aktivován radiačním ozáření je lepidlo Cyberbond 2008 na ozářeném povrchu při dávce 198 kGy, které dosáhlo průměrné pevnosti lepeného spoje 24 % průměrné pevnosti základního neozářeného materiálu. Lepidlo Cyberbond 1008 dosáhlo nejlepších výsledků při dávce ozáření 66 kGy, kdy dosáhlo průměrné pevnosti lepeného spoje 17 % průměrné pevnosti základního neozářeného materiálu.

Porovnáme-li i základní neozářený vzorek se vzorkem, který byl radiačně ozářen, všimneme si, že ozáření mělo na pevnost u materiálu LLDPE spíše negativní vliv, jelikož došlo k

mírnému snížení pevnosti. Z šesti hodnot dávek ozáření (33 kGy, 66 kGy, 99 kGy, 132 kGy, 165 kGy a 198 kGy) nejlépe dopadlo ozáření s hodnotou 33 kGy kdy průměrná pevnost vzorku dosáhla $F_p=1326,09$ což je 87 % průměrné pevnosti základního neozářeného materiálu.

ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá problémem pevnosti lepených spojů LLDPE. Obsahem praktické části je zhotovení, příprava vzorků, volba lepidel a následné zhotovení lepených spojů a jejich měření. Pro lepení LLDPE byli použity 3 typy kyanoakrylátových sekundových lepidel (Cyberbond 1008, 2008 a 2028) a také dvousložkové methakrylátové lepidlo (Plexus MA832). Následná zkouška pevnosti lepených spojů byla zjišťována tahovou zkouškou na trhacím stroji Zwick 1456.

Testování lepených spojů LLDPE se provádělo na neozářeném materiálu, materiálu s povrchem aktivovaným pomocí látky Primer a následně materiálu, jehož povrch byl aktivován dávkou ozáření 33kGy, 66kGy, 99kGy, 132kGy, 165kGy a 198 kGy.

Z výsledků vyplynulo, že při lepení LLDPE bez povrchové úpravy bylo nejvhodnější lepidlo Cyberbond 2028, které dosáhlo nejlepších výsledků z použitých lepidel. U lepení LLDPE s povrchovou úpravou pomocí primeru dosáhlo nejlepší výsledků opět lepidlo Cyberbond 2028 a při lepení LLDPE s povrchovou úpravou pomocí ozáření, dosáhlo nejlepších výsledků lepidlo Cyberbond 2008 s dávkou ozáření 198 kGy a bylo tak nejlepším kombinací pro vznik lepeného spoje. Naopak nejhorších výsledků bylo zaznamenáno u lepidla Plexus MA832, které dosáhlo velmi nízkých pevností lepených spojů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Monografie:

- [1] Lepení plastických hmot a pryže. Gottwaldov: VÚGPT, 1964, 60 s.
- [2] OSTEN, Miloš. Práce s lepidly a tmely. 2., přeprac. vyd. Praha : SNTL, 1982. 283 s.
- [3] LANGMAIER, Ferdinand. Adhese a adhesiva. 1. vyd. Zlín : FT VUT, 1999. 106 s. ISBN 8021413735.
- [4] OSTEN, Miloš. Lepení plastických hmot. Vyd. 1. Praha : SNTL, 1972. 149 s.

Internetové zdroje:

- [5] SCHINDLEROVÁ, Lucie. Vliv radiačního síťování na vlastnosti vybraných polymerů [online]. Zlín, 2011 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://dspace.k.utb.cz/handle/10563/17522>. Diplomová práce. UTB Zlín.
- [6] BEDNARČÍK, Martin. Vlastnosti lepených spojů - polymery [online]. Zlín, 2009 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://dspace.k.utb.cz/handle/10563/8582>. Baka-lářská práce. UTB Zlín.
- [7] LAMBOROVÁ, Romana. Recyklace ozářených polymerů [online]. Zlín, 2009 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://dspace.k.utb.cz/handle/10563/9593>. Diplo-mová práce. UTB Zlín.
- [8] CYBERBOND EUROPE GMBH. Cyberbond 9056: Primer pro kyanakrylátová lepidla. 2008. Dostupné z: <http://cybershopcz.com/zbozi/cyberbond-9056-10ml-56>
- [9] Kyanakrylátová sekundová lepidla: Lepidla na plasty. Cybershopcz [online]. [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://cybershopcz.com/katalog/kyanakrylatova-sekundova-lepidla-2>
- [10] *Petroleum* [online]. [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/>
- [11] *MatWeb* [online]. [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.matweb.com/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

LLDPE Lineární nízkohustotní polyetylen

Obr. Obrázek

Tab. Tabulka

kGy kiloGray (jednotka dávky ozáření)

ČSN Česká technická norma

BP Bakalářská práce

δ Střední kvadratická chyba

x Aritmetický průměr

F_p Maximální zatěžující síla

PS Polystyren

TPE Termoplastický elastomer

PE Polyetylen

ABS Akrylonitrilbutadienstyren

PP Polypropylen

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Vztah lepidla k lepenému materiálu.</i>	15
<i>Obr. 2. Pět typů nerovností povrchu podle deBruyna.</i>	20
<i>Obr. 3 Schéma struktury lepeného spoje.</i>	26
<i>Obr. 4. Lepidla Cyberbond 1008, 2008 a 2028.</i>	36
<i>Obr. 5. Tvar a rozměry pásku pro přeplátování.</i>	39
<i>Obr. 6. Zkušební vzorek a pásek pro přeplátování.</i>	39
<i>Obr. 7. Vstřikovací stroj Arburg 420C Advanced.</i>	40
<i>Obr. 8. Ozářená tělesa.</i>	42
<i>Obr. 9. Primer Cyberbond 9056.</i>	43
<i>Obr. 10. Čelní spoj se dvěma příložkami.</i>	43
<i>Obr. 11. Příprava zkušebních vzorků.</i>	44
<i>Obr. 12. Vytlačovací pistole.</i>	44
<i>Obr. 13. Lepidlo Plexus MA832.</i>	45
<i>Obr. 14. Statický mixér.</i>	45
<i>Obr. 15. Přípravky pro lepení.</i>	46
<i>Obr. 16. Trhací stroj Zwick 1456.</i>	47
<i>Obr. 17. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u základního ozářeného materiálu.</i>	49
<i>Obr. 18. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného lepidlem Cyberbond 1008.</i>	50
<i>Obr. 19. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u ozářeného materiálu slepeného lepidlem Cyberbond 1008.</i>	51
<i>Obr. 20. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného lepidlem Cyberbond 2008.</i>	52
<i>Obr. 21. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u ozářeného materiálu slepeného lepidlem Cyberbond 2008.</i>	53
<i>Obr. 22. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného lepidlem Cyberbond 2028.</i>	54
<i>Obr. 23. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného lepidlem Plexus MA832.</i>	55
<i>Obr. 24. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, na spoji vytvořeném daným lepidlem.</i>	56

<i>Obr. 25. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, na spoji vytvořeném daným lepidlem s aktivátorem Primer.....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 26. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, na ozářeném materiálu.</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 27. Vybrané srovnání maximálních zatěžujících sil u všech lepidel</i>	<i>59</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Fyzikální vlastnosti LLDPE.....</i>	<i>35</i>
<i>Tab. 2. Základní vlastnosti Cyberbond 1008.....</i>	<i>36</i>
<i>Tab. 3. Základní vlastnosti Cyberbond 2008.....</i>	<i>37</i>
<i>Tab. 4. Základní vlastnosti Cyberbond 2028.....</i>	<i>37</i>
<i>Tab. 5. Základní vlastnosti Plexus MA832.....</i>	<i>38</i>
<i>Tab. 6. Technická data vstřikovacího stroje Arburg 420C.....</i>	<i>40</i>
<i>Tab. 7. Technické údaje trhacího stroje Zwick 1456.....</i>	<i>47</i>
<i>Tab. 8. Velikost maximální zatěžující síly u základních ozářených materiálů.....</i>	<i>48</i>
<i>Tab. 9. Velikost maximální zatěžující síly u ozářených materiálů lepených lepidlem Cyberbond 1008.....</i>	<i>50</i>
<i>Tab. 10. Velikost maximální zatěžující síly u ozářených materiálů lepených lepidlem Cyberbond 2008.....</i>	<i>52</i>
<i>Tab. 11. Velikost maximální zatěžující síly u materiálů lepených lepidlem Cyberbond 2008.....</i>	<i>54</i>
<i>Tab. 12. Velikost maximální zatěžující síly u materiálů lepených lepidlem Plexus MA832.....</i>	<i>55</i>

SEZNAM PŘÍLOH

PI CD ROM