

Pevnost lepeného spoje v závislosti na způsobu úpravy povrchu

Tomáš Mudrák

Bakalářská práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš MUDRÁK**
Osobní číslo: **T10301**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Pevnost lepeného spoje v závislosti na způsobu úpravy povrchu**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracování literární studie na dané téma**
- 2. Výroba a příprava zkušebních vzorků pro experiment**
- 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:

8. února 2013

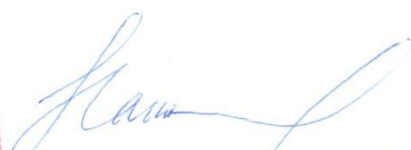
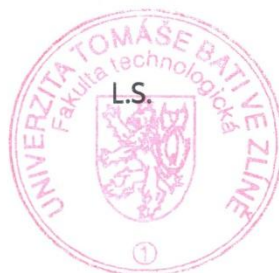
Termín odevzdání bakalářské práce:

10. května 2013

Ve Zlíně dne 11. února 2013



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan



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

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit 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 17.5.2013



.....

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 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.

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá problematikou úpravy lepených povrchů a závislostí těchto úprav na pevnost lepeného spoje. Práce je rozdělena na teoretickou část a praktickou část. V teoretické části jsou shrnuty poznatky o tvorbě lepeného spoje, dále druhy lepidel a ukázky namáhání lepených spojů. Praktická část obsahuje informace o použitém adhérendu, druhy použitých lepidel, výrobu, přípravu a zkoušení vzorků a nakonec vyhodnocení pevnosti lepených spojů.

Klíčová slova: lepení, lepené spoje, lepidlo, pevnost, LDPE, primer, radiační síťování

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the treatment of bonded surfaces and the influence of the treatment on the bond strength. The thesis consists of a theoretical part and experimental part. The theoretical part summarizes the research on bond formation, types of adhesives and adhesive joints stress. The second part describes material and adhesives used in the experiment and the method of test samples preparation. The strength of bonded joints is evaluated finally.

Keywords: bonding, adhesive joints, adhesive strength, LDPE, primer, radiation crosslinking

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce, panu Ing. Martinu Bednaříkovi, za ochotu, vynaložený čas a cenné odborné rady, které mi pomohly řešit danou problematiku.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 TEORIE LEPENÍ	12
1.1 VÝHODY A NEVÝHODY LEPENÍ	12
1.1.1 Výhody lepení	12
1.1.2 Nevýhody lepení	13
1.2 STRUKTURA LEPENÉHO SPOJE.....	13
1.3 POROVNÁNÍ LEPENÝCH SPOJŮ S KLASICKÝMI METODAMI SPOJOVÁNÍ.....	14
2 ADHEZNÍ A KOHEZNÍ SÍLY	15
2.1 TEORIE ADHEZE.....	15
2.1.1 Starší teorie adheze	15
2.1.2 Sorpční teorie adheze	16
2.2 TEORIE KOHEZE.....	16
3 ČINITELÉ OVLIVŇUJÍCÍ SOUDRUŽNOST LEPENÉHO SPOJE	17
3.1 POVRCH LEPENÉ HMOTY	17
3.1.1 Polarita	17
3.1.2 Krystalinita polymerů.....	17
3.1.3 Obsah plniv	17
3.1.4 Obsah změkčovadel	17
3.1.5 Rovnost a hladkost povrchu	18
3.1.6 Čistota povrchu	19
3.1.7 Rozpustnost, bobtnavost	19
3.1.8 Smáčivost	19
3.1.9 Délková roztažnost.....	20
3.2 LEPIDLO	20
3.2.1 Složení a tvar makromolekuly	20
3.2.2 Polymerační stupeň	21
3.2.3 Vedlejší skupiny na řetězci polymeru	21
3.2.4 Struktura a složení plniva.....	21
3.2.5 Přídavek změkčovadla	22
3.2.6 Obsah rozpouštědla	22
3.2.7 Viskozita	23
3.2.8 Kyselost a alkalita	23
3.2.9 Homogenita lepidla	23
3.2.10 Objemová stálost filmu lepidla	23
3.3 PODMÍNKY ZPRACOVÁNÍ	24
3.3.1 Konstrukce lepených spojů	24
3.3.2 Předběžná úprava spojovaných ploch	25
3.3.3 Příprava lepících směsí	25
3.3.4 Nanášení lepidla	26
3.3.5 Význam tlaku	26
3.3.6 Význam teploty	27
3.3.7 Tuhnutí lepidla ve spoji.....	27
4 LEPIDLA	29

4.1	ROZDĚLENÍ LEPIDEL PODLE MECHANIZMU VYTVRZOVÁNÍ	29
4.1.1	Lepidla vytvrzovaná anaerobní reakcí	29
4.1.2	Lepidla vytvrzovaná ultrafialovým zářením	29
4.1.3	Lepidla vytvrzovaná aniontovou reakcí	30
4.1.4	Lepidla vytvrzovaná aktivátory.....	32
4.1.5	Lepidla vytvrzovaná okolní vlhkostí.....	33
4.1.6	Lepidla vytvrzovaná teplem.....	34
4.1.7	Lepidla vytvrzovaná vsáknutím a odpařením rozpouštědel.....	35
4.2	DALŠÍ ROZDĚLENÍ LEPIDEL.....	35
5	LEPENÍ TERMOPLASTŮ A REAKTOPLASTŮ	37
5.1	VŠEOBECNÉ POKYNY PRO LEPENÍ TERMOPLASTŮ	37
5.1.1	Mechanické obrábění	37
5.1.2	Odmašťování.....	37
5.1.3	Úprava aktivity povrchu.....	37
5.2	VŠEOBECNÉ POKYNY PRO LEPENÍ REAKTOPLASTŮ	37
5.2.1	Mechanické obrábění	37
5.2.2	Odmašťování.....	38
5.2.3	Klimatizace	38
6	NAMÁHÁNÍ LEPENÝCH SPOJŮ	39
II	PRAKTICKÁ ČÁST	42
7	CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	43
8	PŘÍPRAVA LEPENÉHO MATERIÁLU A DRUHY LEPIDEL.....	44
8.1	LEPENÝ MATERIÁL – LDPE	44
8.2	DRUHY POUŽITÝCH LEPIDEL.....	45
8.2.1	Cyberbond 2008	45
8.2.2	Cyberbond 5008	45
8.2.3	Cyberbond E705.....	47
8.2.4	Cyberbond A806	47
8.2.5	Plexus MA310.....	48
9	VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLÍSEK	49
9.1	VSTŘIKOVACÍ STROJ ARBURG ALLROUNDER 420C ADVANCE	49
10	ÚPRAVA POVRCHU ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ.....	51
10.1	RADIAČNÍ SÍŤOVÁNÍ	51
10.2	AKTIVACE POVRCHU POMOCÍ PRIMERU	52
11	PŘÍPRAVA A MĚŘENÍ ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ.....	54
11.1	KONSTRUKCE LEPENÉHO SPOJE A POSTUP LEPENÍ.....	55
11.2	MĚŘENÍ PEVNOSTI LEPENÝCH SPOJŮ	57
12	VÝSLEDKY TAHOVÉ ZKOUŠKY	58
12.1	VLIV OZÁŘENÍ NA NEROZSTŘIŽENÝ VZOREK	58
12.2	ZKOUŠKY PEVNOSTI ZA TEPLoty 23 °C	59
12.2.1	Pevnost lepeného spoje při použití lepidla CYBERBOND 2008	59
12.2.2	Pevnost lepeného spoje při použití lepidla CYBERBOND 5008	61
12.2.3	Pevnost lepeného spoje při použití lepidla PLEXUS MA310	63
12.2.4	Pevnost lepeného spoje při použití lepidla CYBERBOND E705.....	65
12.2.5	Pevnost lepeného spoje při použití lepidla CYBERBOND A806	67

12.3	ZKOUŠENÍ ZA TEPLoty 60 °C.....	69
12.3.1	Pevnost lepeného spoje při použití lepidla CYBERBOND 2008	69
12.3.2	Pevnost lepeného spoje při použití lepidla CYBERBOND 5008	71
12.3.3	Pevnost lepeného spoje při použití lepidla CYBERBOND E705	73
12.4	NEJLEPŠÍ VÝSLEDKY TAHOVÉ ZKOUŠKY PŘI TEPLotĚ 23 °C.....	75
12.5	NEJLEPŠÍ VÝSLEDKY TAHOVÉ ZKOUŠKY PŘI TEPLotĚ 60 °C.....	75
13	DISKUZE VÝSLEDKŮ	77
	ZÁVĚR	78
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	79
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	81
	SEZNAM OBRÁZKŮ	82
	SEZNAM TABULEK.....	84
	SEZNAM PŘÍLOH.....	85

ÚVOD

Spojování dílů lepením (adhezní spojování) je technika, která zčásti nebo plně nahrazuje klasické způsoby spojování materiálů a rozšiřuje se i do dalších, ne průmyslových oblastí, jako je např. zubní lékařství, chirurgie atd. [4]

Už v době kamenné se používalo březové smoly k lepení hrotů šípů a harpun. Smola se zpracovávala nahřátým klínem, tento způsob je podobný dnešnímu pájení. Ve starém Egyptě znali výrobu lepidel živočišného původu a lepení za horka. V Babyloně byly nalezeny sošky, jejichž oči byly zalepeny do hlavy. Analýza tohoto lepidla, které je po šesti tisících letech bezvadné, se nepodařila. Ve starém zákoně v knize Genesis se píše, že při stavbě Babylonské věže bylo nejpoužívanější maltou bitumenové bahno. Bitumen společně se smolou byly jedinými tmely, kterými byly těsněny tehdejší námořní lodě. Že je lepení skutečně velmi starý způsob spojování, dokazují ještě dnes některé národy, které zůstaly na nižším stupni kulturního vývoje. Například Jihoameričtí domorodci používají včelí vosk k lepení per a k utěšňování nádob. [2]

První patent na výrobu lepidla byl udělen roku 1814 v Americe. V roce 1862, asi 30 let po objevu vulkanizace kaučuku, bylo patentováno první vulkanizovatelné kaučukové lepidlo. Dalším mezníkem ve vývoji lepidel a všeobecně v lepení byl objev nitrace celulosy v letech 1845 až 1846. Roku 1872 vznikla v Americe první továrna na celuloid, ale teprve roku 1912 byl předveden na svou dobu dobře připravený výrobní postup lepené obuvi, který již zahrnoval speciální stroje pro nanášení lepidla. Prakticky až do druhé světové války byly lepeny jen materiály, které byly schopny lepidlo vsáknout (dřevo, kůže, textil, papír). Z období před druhou světovou válkou mají pro lepení značný význam objevy některých polymerů, i když byly použity pro lepení až později.

1931 - polychloropren

1935 - velkopřmyslová výroba butadienu

1937 - polyisobutylene a butylkaučuk, polyuretany z diisokyanátů a vícemocných alkoholů

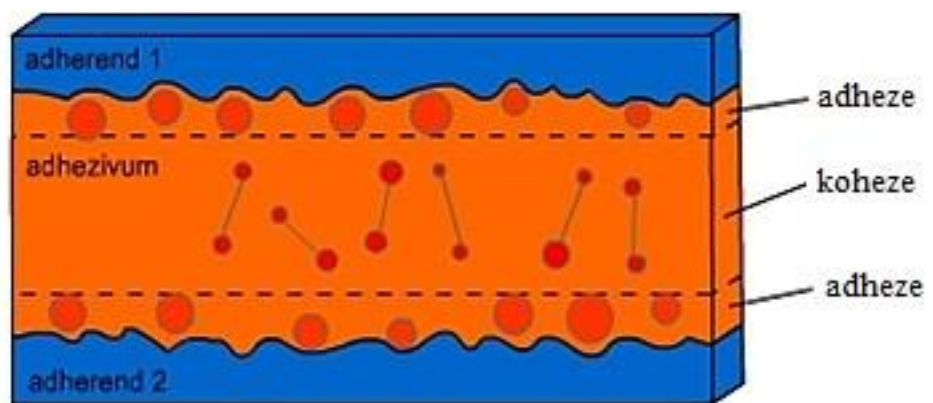
1938 - epoxidy

1940 - nenasycené polyestery [2]

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TEORIE LEPENÍ

Lepení lze charakterizovat jako technologický proces, při kterém se vytváří nerozebíratelné spojení dvou stejných nebo odlišných materiálů za použití zvoleného adheziva (lepidla). Základním předpokladem k tomu, aby se mohly uplatnit adhezní síly, je dokonalý styk lepidla s povrchem lepené hmoty. Lepidlo musí povrch smáčet, což těsně souvisí s různými dalšími faktory, např. s čistotou povrchu, povrchovým napětím roztoků, jejich viskozitou atd. [3,6]



Obr. 1. Princip lepeného spoje. [6]

1.1 Výhody a nevýhody lepení

Tak jako jiné zpracovatelské metody, vyznačuje se i lepení nejen mnoha výhodami, ale i některými zápornými i limitujícími činiteli. Při rozhodování o typu spoje je třeba uvážit přednosti a nevýhody lepení ve srovnání s tradičními způsoby spojování. [1]

1.1.1 Výhody lepení

- Lepení dovoluje spojovat stejné nebo různorodé materiály bez ohledu na jejich tloušťku.
- Aplikací lepidel není narušena celistvost spojovaných dílců.
- Je možné připravit spoje vodotěsné i plynotěsné.
- Není narušován profil ani estetický vzhled lepeného souboru.
- Lepený spoj zabraňuje vzniku elektrolytické koroze kovových adherendů.

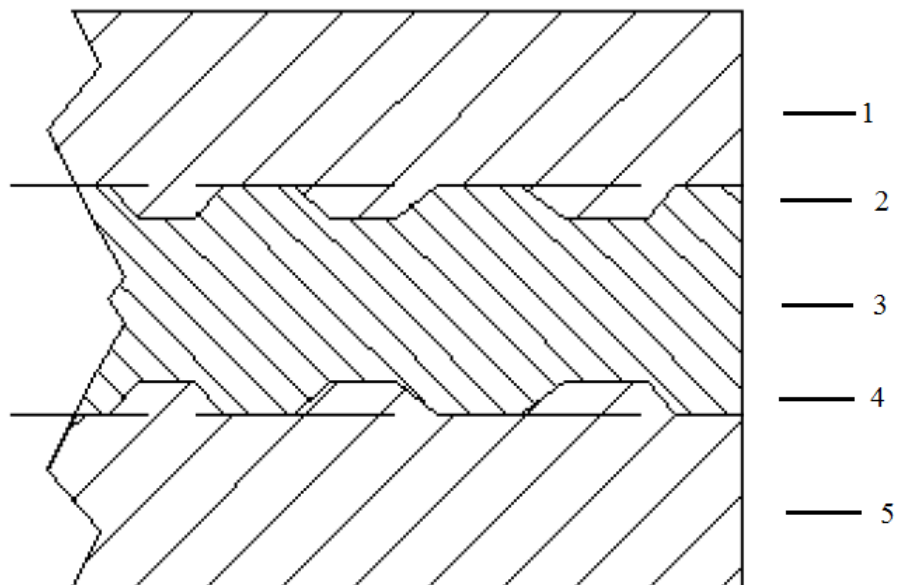
- Lepením se nezvyšuje hmotnost souboru.
- Lze dosáhnout vysoké pevnosti spojů, zejména při namáhání ve smyku a rázové pevnosti. [1]

1.1.2 Nevýhody lepení

- Klade vysoké požadavky na rovinnost a čistotu povrchu lepených dílců (adherendů).
- Jsou nutné speciální úpravy povrchu u adherendů se špatnými adhezními vlastnostmi.
- Konstrukčně použitelné spoje nejsou rozebíratelné.
- Většina lepených spojů je citlivá vůči namáhání v odlupování.
- Životnost reaktivních lepících směsí je omezena.
- Maximální pevnosti spoje je dosaženo až po určité době.
- Odolnost vůči vyšším teplotám je omezena. [1]

1.2 Struktura lepeného spoje

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



Obr. 2. Schéma struktury lepeného spoje. [3]

Vrstvy lepeného spoje:

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

1.3 Porovnání lepených spojů s klasickými metodami spojování

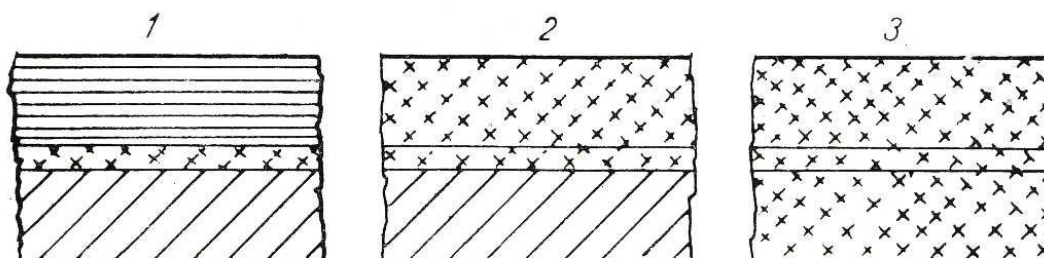
Nejdůležitější výhodou lepených spojů je ve srovnání se spoji klasickými zvýšení celkové pevnosti vhodně konstruovaného spoje. Při nýtování a šroubování otvory zmenšují průřez spojovaných dílů a kromě toho vyvolávají vysokou koncentraci napětí, takže spojovaný materiál nemůže být pevnostně využit. Pevnostní výhody lepených spojů oproti svařovaným spojům nejsou vždy tak jednoznačné, jako je tomu při porovnání s nýtováním a šroubováním. Dále jsou lepené spoje na rozdíl od klasických spojů provedených nýty a šrouby nepropustné pro kapalinu, popř. i pro plyny. Při dynamickém namáhání konstrukce rozvádí lepený spoj vzniklé pnutí mnohem rovnoměrněji, než kterýkoliv jiný mechanický spoj. Kombinace klasických způsobů spojování a lepení nejsou přitom vyloučeny. [2, 3]

2 ADHEZNÍ A KOHEZNÍ SÍLY

Vyvolání vzájemné přitažlivosti mezi dvěma tuhými materiály bez použití lepidla by předpokládalo, že spojované plochy budou k sobě přiblíženy na molekulární vzdálenost. Tento požadavek nelze v podstatě splnit, protože kontaktní plochy by musely být absolutně rovné, absolutně souběžné i absolutně čisté. [1]

2.1 Teorie adheze

Síly vyvolávající přilnavost lepidla (adheziva) a lepeného materiálu (adherendu) označujeme jako adhezi. Má-li lepidlo a spojovaný materiál stejné složení, jde o autoadhezi jednostrannou nebo oboustrannou. [2]



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

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

2.1.1 Starší teorie adheze

Teorie adheze, které byly publikovány před rokem 1960, vycházely z představ, že pro adhezi jak ve fyzikálním, tak chemickém slova smyslu je určujícím faktorem typ sil, které působí na fázovém rozhraní lepeného spoje. [4]

Chemická teorie adheze

Síly působící na fázovém rozhraní adherent/adhezivní film mají charakter chemických (kovalentních) vazeb, které jsou typické vysokým energetickým obsahem (100-1000 kJ/mol). Látky, které v takových případech zprostředkovávají adhezi, se označují jako promotory adheze. [4]

Mechanická teorie

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. [4]

Difúzní teorie

Vychází v podstatě z mechanické teorie s tím, že místo úrovně mikroskopické uvažuje úroveň molekulární. Jejím základem byly studie autoadhese polymerů (adhese vrstev téhož polymeru). V takových případech se uplatňuje interdifuze makromolekulárních segmentů přes fázové rozhraní tak výrazně, že vede k vymizení fázového rozhraní. Pokud jsou makromolekulární segmenty různých polymerů dostatečně pohyblivé a vzájemně rozpustné, může se interdifuze uplatnit i v případech rozdílných polymerů. [4]

2.1.2 Sorpční teorie adheze

Dnes nejvíce přijímaná adsorpční teorie adheze vychází z analogie jevu smáčení, adsorpce a adheze. Za nejvýznamnější síly působící v lepeném spoji přes fázové rozhraní pokládá síly van der Waalsovské (síly působící na krátké vzdálenosti), které považuje i přes poměrně nízký energetický obsah za postačující k dosažení dobré pevnosti adhezivního spojení. [4]

Příčina malé pevnosti adhezivního spoje je spatřována především v omezeném kontaktu polymerů adherendu a adheziva. Adheziva se vždy aplikují v kapalné formě a podmínka dosažení dobrého kontaktu s polymerem adherendu proto souvisí s dokonalostí smáčení povrchu kapalným adhezivem. [4]

2.2 Teorie koheze

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. [1]

3 ČINITELE OVLIVŇUJÍCÍ SOUDRUŽNOST LEPENÉHO SPOJE

3.1 Povrch lepené hmoty

3.1.1 Polarita

Vliv polarity hmoty na její lepitelnost lze shrnout takto:

- a) Slabě až středně polární hmoty, jako je například polyvinylchlorid, polymethylmetakrylát, polyestery, fenoplasty, aminoplasty, aj., jsou vesměs lepitelné polárními lepidly stejného původu jako lepená hmota.
- b) Silně polární hmoty zejména polyamidy, hydratovaná celulóza a některé z polyuretanových hmot, se lepí hůře než hmoty slabě polární
- c) Některé nepolární hmoty, jako například polyetylén, polypropylén, polytetrafluoretylén, a vysokomolekulární polyizobutylén jsou těžce lepitelné až nelepitelné. Problém se proto obchází předběžnou úpravou povrchu. [3]

3.1.2 Krystalinita polymerů

Ne všechny plastické hmoty mají amorfní strukturu. Některé termoplasty (polyetylén, polypropylén, polytetrafluóretylén, polyamid) jeví v důsledku rovnovážné stavby makromolekulárního řetězce sklon ke krystalinitě. Vyznačují se vesměs lepšími mechanickými a fyzikálními vlastnostmi než polymery amorfní. Na lepitelnost má však krystalinita vliv opačný. Se zvyšujícím se krystalinickým podílem lepitelnost polymeru klesá a naopak. [3]

3.1.3 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 zlepšuje nebo alespoň nezhoršuje. [3]

3.1.4 Obsah změkčovadel

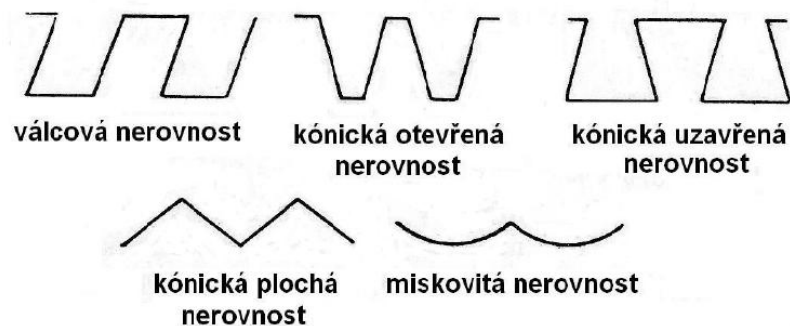
Měkké plastické hmoty, ať už folie nebo lehčené materiály, pokud obsahují ve větším množství nízkomolekulární změkčovadla (ftaláty, fosfáty apod.), mohou být spolehlivě lepeny jen lepidly, které se s těmito změkčovadly nemísí. Jinak migrující změkčovadlo film lepidla rozleptá, čímž je ohrožena pevnost spoje. Nízkomolekulární rozpouštědla se proto nahrazují měkkými termoplastickými hmotami. Je-li měkčící složka zabudována v makromolekule polymeru, je ohrožení spoje migrací změkčovadla vyloučeno. [3]

3.1.5 Rovnost a hladkost povrchu

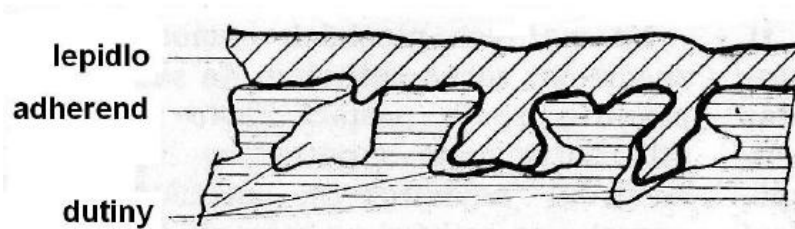
Každá styčná plocha představuje tři druhy povrchu:

- 1) geometrický povrch, daný konstrukčními rozměry spoje,
- 2) mikropovrch, tj. teoreticky možná styčná plocha, zahrnující veškeré nerovnosti a póry,
- 3) 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. 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 μm . Přitom lepidla tvrzená za normální teploty jsou na tvar povrchu citlivější než lepidla vytvrzovaná za horka. [3]



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



Obr. 5. Pronikání lepidla do mikropovrchu. [1]

3.1.6 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 prvních dvou druhů není v zásadě problémem, k odmašťování se používá rozpouštědel a moření chemickými látkami. [3]

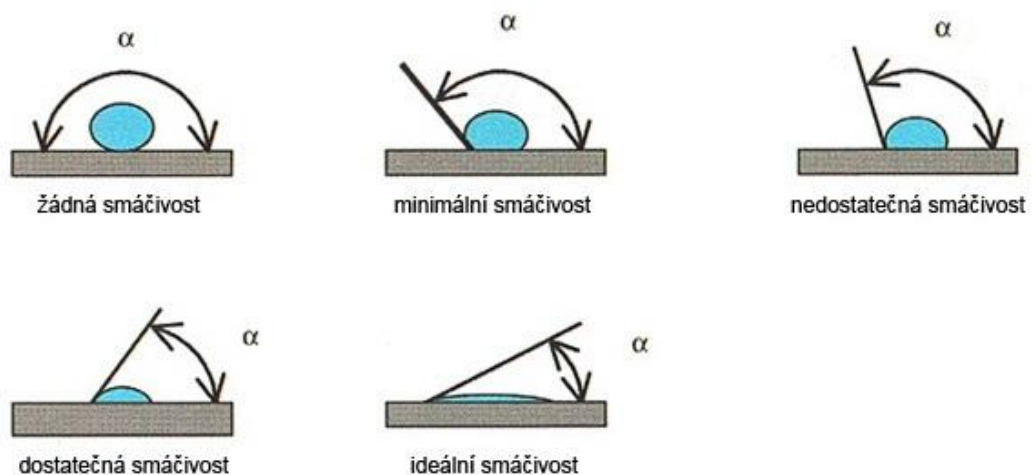
3.1.7 Rozpustnost, bobtnavost

Řada 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 (lepší se i čistými rozpouštědly), kdežto při lepení folií, kdy může být příčinou deformace povrchu, není žádoucí. [3]

3.1.8 Smáčivost

Má-li kapalina pevnou látku smáčet, což je jedním z předpokladů adheze, musí být její povrchové napětí menší než povrchové napětí smáčené hmoty. Protože voda má ze všech tekutin největší povrchové napětí, je možné z jejího chování na povrchu pevné hmoty usuzovat, jak bude povrch smáčen jinými kapalinami nebo lepidly. [3]

Smáčivost povrchu lze posuzovat několika způsoby, z nichž nejběžnější je způsob kapkový. Na zkoušený povrch se nanese kapka vody o určitém průměru a pomocí optických přístrojů se měří dotkový úhel. Předpokladem adhezní aktivity podkladu je dotkový úhel menší než 30° . [4]



Obr. 6. Smáčivost lepidel. [6]

3.1.9 Délková roztažnost

Většina plastických hmot má 6 až 10 krát větší délkovou roztažnost za tepla než klasické materiály, jako je například sklo, dřevo nebo beton a kovy. U kombinovaných spojů, není-li tomu zabráněno jejich zvláštní konstrukcí, se tato vlastnost může stát příčinou vzniku pnutí a následné deformace nebo porušení spoje. [3]

Tab. 1. Součinitelé délkové roztažnosti plastických hmot a klasických materiálů. [3]

Konstrukční materiál	Součinitel délkové teplotní roztažnosti $\alpha \cdot 10^6$ [deg ⁻¹]
<i>Epoxidové hmoty</i>	
- laminát se skelnou tkaninou	26
-neplněné odlitky	60
<i>Polyesterové hmoty</i>	
- laminát vyztužený skelnou tkaninou	10 až 25
Polyamid	100 až 120
Neplněný polyetylen	180 až 200
Polykarbonát	60
Polymethylmetakrylát	70 až 80
Polypropylen	200
Polystyren	80
Polytetrafluorethylen	55 až 100
Hliník	5 až 8
Měď	16
Porcelán	4 až 6
Silikátové sklo	5 až 8
Železo	11

3.2 Lepidlo

3.2.1 Složení a tvar makromolekuly

Podstatou lepidel jsou filmotvorné, vesměs makromolekulární látky přírodního nebo syntetického původu. Složení makromolekuly je do značné míry určující pro stupeň adheze k podkladu, zatímco její konečný tvar (po vyschnutí, ztuhnutí, nebo vytvrzení) je směrodatný pro tepelnou odolnost a rozpustnost lepidla. [5]

Filmotvorné látky s lineární strukturou makromolekuly poskytují většinou termoplastický film lepidla, který je rozpustný v organických rozpouštědlech. Naopak filmotvorné látky, které mohou vytvořit makromolekulu trojrozměrné struktury (pryskyřice), vytvářejí v lepené spáře film, který se teplem netaví a nerozpouští. [6]

3.2.2 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 také tepelná 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. [3]

3.2.3 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 vytváří podstatně elastičtější film a vyznačuje se lepší přilnavostí než roztok polymetylmetykrylátu. Velmi markantní je vliv substituentů na makromolekule celulózy. [3]

3.2.4 Struktura a složení plniva

Pro doladění konečné charakteristiky spoje co do tepelných, elektrických, mechanických i chemických vlastností je často důležitá volba správného složení a struktury plniva. Aplikují se jak plniva organická, tak anorganická. [7]

Organická plniva, například technická žitná mouka a škrob, v důsledku oblého tvaru částic dobře rozvádějí vnitřní pnutí v lepidle a pomalu sedimentují. K přednostem organických plniv patří jejich měkkost, takže při dodatečném obrábění spoje nevznikají problémy

s opotřebáváním nástrojů. Nevýhodou je, že vesměs snižují vodovzdornost a objemovou stabilitu filmu lepidla. [8]

Anorganická plniva lze rozdělit do tří skupin:

- a) Plniva s destičkovou strukturou (kaolin, slída), značně zvyšují konzistenci a zhoršují mechanické vlastnosti spoje. Nehodí se do lepidel s nízkou sušinou.
- b) Plniva s vláknitou strukturou (azbest, sekaná skleněná vlákna), silně zvyšující viskozitu směsi, která se špatně nanáší.
- c) Ostrohranná plniva (mletý porcelán, vápenec, bauxit, kovy), dovolují vysoký stupeň naplnění lepidla a při správné distribuci částic i zvýšení tepelné či elektrické vodivosti filmu lepidla. [9]

3.2.5 Přídavek změkčovadla

Je známo, že nejen tuhost filmu lepidla, ale i jeho adhezi k podkladu lze ovlivnit přídavkem 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 snadnějším pronikáním 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 i ke zhoršení pevnosti spoje. [3]

3.2.6 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:

- předběžným odpařením ve fázi otevřeného sestavení spoje,
- vsáknutím jedné nebo obou lepených ploch a následným odpařením,
- polymerací, jde-li o reaktivní rozpouštědlo (monomer). [3]

3.2.7 Viskozita

Viskozita je mírou vnitřního tření v kapalině a je jedním z činitelů ovlivňujících 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 (hustší), tím hůře se nanáší a roztírá. V extrémním případě dochází až k nedokonalému smáčení mikropovrchu adherendu. [10]

U některých reaktivních lepidel (fenolických, rezocinových, močovinových) viskozita stárnutím také 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 růstu viskozity. [3]

3.2.8 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. [3]

3.2.9 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. [3]

3.2.10 Objemová stálost filmu lepidla

Z hlediska jakosti spoje je nutné mít na zřeteli i objemové změny, k nimž dochází při přeměně tekutého lepidla v tuhý film. Čím vyšší je obsah aktivních složek v lepidle, tím menší jsou následné objemové změny. Aktivní látkou se rozumí nejen polymer, ale i další reakce schopné látky, např. reaktivní rozpouštědla (monomery) a sloučeniny zajišťující zesílení

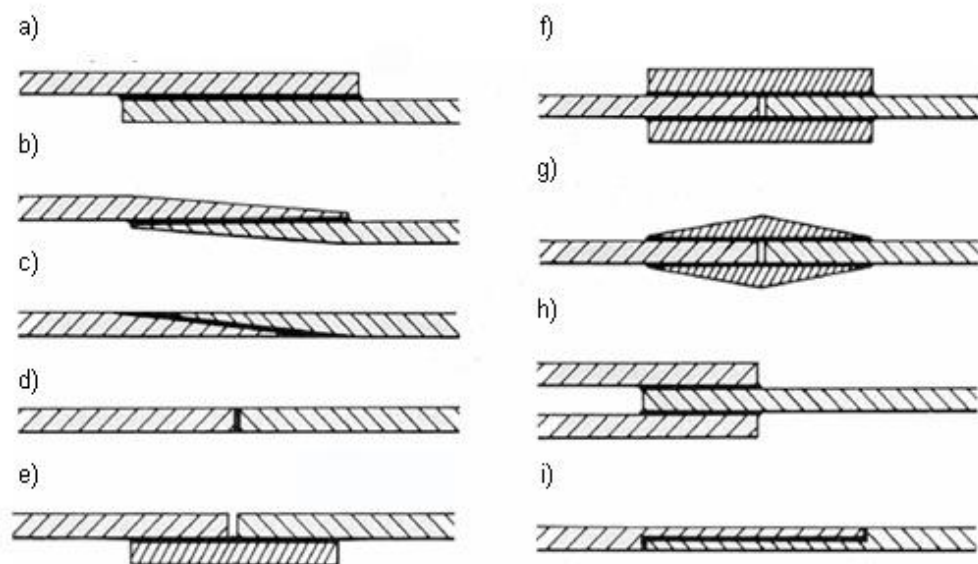
struktury lepidla, např. izokyanáty. Z hlediska snížení objemových změn filmu lepidla jsou výhodnější plniva nebobtnavá, minerálního původu. [1]

Nejméně se smršťují lepidla tavná a bezrozpouštědlová reaktivní lepidla. Nejvíce zmenšují objem lepidla rozpouštědlová a disperzní, která obsahují 30 až 60 % aktivní látky. Některé polymery, např. polystyren, zadržují rozpouštědlo velmi dlouho, takže dosažení rozměrové stability spáry je obtížné. [1, 3]

3.3 Podmínky zpracování

3.3.1 Konstrukce lepených spojů

Lepené spoje jsou mechanicky namáhány v tahu, tlaku, ve smyku, v odlupování, v rázové pevnosti, v kroucení apod. Ne všem těmto vlivům lepidla dobře odolávají. Proto musí být konstrukce upraveny tak, aby byl spoj namáhán co nejméně v odlupování a kroucení, na které je většina lepidel velice citlivá. Namáhání se v takových případech soustřeďuje jen do určitých míst spoje, což vede k lokálnímu přetížení a poškození filmu lepidla. Také spoje čelních ploch, tzv. spoje na tupo, namáhané převážně v tahu, tlaku nebo v lámání, je možno volit jen tehdy, jsou-li spojované plochy dostatečně velké. Mnohem odolnější jsou k namáhání ve smyku. Několik obvyklých způsobů řešení uvádí schéma na Obr. 7. [3, 1]



a) jednoduchý přeplátovaný spoj, b) zúžený přeplátovaný spoj, c) zkosený spoj, d) tupý čelní spoj, e) přeplátovaný spojený pásem, f) dvojitě přeplátovaný spojený pásem, g) dvojitě přeplátovaný spoj se zúženými pásy, h) dvojitě přeložený spoj, i) stupňovitě přeložený spoj

Obr. 7. Typy lepených spojů. [6]

Tloušťka a tvarová stálost slepovaných materiálů musí být co největší (pokud jde o tvrdé, strnulé spoje), aby se při namáhání nedeformovaly. Vztah smykové pevnosti spojů k tloušťce spojovaných materiálů je přímý. I když v řadě případů, např. jde-li o tlusté profily, výlisky aj., lze slepovat dílce prostým přiložením „na tupo“, je vždy výhodnější zesílit spoj jedním nebo dvojnásobným přeplátováním. Rozměr přeplátování spoje má být asi pětinasobkem tloušťky lepeného materiálu. [3]

Spoj má být připraven tak, aby se mohl vytvořit tenký stejnoměrný film lepidla ve všech částech spáry. To je důležitým faktorem např. u trubkových spojů, kde je prostor pro lepidlo přesně vymezen vůlí mezi oběma do sebe vloženými elementy. Tato vůle musí odpovídat vlastnostem lepidla. Může se zásadně pohybovat od 0,05 do 0,20 mm. Je-li prostor pro lepidlo větší, závisí pak pevnost spoje spíše na kohezi vlastního filmu lepidla než na adhezi k okolním plochám. Ani velká těsnost spojovaných ploch není žádoucí, poněvadž v takovém případě může být lepidlo ze spoje vytlačeno. [1]

3.3.2 Předběžná úprava spojovaných ploch

Předběžné úpravy lepených povrchů jsou pro dosažení maximální pevnosti spoje velmi důležité. Patří sem úkony fyzikální i chemické. [3]

Předběžná úprava lepených ploch má 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. [3]

3.3.3 Příprava lepících 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, tj. 15 až 25 °C. Lepidlo se proto má vždy v původním obalu několik dní před použitím přemístit do výrobního prostoru. Jindy je pro zajištění stejnoměrného rozlivu a tloušťky nánosu nutná úprava viskozity buď přidávkem ředidla, nebo naopak přimíšením vhodného plniva. Lepidla pro spojování průhledných součástí se mají před nanesením va-

kuově odplynit. Reaktivní dvousložková a vícesložková lepidla se před použitím míchají s příslušným tvrdidlem, urychlovačem a dalšími přísadami. Postupuje se obvykle tak, že se lepidlo předem smíchá s přísadami, které reaktivitu směsi neovlivňují, a teprve těsně před použitím se přidává tvrdící katalyzátor. K promíchání jednotlivých složek lepících směsí se používá různých typů míchacích strojů se šnekovými, lopatkovými nebo košovými míchadly. [3]

3.3.4 Nanášení lepidla

Rovnoměrnost, souvislost a správná tloušťka nánosu lepidla na jedné nebo obou styčných plochách spoje jsou prvním předpokladem úspěšného lepení.

O tom, zda má být nános jednostranný nebo oboustranný, rozhoduje druh lepidla a celkový charakter spoje. Obecně platí, že rozpouštědlová, rychle schnoucí lepidla se musí nanášet na obě lepené plochy. Reaktivní lepidla, která tuhnou v důsledku reakce v celé hmotě současně, lze nanášet jednostranně. Nános lepidla musí stačit k vytvoření přiměřeného filmu lepidla ve spáře, s mírným krůpějovým přetokem. Některé druhy lepidel jsou velmi citlivé na tloušťku filmu. Například močovinová lepidla vyžadují relativně nejtenčí nános (od 0,05 do 0,10 mm). Naopak u lepidel epoxidových má být minimální tloušťka filmu 0,2 mm. Možnost dodržení předepsané tloušťky nánosu ovšem závisí i na kvalitě a pórovitosti podkladu. Při jednostranném nánosu se lepidlo obvykle nanáší na materiál s horšími adhezními vlastnostmi nebo na plochu méně pórovitou. Slepují-li se hmoty velmi pórovité, do nichž lepidlo snadno vsakuje, musí se lepidlo buď zahustit, nebo se musí nános opakovat. [3]

3.3.5 Význam tlaku

Působení tlaku na soubor lepených ploch napomáhá jejich fixaci proti posunutí nebo odchlípení a přispívá ke stejnoměrnému rozvrstvení lepidla po celé ploše spoje. Současně se přitom vyrovnávají menší nerovnosti podkladu a lepidlo snáze pronikne do povrchových pórů. Při spojování plastických hmot lepením jde zpravidla o tzv. zatížení nízkým tlakem. Nadměrný tlak může mít negativní účinky. Může např. dojít k tomu, že lepidlo se ze spáry vytlačí a vznikne chudý, nesoudržný spoj. Jindy může příliš velký tlak způsobit, že i velmi jemná struktura podkladu se prokreslí na povrch krycího materiálu- folie, nebo že vznikne pnutí v termoplastických hmotách, čímž se zhorší jejich optické vlastnosti, rozměrová stálost atd. Nedostatečné zatížení spoje může vést zase závadám jiného druhu: lepidlo bývá nerovnoměrně rozvrstveno a spoj je z hlediska pevnosti přinejmenším nespolehlivý a jde-li

o čiré materiály, i vzhledově nekvalitní. V praxi se používá převážně hydraulických lisů, přítlačných válcovacích zařízení a pneumatických systémů pracujících pomocí pryžových folií. Spojované plochy musí zůstat pod tlakem tak dlouho, až koheze lepidla dosáhne stupně postačujícího k jejich pevnému vzájemnému spojení. [3]

3.3.6 Význam teploty

Teplotní režim ovlivňuje kvalitu nánosu lepidla a časový průběh jeho tuhnutí ve spoji. Rychlost tuhnutí lepidel ve spoji může být ovlivněna jak teplotou okolí, tak uměle připraveným teplotním režimem. Zvýšená teplota, je účinným regulátorem viskozity lepidla a prostředkem k urychlenému předsušení nánosu. Pro vliv teploty na tuhnutí lepidla ve spoji platí, že s teplotou roste rychlost tvrzení termoreaktivních lepidel. Naopak nižší teplota brzdí vytvrzování těchto lepidel.

V praxi rozlišujeme:

- 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 (označované též jako lepení za studena) je třeba zvláště dobře 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 se nesmí překročit hranice tepelné odolnosti spojovaných hmot. Zvýšená teplota také nesmí být příčinou vzniku pnutí mezi dvěma materiály s podstatně rozdílnou délkovou roztažností teplem. Tlak a vyšší teplota se aplikují současně. [3, 1]

3.3.7 Tuhnutí lepidla ve spoji

Má-li se ve spoji vytvořit film lepidla schopný adheze, musí lepidlo přejít z fáze tekuté (např. z roztoku nebo taveniny) do fáze tuhé. Způsob, jakým se to stane, charakterizuje jednotlivé skupiny lepidel:

- Lepidla roztoková a disperzní, která tuhnou následkem vsakování a odtěkání vody nebo organického rozpouštědla.
- Lepidla reaktivní, jež tuhnou nebo se vytvrzují následkem chemické reakce vyvolané ve filmotvorné složce různými vlivy (např. zvýšením teploty, přidáním tvrdi-

dla, kontaktem s kovy). Při teplotách pod $+10^{\circ}\text{C}$ se tvrzení reaktivních lepidel velmi zpomaluje. K tomu se musí přihlížet zejména při práci v zimním období.

- Lepidla tuhnou ochlazením spoje na normální teplotu. Je nežádoucí, aby tavné lepidlo na nosiči tuhlo předčasně, a proto se doporučuje lepené plochy předehtřívát.

[3, 1]

4 LEPIDLA

4.1 Rozdělení lepidel podle mechanismu vytvrzování

Většina lepidel jsou reaktivní polymery, které se mění z kapalně fáze na pevnou, jde o tzv. vytvrzování. K tomuto procesu dochází pomocí různých chemických, polymeračních reakcí. Dle způsobu vytvrzování dělíme lepidla do několika dalších skupin:

- lepidla vytvrzovaná anaerobní reakcí,
- lepidla vytvrzovaná ultrafialovým zářením,
- lepidla vytvrzovaná aniontovou reakcí,
- lepidla vytvrzovaná aktivátory,
- lepidla vytvrzovaná okolní vlhkostí,
- lepidla vytvrzovaná teplem,
- lepidla vytvrzovaná vsáknutím a odpařením rozpouštědel. [5]

4.1.1 Lepidla vytvrzovaná anaerobní reakcí

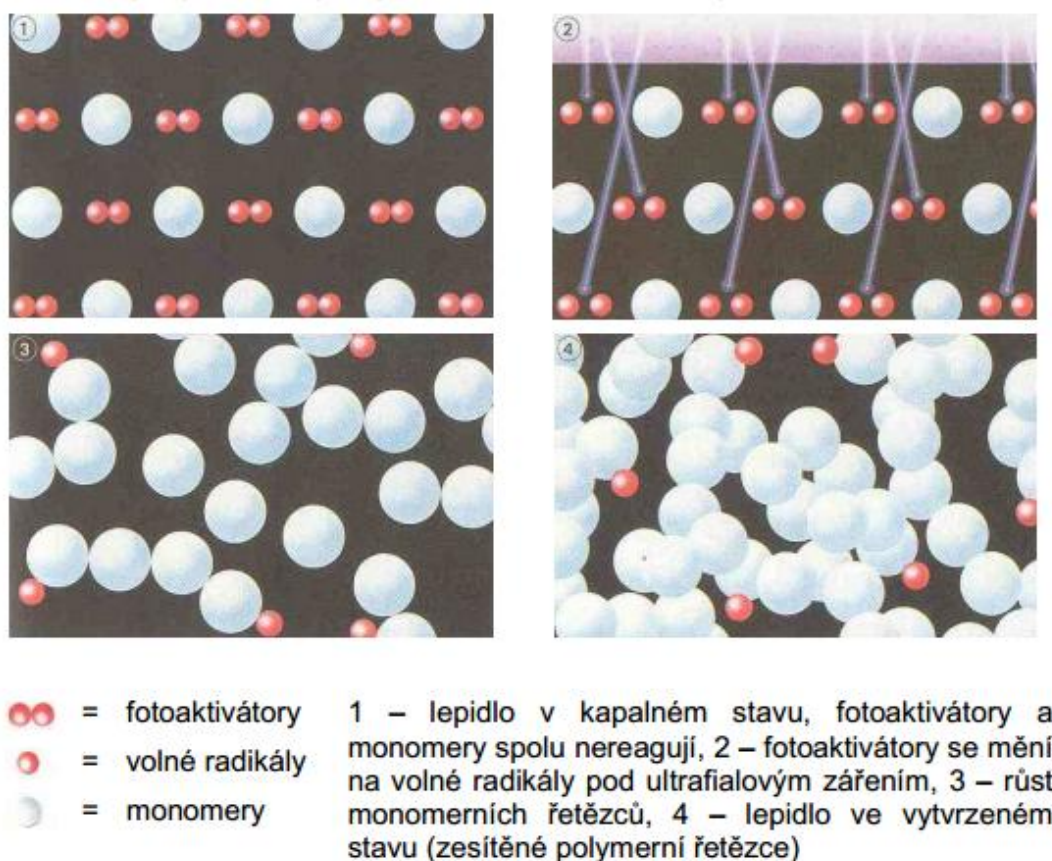
Jedná se o jednosložková lepidla, které vytvrzují za normálních teplot (cca 22 °C) a za absence atmosférického kyslíku. Slepáním spojovaných částí zamezíme přístup kyslíku a tím dojde k vytvrzení aplikovaného lepidla. Do této doby je vytvrzovací složka pasivní. Vytvrzování těchto lepidel probíhá rychle, především dojde-li ke styku s kovy. Rychlost vytvrzení může ovlivňovat lepený materiál, tloušťka vrstvy lepidla, teplota, anebo aktivátor. [5]

Vlastnosti lepidel vytvrzovaných anaerobní reakcí:

- tepelná odolnost od - 55 °C do + 230 °C,
- vysoká pevnost ve smyku,
- krátká doba vytvrzování,
- snadné dávkování.

4.1.2 Lepidla vytvrzovaná ultrafialovým zářením

Při štěpení fotoaktivátorů zářením vznikají volné radikály, které mají za následek začátek polymerace. Aby vytvrzování nastalo, musí se zajistit shoda mezi lepidlem a správnou expozicí ozáření. Zásadní vliv na dobu vytvrzení má intenzita a vlnová délka ultrafialového záření. Používají se např. k lepení skla na sklo, skla na kov a průhledných plastů. [5]



Obr. 8. Vytvrzovací proces ultrafialovým zářením. [5]

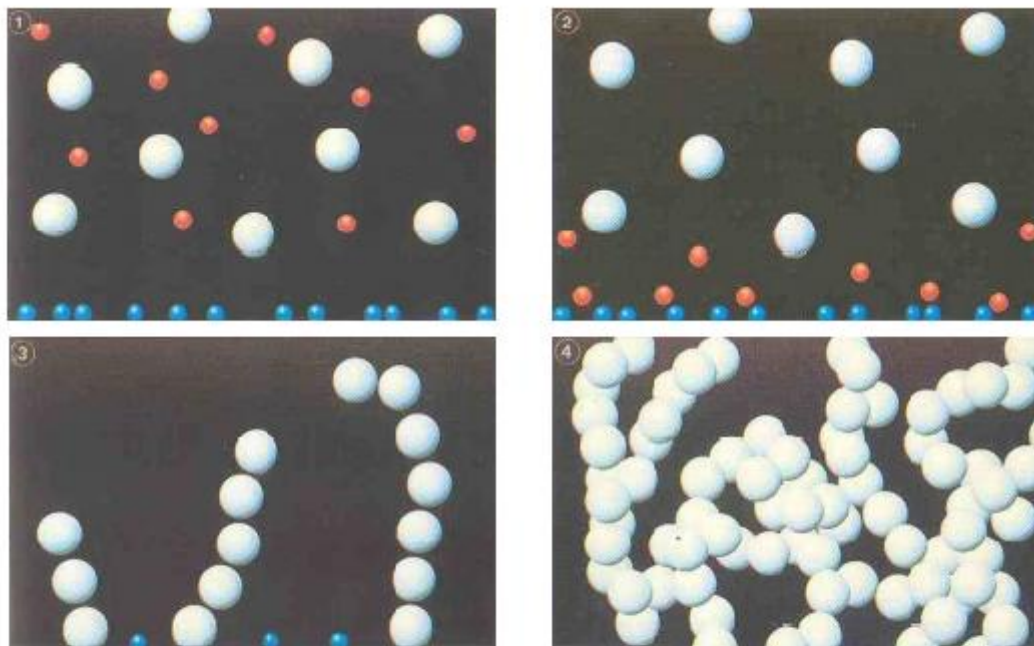
Vlastnosti lepidel vytvrzovaných ultrafialovým zářením:

- vysoká pevnost,
- schopnost lepit velké spáry,
- krátká doba vytvrzení na manipulační pevnost,
- snadné dávkování,
- dobrá chemická odolnost.

4.1.3 Lepidla vytvrzovaná aniontovou reakcí

Jedná se o tzv. kyanoakrylátová lepidla, kterým k vytvrzení postačuje okolní vlhkost vzduchu a vlhkost vzduchu na povrchu lepeného materiálu, která neutralizuje stabilizátor v lepidle a tím zahájí proces polymerace. Vytvrzovací proces probíhá během krátké doby (řádově v sekundách). Vhodná vlhkost pro dosažení kvalitního spoje se pohybuje v rozmezí 40 až 60 % při pokojové teplotě. Nižší vlhkost způsobuje prodloužení vytvrzovacího procesu, vyšší naopak vytvrzování zrychluje, ale může dojít ke zhoršení pevnosti spoje. Na dobu vytvrzení má dále vliv kyselost ($\text{pH} < 7$) a zásaditost ($\text{pH} > 7$). Kyselé povrchy vytvrzování zpomalují, nebo i zabraňují. Naopak zásadité povrchy vytvrzování zrychlují.

Film lepidla nanášíme pouze na jeden lepený povrch a po nanesení musíme povrchy rychle spojit. Pokud není relativní vlhkost v intervalu 40 až 60 %, anebo potřebujeme vytvrzovací proces urychlit, můžeme použít aktivátor. Používají se především k lepení kovů s plasty, kovů s kovy nebo jinými materiály a k lepení obtížně lepitelných plastů. [5]



- = kyselý stabilizátor
- = povrchová vlhkost
- = monomery

1 - lepidlo v kapalném stavu, kyselý stabilizátor zabraňuje reakci molekul lepidla, 2 - povrchová vlhkost neutralizuje stabilizátor, 3 - začátek polymerace, 4 - lepidlo ve vytvrzeném stavu (propletené polymerní řetězce)

Obr. 9. Vytvrzovací proces kyanoakrylátů. [5]

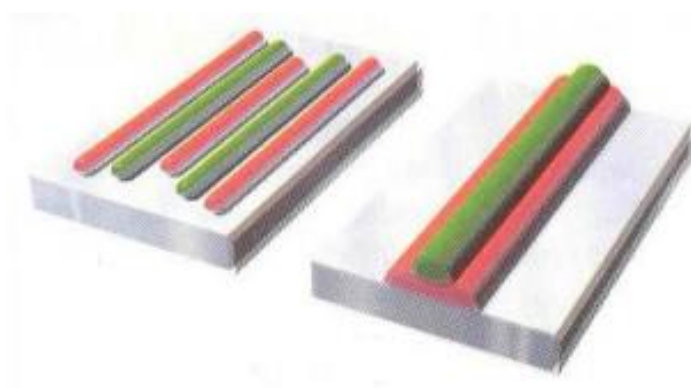
Vlastnosti lepidel vytvrzovaných aniontovou reakcí:

- velmi vysoká pevnost ve smyku a v tahu,
- krátká doba vytvrzení,
- dobrá odolnost proti stárnutí,
- téměř univerzální použití.

4.1.4 Lepidla vytvrzovaná aktivátory

K vytvrzování těchto lepidel dochází po smíchání lepidla a aktivátoru. Tento proces probíhá za pokojové teploty. Ke smíchání lepidla a aktivátoru dochází dvěma způsoby. Prvním způsobem je, že se obě složky nanasou na povrch tak, aby se nesmísily. Ke smíšení dojde až po spojení adherendů a tím začne vytvrzování. Druhým způsobem je směšování lepidla a aktivátoru před nanesením na lepený povrch. Volba způsobu závisí na typu lepidla. [5]

Pokud nelze použít aktivátor kapalný, lze použít lepidla s aktivátorem, který má stejnou konzistenci jako lepidlo. Jde o tzv. dvousložková lepidla. Obě složky se nanášejí odděleně pruh vedle pruhu, nebo pruh na pruhu (Obr. 10). K vytvrzení dojde po spojení obou lepených povrchů, kdy se lepidlo a aktivátor navzájem smísí. Pokud je doba zpracovatelnosti smíšeného lepidla delší jak 5 minut, je výhodou obě složky smístit ještě před nanesením na povrch lepeného materiálu. V takto smíšeném lepidle dojde k dokonalejšímu promísení směsi. Lepidla vytvrzovaná aktivátory se používají především pro konstrukční lepení. [5]



Obr. 10. Způsoby nanášení dvousložkových lepidel. [5]

Vlastnosti lepidel vytvrzovaných aktivátory:

- velmi vysoká pevnost ve smyku a v tahu,
- dobrá rázová odolnost (houževnatost),
- téměř univerzální lepidlo,
- rozsah provozních teplot od -55 °C do $+120\text{ °C}$,
- dobrá schopnost vyplnit spáru (obzvláště u předem smíšené směsi),
- dobrá odolnost proti vlivům prostředí.

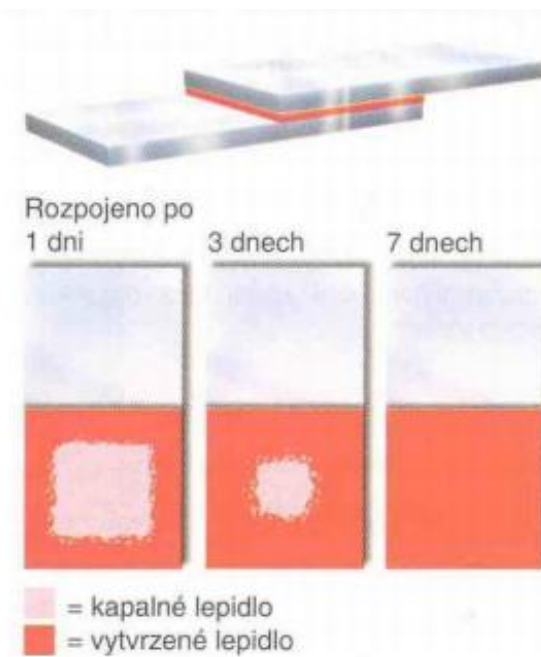
4.1.5 Lepidla vytvrzovaná okolní vlhkostí

K vytvrzení těchto lepidel dojde vlivem reakce lepidla s okolní vlhkostí. Rozdělují se do dvou základních skupin – silikony a polyuretany. [5]

Silikony

Silikony reagují za pokojové teploty s okolní vlhkostí. Vlhkost musí vniknout až do místa, kde má dojít k vytvrzení, protože silikony využívají přímo vody k polymerickému zesíťování. V okamžiku, kdy při reakci vnikne molekula vody mezi zesíťované molekuly silikonu, začne se uvolňovat vedlejší produkt. Tento produkt může být v závislosti na chemii vytvrzování kyselý (kyselina octová), neutrální (oxin, alkohol), nebo zásaditý (amin). Vytvrzují od vnějšího povrchu směrem dovnitř na ploše spoje. Doba vytvrzení závisí na relativní vlhkosti a hloubka vytvrzení je omezena na 10 – 15 mm, protože vlhkost se do větší hloubky přes vytvrzený silikon nedostane. [5]

Používají se např. pro těsnění ploch v automobilovém průmyslu, ve stavebnictví, pro vysokoteplotní aplikace a pro lepení a těsnění zvláště u malých částí. [5]



Obr. 11. Vytvrzování silikonu. [5]

Vlastnosti silikonových lepidel:

- tepelná odolnost vyšší než 230 °C,
- pružnost, houževnatost, vysoké prodloužení,
- těsnění různých médií,
- vynikající vyplnění spáry.

Polyuretany

Stejně jako u silikonů je doba vytvrzování polyuretanů závislá na relativní vlhkosti okolí. Vytvrzovací proces nastává reakcí vody s chemickou přísadou, která obsahuje izokyanátové skupiny. Oproti vytvrzování silikonů, nedochází u vytvrzování polyuretanů ke vzniku vedlejšího produktu. Pro dokonalou přilnavost mezi povrchem adherendu a polyuretanu je vhodné použití primeru. [5]

Vlastnosti polyuretanových lepidel:

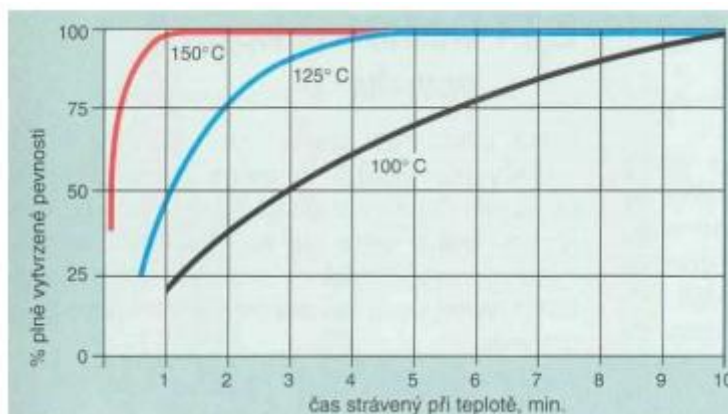
- vynikající houževnatost,
- pružnost, vysoké prodloužení,
- vynikající vyplnění spáry,
- po vytvrzení lze polyuretany natírat,
- vynikající chemická odolnost.

4.1.6 Lepidla vytvrzovaná teplem

Do této skupiny patří především lepidla jednosložková, která vytvrzují za zvýšených teplot. Většinou jde o metakrylátová, nebo epoxidová lepidla, která vytvrzují za teplot přesahujících 100 °C. Vytvrzovací teplota především závisí na druhu použitého lepidla. Čím je vytvrzovací teplota vyšší, tím vytvrzení proběhne rychleji. Každý typ lepidla má danou minimální teplotu, kdy dojde k aktivaci tvrdidla a začíná polymerace. [5]

Vlastnosti lepidel vytvrzovaných teplem:

- střední až vysoká pevnost,
- dobrá přilnavost k mnoha materiálům,
- dobrá schopnost vyplňovat spáru,
- dobrá až velmi dobrá odolnost proti vlivům prostředí.



Obr. 12. Vliv teploty na dobu vytvrzení. [5]

4.1.7 Lepidla vytvrzovaná vsáknutím a odpařením rozpouštědel

Tyto lepidla obsahují 20 až 60 % filmotvorných látek, které jsou rozpouštěné nebo dispergované ve vodě, jde o tzv. roztoková lepidla disperzní. Pokud se rozpouští v organických rozpouštědlech, tak se jedná o rozpouštědlová lepidla roztoková. Tato lepidla lze aplikovat, jen pokud je jeden z adherendů propustný pro plyny. Rozpouštědlová lepidla se nanášejí na obě lepené plochy, nejprve na plochu méně porézní. Při vysychání se objem naneseného lepidla zmenšuje. Hlavním znakem rozpouštědlových lepidel je špatné vyplňování lepené spáry. Proto musí lepené plochy dobře přiléhat. [5]

4.2 Další rozdělení lepidel

Další dělení lepidel může být např. podle původu, podle konzistence, podle tepelných vlastností filmu lepidla, podle odolnosti filmu lepidla apod.

Tab. 2. Rozdělení lepidel podle původu. [3]

Organická	Anorganická	Smišená
<p>Z přírodních surovin (pryskyřičná, škrobová, glutinová, albuminová)</p> <p>Syntetická (polykondenzační, polymerační, polyadiční)</p>	Vodní sklo, cementy, sádra	Albumin-cement, albumin-síra, močovinnová s vodním sklem

Tab. 3. Rozdělení lepidel podle konzistence. [3]

Tuhá	Polotuhá	Tekutá
Lepicí fólie, lepidla v prášku a granulích	Lepicí pásy, lepicí pasty, lepidla tmely	Lepidla disperzní, lepidla v roztoku

Tab. 4. Rozdělení lepidel podle tepelných vlastností filmu lepidla. [3]

Reaktplastická	Termoplastická	Kaučuková
Fenolická, rezorcinová, močovinová, melaminová, epoxidová, polyuretanová, polyesterová	Polyvinylacetátová, polyvinylchloridová, polymetakrylátová, polyvinylacetátová, polystyrenová, polyamidová, lepidla z derivátů celulózy	Chlórkačuková, polychloroprenová, polybutadienakrylonitrilová

Tab. 5. Rozdělení lepidel podle odolnosti filmu lepidla k vodě. [3]

Neodolná	Krátkodobě odolná	Trvale odolná
Škrobová, glutinová, albuminová, polyvinylalkoholová, metylcelulósová, karboxymethylcelulósová	Močovinová, polyvinylacetátová, nitrátcelulósová, polyvinyléterová	Fenolformaldehydová, rezorcinová, melaminová, polyuretanová, polyesterová, polymetakrylátová, epoxidová

5 LEPENÍ TERMOPLASTŮ A REAKTOPLASTŮ

5.1 Všeobecné pokyny pro lepení termoplastů

5.1.1 Mechanické obrábění

Při lepení organickými rozpouštědly nesmí nerovnost spojovaných ploch překročit 0,025 mm a 0,05 mm při lepení rozpouštědlovými lepidly. Za vyhovující lze považovat plochy, které jsou frézované, neleštěné. Při strojním obrábění se termoplast nesmí přehřívat, a proto je žádoucí chlazení (vodou nebo vzduchem). Jemné zdrsnění povrchu spojovaných ploch zvyšuje podíl aktivního povrchu a umožňuje rychlejší naleptání povrchové vrstvy rozpouštědlem. [3]

5.1.2 Odmašťování

K odmaštění se přistupuje vždy až po mechanické úpravě spáry, jelikož při těchto operacích dochází vždy ke znečištění hmoty mastnými nástroji. Odmašťování je nutné v každém případě, a to i tehdy, počítá-li se s chemickou úpravou povrchu mořením ve speciálních lázních. Termoplastické hmoty lze odmašťovat jen takovými rozpouštědly, které termoplast nenapadají. Ve všech případech vyhovují vlašné roztoky saponátů a z organických rozpouštědel metanol nebo lehký benzín. [3]

5.1.3 Úprava aktivity povrchu

Nerozpustné, nepolární polyolefiny (PE, PP, PTFE atd.) se mohou úspěšně slepovat jen tehdy, je-li jejich povrch předem aktivován. Metody navržené k tomuto účelu, jsou vesměs založeny na procesech oxidačního charakteru, nebo na úpravách, kterými se zvětšuje počet adhezivních dvojných vazeb. [3]

5.2 Všeobecné pokyny pro lepení reaktoplastů

5.2.1 Mechanické obrábění

Prakticky platí stejné zásady jako pro práci s termoplasty. Termoaktivní lepidla používaná pro lepení reaktoplastů jsou však vesměs méně citlivá na dodržování minimální tloušťky filmu lepidla, takže přesné obrobení lepených ploch není vždy nezbytné. [3]

5.2.2 Odmašťování

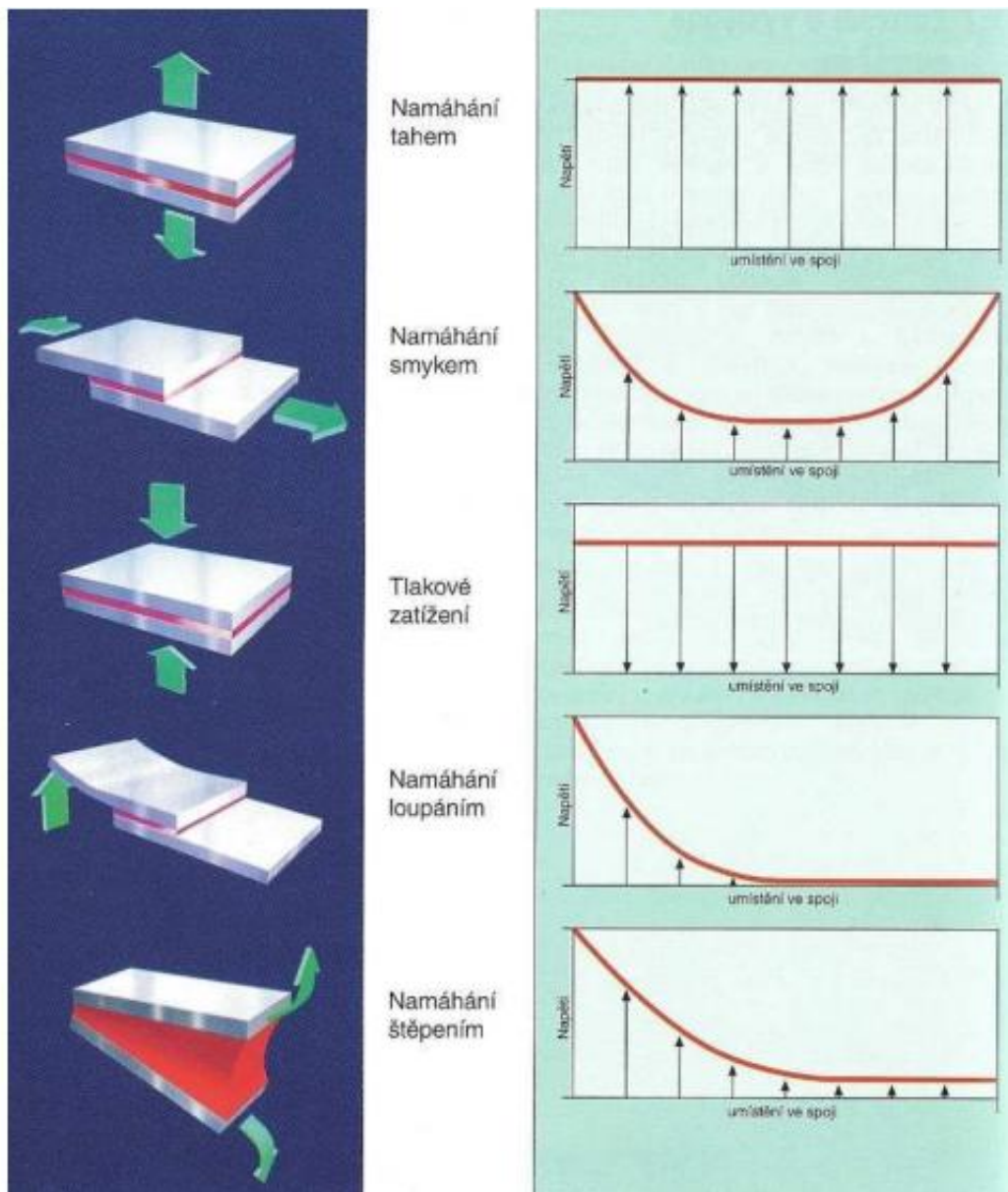
Reaktoplasty jsou nerozpustné ve všech organických rozpouštědlech. Není tedy problém použít účinná rozpouštědla tuků a vosků, jako je trichlorethylen, toluen, benzín, aceton a další. Kromě rozpouštědel se k odmašťování dají použít také horké vodní roztoky saponátů. Před další operací musí být odmaštěné plochy dokonale suché. [3]

5.2.3 Klimatizace

Klimatizace je předběžná úprava, jejímž účelem je, aby se slepované povrchy slepovaly při takovém obsahu vlhkosti a za takových objemových poměrů, za jakých budou trvale využívány. Postupuje se tak, že slepované povrchy se na delší dobu uloží do klimatizované místnosti anebo komory, kde se dlouhodobě vystaví požadovanému, uměle připravenému klimatu. [3]

6 NAMÁHÁNÍ LEPENÝCH SPOJŮ

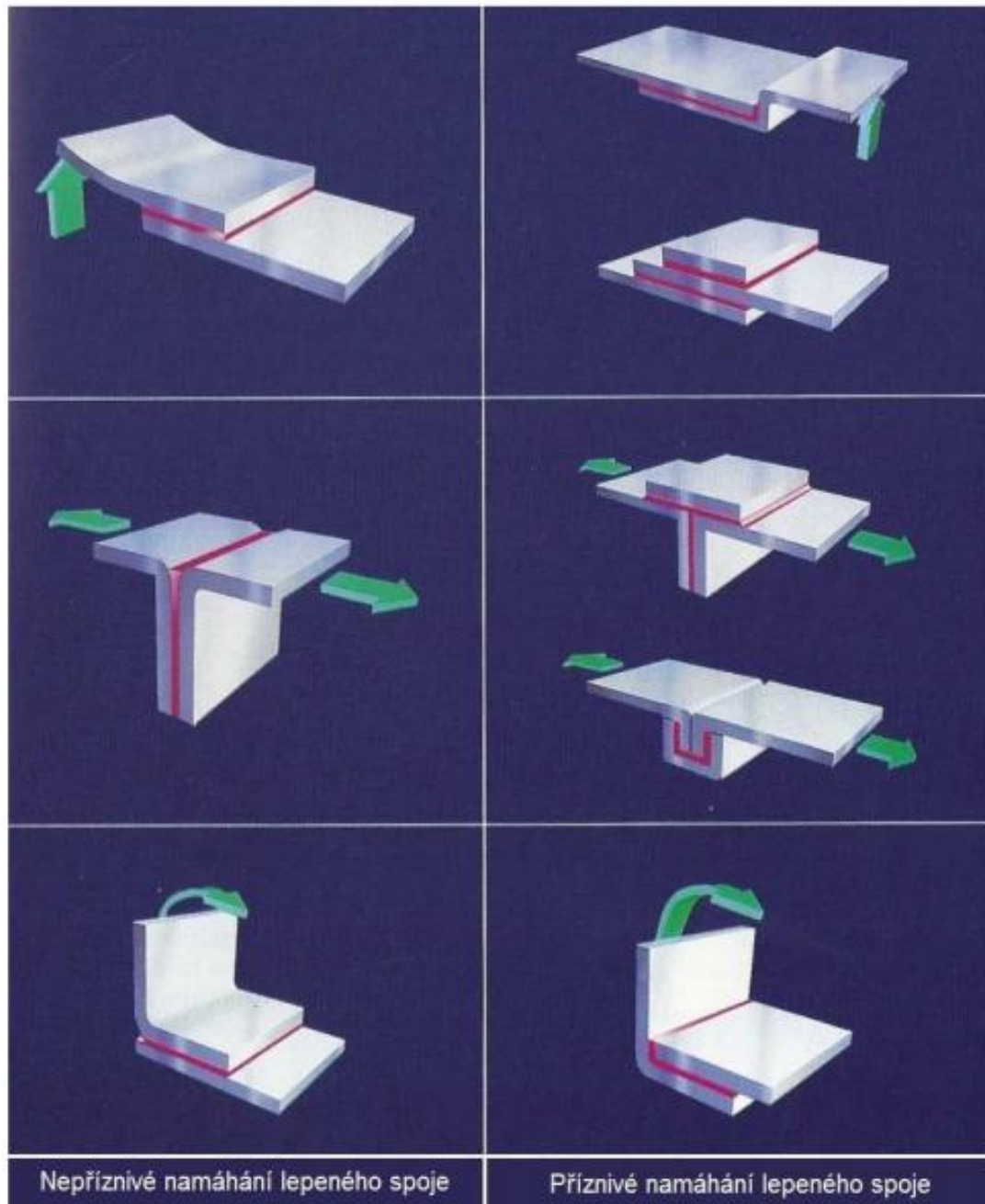
Lepný spoj musíme navrhnout a zkonstruovat tak, aby napětí ve spoji bylo rozloženo co nejrovnoměrněji. Křivky rozložení napětí (Obr. 13) nám znázorňují, že pro spoj je nejvíce nevyhovující namáhání loupáním a štěpením. Naopak namáhání tlakem, tahem nebo smykem, působí na lepený spoj příznivě. [5]



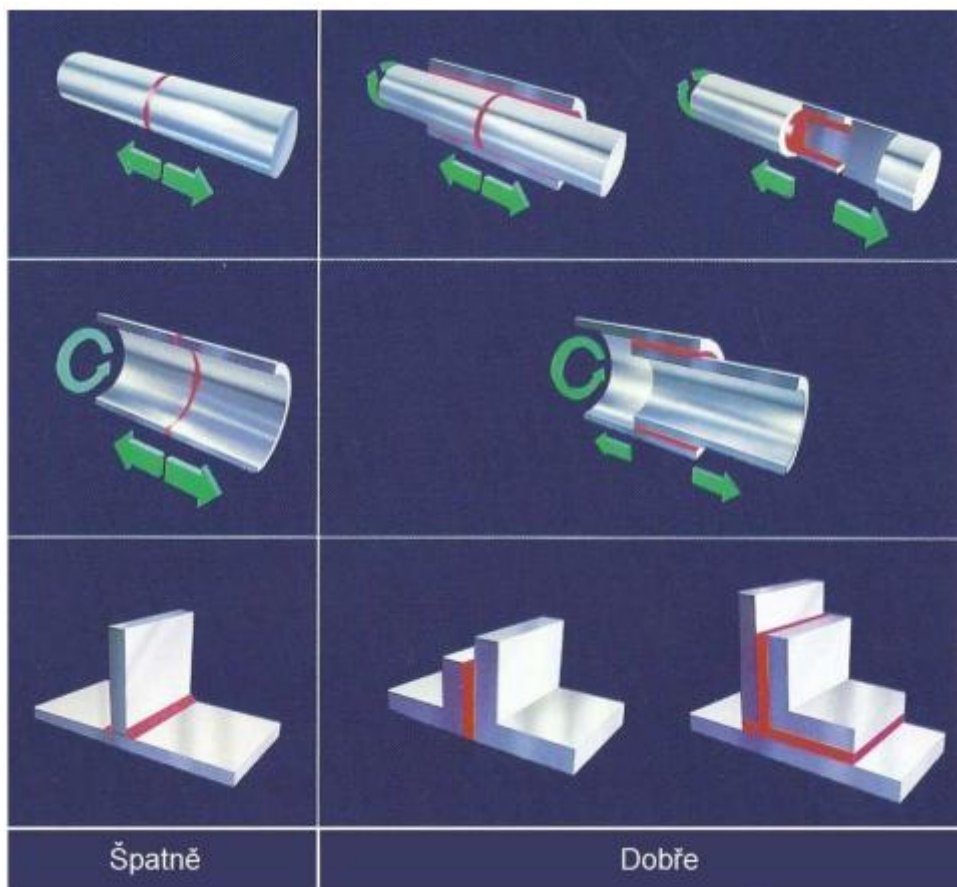
Obr. 13. Mechanické namáhání lepených spojů. [5]

Změnou konstrukce lepeného spoje můžeme zajistit, že lepený spoj nebude namáhán loupáním ani štěpením, ale bude namáhán příznivějšími způsoby (Obr. 14). [5]

Dále lze zvýšit pevnost lepeného spoje tak, že zvětšíme jeho lepené plochy. Při malé lepené ploše často vzniká příliš velké namáhání loupáním nebo štěpením. Velká lepená plocha zajišťuje větší tuhost lepené sestavy, a tím i její pevnost. Tyto varianty zlepšení jsou uvedeny na (Obr. 15). [5]



Obr. 14. Příznivé a nepříznivé konstrukce lepeného spoje. [5]



Obr. 15. Příznivá a méně příznivá zatížení lepených sestav. [5]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem bakalářské práce bylo porovnat pevnost lepených spojů v závislosti na způsobu povrchové úpravy zkušební vzorku. Část vzorků byla ozářena pomocí ionizačního beta záření a u části vzorků byl povrch ošetřen aktivátorem Primer. Pevnost zkušebních vzorků byla testována tahovou zkouškou jak za normální, tak i za zvýšené teploty.

Zásady pro vypracování bakalářské práce byly následující:

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

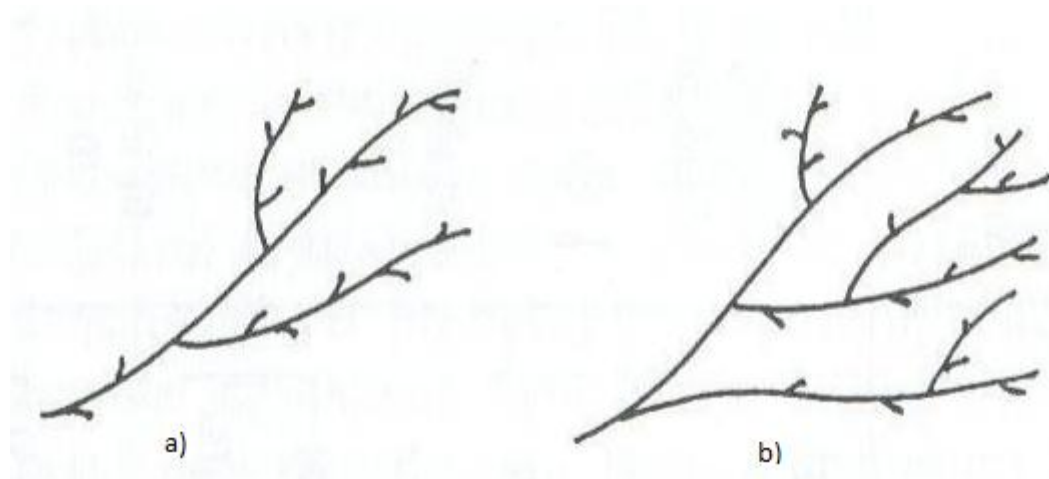
8 PŘÍPRAVA LEPENÉHO MATERIÁLU A DRUHY LEPIDEL

8.1 Lepený materiál – LDPE

Polyethylen patří mezi polyolefiny, které tvoří největší skupinu vyráběných syntetických polymerů, a to především díky levným petrochemickým surovinám a levnému zemnímu plynu a ropě, z nichž jsou monomery získávány. Základní strukturou polyethylenu je uhlovodíkový řetězec, který nese žádné substituenty. [7]

Nízkohustotní polyethylen je nejstarší typ polyethylenu. Je pevný, měkký a vzhledem k jeho vysoce rozvětvené struktuře je to ohebný druh polyethylenu. Typická hustota LDPE se pohybuje v rozmezí 915 až 935 kg/m³. Používá se pro pevné, poddajné předměty, jako jsou např. víka a podobné výrobky. Byl dlouho používán jako izolační materiál. V současnosti se nejvíce používá na výrobu fólií, dopravních pytlů, balícího materiálu a pro tenké zemědělské příkrývky. [8]

Polyethylen s nízkou hustotou se vyrábí radikálovou polymerací při vysokých teplotách a extrémně vysokých tlacích. Postup výroby byl objeven v roce 1933 firmou ICI a samotná výroba byla zahájena v roce 1938. Dnes se využívají dva postupy výroby LDPE, a to polymerace v trubkových reaktorech a polymerace v autoklávech. [7]



Obr. 16. Struktura makromolekul LDPE (a - trubkový reaktor, b – autokláv). [7]

8.2 Druhy použitých lepidel

Pro spojení byla použita kyanoakrylátová lepidla (Cyberbond 2008, Cyberbond 5008), dvousložkové epoxidové lepidlo Cyberbond E705 a dvousložková methakrylátová lepidla (Cyberbond A806, Plexus MA310).

8.2.1 Cyberbond 2008

Kyanoakrylátové sekundové lepidlo Cyberbond 2008 je vhodné zejména pro lepení plastů a hladkých, neporézních pryží. Vytváří extrémně rychlé spoje, které nepodléhají stárnutí. [9]

Tab. 6. Vlastnosti lepidla Cyberbond 2008. [9]

Cyberbond 2008	
Základní monomer	etyléster
Vzhled	bezbarvé/čiré
Viskozita (při 20 °C)	12 – 18 mPa*s
Hustota (při 20 °C)	1,06 g/cm ³
Bod vzplanutí	85 °C
Manipulační pevnost (kov)	18 – 28 sekund
Manipulační pevnost (plast)	2 – 4 sekundy
Manipulační pevnost (guma)	1 – 3 sekundy

8.2.2 Cyberbond 5008

Kyanoakrylátové lepidlo, které je vhodné pro lepení plastů a pro aplikace, kde nesmí být kolem spoje viditelná oblast kondenzace výparů (tzv. blooming), což je viditelné zbělení nebo zešednutí okolí lepeného spoje. Má nízkou úroveň zápachu a je odolné vůči vnějším vlivům. Díky svému chemickému složení nedosahuje pevnostních parametrů jako lepidla na bázi ethylesterů. [9]

Tab. 7. Vlastnosti lepidla Cyberbond 5008. [9]

Cyberbond 5008	
Základní monomer	alkoxyester
Vzhled	bezbarvé/čiré
Viskozita (při 25 °C)	45 – 80 mPa*s
Hustota (při 20 °C)	1,07 g/cm ³
Bod vzplanutí	112 °C
Manipulační pevnost (kov)	35 – 70 sekund
Manipulační pevnost (plast)	14 – 17 sekund
Manipulační pevnost (guma)	4 – 7 sekund



Obr. 17. Použitá kyanoakrylátová lepidla.

8.2.3 Cyberbond E705

Cyberbond E705 je dvousložkové, epoxidové lepidlo, které je vhodné pro lepení plastů, kovů, skla, keramiky, dřeva a některých gum. Vytvrzený tmel lze mechanicky opracovat, brousit, vrtat, soustružit či frézovat. [9]

Tab. 8. Vlastnosti lepidla Cyberbond E705. [9]

Cyberbond E705	
Základ lepidla	epoxid
Barva po míšení	slámově žlutá
Hustota	1,2 g/cm ³
Doba zpracovatelnosti	5 – 8 minut
Poměr míšení	1:1
Funkční po	15 minutách
Konečné vytvrzení po	3 – 6 hodinách

8.2.4 Cyberbond A806

Methakrylátové, dvousložkové lepidlo Cyberbond A806 je vhodné pro rychlé a pevné spojení tvarově stabilních dílů a velkoplošných dílů. Je zvláště vhodné k trvalému lepení rozdílných plastů, ale i kovů.

Tab. 9. Vlastnosti lepidla Cyberbond A806. [9]

Cyberbond A806	
Barva po míšení	Mléčná, bílá
Teplotní rozsah použití	-40 do +120 °C
Doba zpracovatelnosti	10 – 20 minut
Poměr míšení	1:1
Funkční po	30 minutách
Konečné vytvrzení po	24 hodinách



Obr. 18. Dávkovací pistole pro lepidlo Cyberbond A806.

8.2.5 Plexus MA310

Plexus MA310 je dvousložkové methakrylátové lepidlo, vhodné pro lepení termoplastů, kovů a kompozitních materiálů. Kombinuje vysokou pevnost a tuhost se schopností přilnout k obtížně lepitelným materiálům. [10]

Tab. 10. Vlastnosti lepidla Plexus MA310. [10]

Plexus MA310	
Barva adhesiva	krémově bílá
Barva aktivátoru	žlutá
Doba zpracovatelnosti	15– 18 minut
Poměr míšení	1:1
Doba fixace	30 - 35 minut
Provozní teplota	-55 do 121 °C

9 VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLÍSEK

Zkušební vzorky, spolu s obdélníkovými pásky pro přeplátování, byly vyrobeny v univerzitní dílně na vstřikovacím stroji ARBURG ALLROUNDER 420C Advance. Tvar a rozměr vzorků jsou shodné s normou ČSN EN ISO 527-2.



Obr. 19. Vystříknutý zkušební vzorek s obdélníkovým páskem pro přeplátování.

9.1 Vstřikovací stroj ARBURG ALLROUNDER 420C Advance

Nabídka modulárních produktů začíná základními hydraulickými modely, pokračuje přes hybridní systémy vysoce výkonných strojů a končí velmi přesnými elektrickými a ergonomickými vertikálními stroji. [11]

U strojů ALLROUNDER C spojuje firma ARBURG nejosvědčenější techniku strojů s 32-bitovým multiprocessorovým 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]



Obr. 20. Vstřikovací stroj Arburg ALLROUNDER 420C Advance. [12]

Tab. 11. 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

10 ÚPRAVA POVRCHU ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ

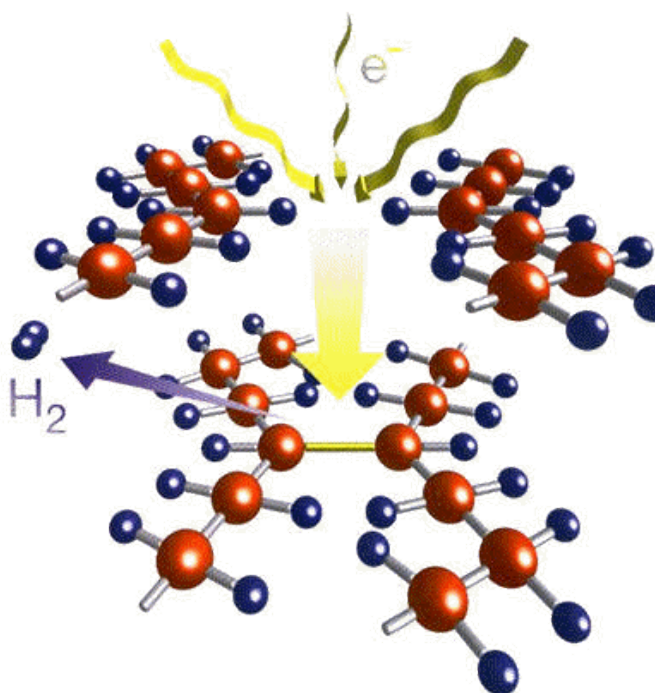
Lepení LDPE a celkově polyolefinů bez předešlé úpravy povrchu dává spoji jen velmi malou pevnost. Z tohoto důvodu byly některé vzorky ošetřeny primerem a ionizačním beta zářením.

10.1 Radiační síťování

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. [11]

Radiačním síťováním jsou měněny a zlepšovány vlastnosti polymerů, 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. [12]

Výhodou tohoto procesu je, že se ozařují už hotové výrobky, které se nemusí nijak zvlášť připravovat, ale ozařují se zabalené, tak jak jsou posílány od zákazníka. Stupeň zesíťování lze změnit pomocí stínících přípravků, pomocí kterých dosáhneme v různých částech výrobku rozdílných vlastností. [13]



Obr. 21. Radiační síťování. [14]

Absorbovaná dávka ozáření je měřena v jednotkách Gray (Gy).

1 Gy = 1 Joule/kg

10 kGy = 1 Mrad

K ozáření zkušebních vzorků LDPE pro bakalářskou práci bylo využito beta záření pomocí toroidního elektronového urychlovače. Ozáření provedla německá firma BGS Beta-Gama-Service GmbH & Co. KG, která v tomto oboru působí více jak 25 let. Zkušební vzorky byly vystaveny dávkám záření 33, 66, 99, 132, 165 a 198 kGy.

Síťování pomocí beta záření

Síťování pomocí beta záření probíhá v zářiči s urychlovačem elektronů. Žhavicí katoda emituje elektrony, které jsou urychlovány v elektromagnetickém poli. Rychlost elektronů je pak závislá na střídavém napětí mezi žhavicí katodou a anodou.

Používá se vysoká intenzita dávky ozáření, ale pouze do omezené hloubky vniknutí, která je závislá na energii. Hloubka vniknutí se nastavuje volbou energie elektronů. Pro hospodárnost se využívá ozáření ze dvou stran. [15]

Používá se pro síťování většiny polymerních materiálů, protože potřebují vysoké dávky záření, které jsou v urychlovačích elektrony dodány během několika sekund. [16]

10.2 Aktivace povrchu pomocí primeru

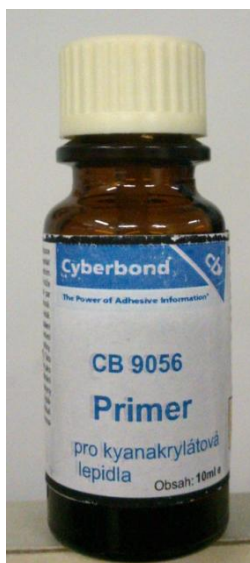
Primer se používá pro materiály, u kterých je problém s dosažením dobré adhezní pevnosti lepených spojů a u materiálů, u kterých jsou potíže s dosažením přijatelné pevnosti v odlupování. Jeho funkce je zaměřena výhradně na adhezní složku lepeného spoje. [2]

Pro aktivaci povrchu testovaných vzorků byl použit *primer Cyberbond 9050*, který se nanášel na povrch štětečkem. Po odpaření bylo možné použít lepidlo.

Primer Cyberbond 9056, pro kyanoakrylátová lepidla, umožňuje spojovat nepolární plasty, jako je např. polyethylen (PE), polypropylen (PP), polyoxymethylen (POM), nebo moderní termoplastické elastomery (TPE). Mění povrchové napětí materiálu a tím zvyšuje pevnost lepeného spoje. [9]

Tab. 12. Vlastnosti primeru Cyberbond 9056. [9]

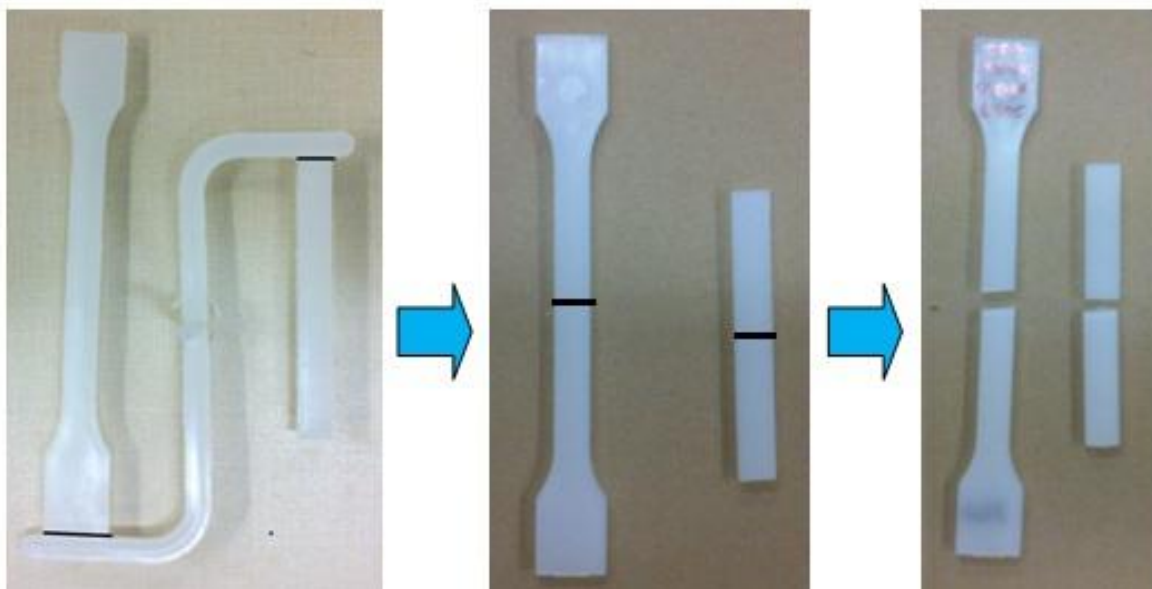
primer Cyberbond 9056	
Chemický základ	Heptan
Hustota (20 °C)	0,68 g/cm ³
Teplota vzplanutí	- 1 °C



Obr. 22. Primer.

11 PŘÍPRAVA A MĚŘENÍ ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ

Po vystříknutí byly zkušební vzorky zbaveny vtokového zbytku a následně rozstříženy ve své polovině pomocí nůžek.



Obr. 23. Příprava zkušebních vzorků.

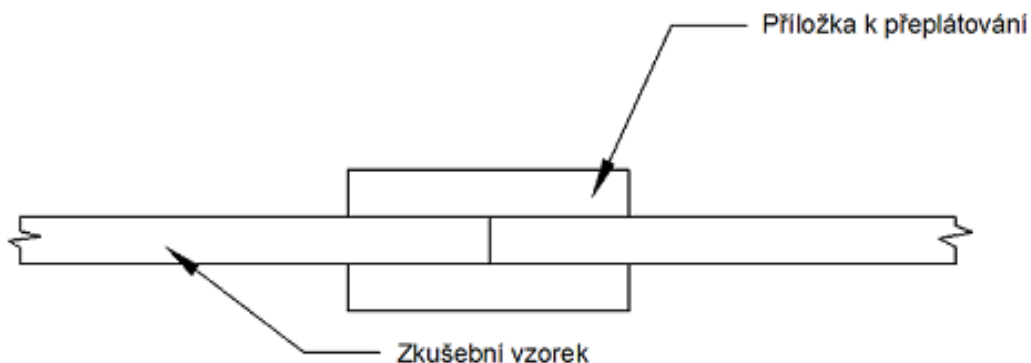
Kyanoakrylátová lepidla Cyberbond 2008 a 5008 bylo možné aplikovat na lepené plochy ihned po otevření lepidla. U dvousložkových methakrylátových lepidel Cyberbond A806 a Plexus MA310 bylo nutné k nanášení použít dávkovací pistoli. Na vyústění pistole byl našroubován statický mixér, pomocí kterého dochází k dokonalému promísení jednotlivých složek lepidla. Dvousložkové epoxidové lepidlo Cyberbond E705, bylo rovněž nutné před aplikací důkladně promíchat.



Obr. 24. Dávkovací pistole.

11.1 Konstrukce lepeného spoje a postup lepení

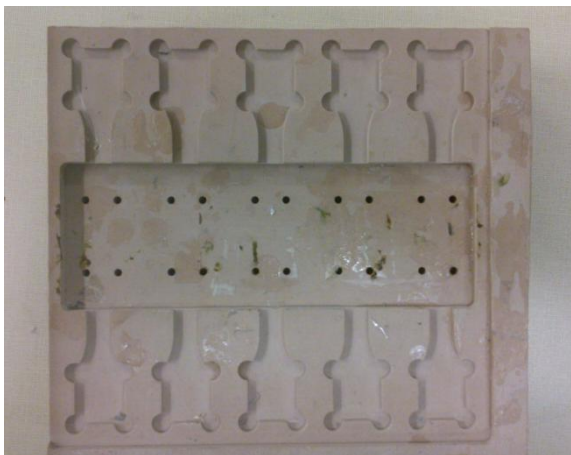
Pro lepení zkušebních tělísek byl zvolen čelní spoj se dvěma příložkami k přeplátování, protože spojované čelní plochy rozstříženého vzorku nebyly dostatečně velké.



Obr. 25. Konstrukce lepeného spoje.

Lepení bylo prováděno v dílnách Ústavu výrobního inženýrství za teploty okolí (23 °C). Pro zajištění polohy lepených vzorků bylo použito fixačních forem, které umožnily lepit pět dílů najednou. Tyto formy byly vyrobeny frézováním.

Nejprve se rozstřížená tělíska naskládala do první části formy a na příložky se nanoslo požadované množství lepidla, poté došlo ke spojení obou lepených povrchů. Po dosažení manipulační pevnosti spoje byly vzorky vyjmuty a vloženy do druhé části formy, ve které byla vyfrézovaná dutina, která vytvořila prostor pro příložku. Po přilepení druhé příložky a dostatečném vytvrzení byly vzorky odloženy na místo, kde byly ponechány až do úplného vytvrzení.



Obr. 26. Forma s dutinou pro příložku.



Obr. 27. Fixace zkušebních vzorků.



Obr. 28. Vytvrzování lepidla na manipulační pevnost.

11.2 Měření pevnosti lepených spojů

Pevnost lepeného spoje testovaných vzorků byla vyhodnocována tahovou zkouškou na trhacím stroji Zwick 1456, který je umístěn v laboratořích Ústavu výrobního inženýrství. Naměřené hodnoty byly vyhodnoceny softwarem Test Expert, který je součástí stroje. Měření pevností probíhalo jak za teploty okolí (23 °C), tak i za zvýšené teploty (60 °C). Při zkoušce za zvýšené teploty byla použita teplotní komora, která byla vyhřáta na požadovanou teplotu. Po vyhřátí teplotní komory na požadovanou teplotu byly testované vzorky prohřívány po dobu 20 minut.



Obr. 29. Trhací stroj Zwick 1456 a detail upnutí vzorku.

Tab. 13. Parametry trhacího stroje ZWICK 1456.

ZWICK 1456	
Maximální posuv příčnicku	800 mm/min
Snímače síly	2,5 a 20 kN
Teplotní komora	-80 až +250 °C
Prováděné zkoušky	Tah/Tlak/Ohyb

12 VÝSLEDKY TAHOVÉ ZKOUŠKY

Z tahové zkoušky jsme zjistili maximální zatěžující sílu F_p [N], kterou testovaný vzorek snesl. Z naměřených hodnot se stanovil aritmetický průměr a střední kvadratická chyba. Ze získaných hodnot byly následně sestaveny grafy.

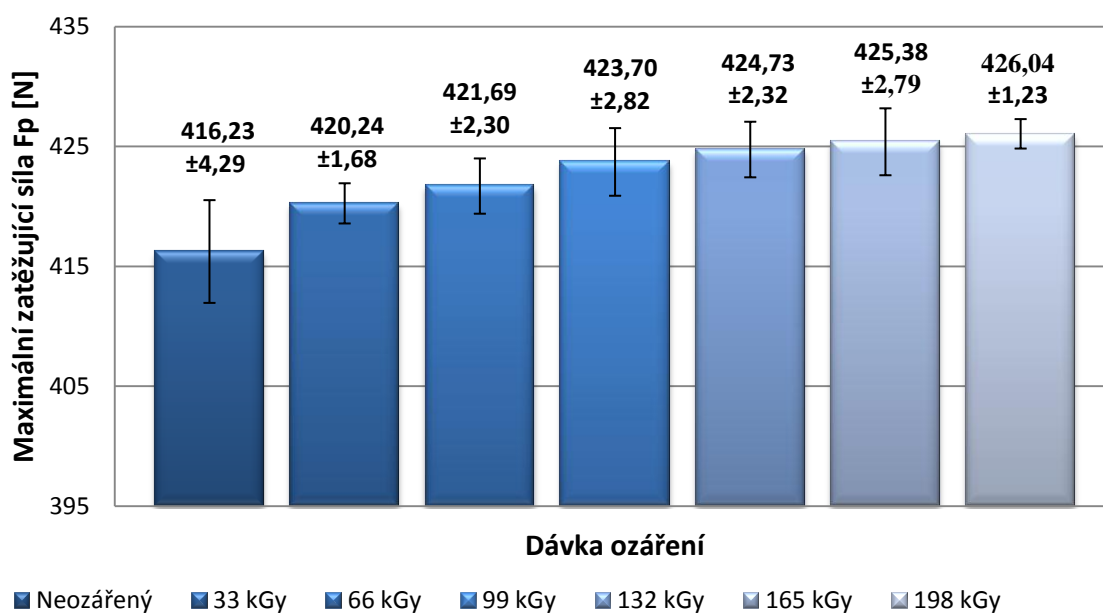
$$\text{Aritmetický průměr: } \bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

$$\text{Střední kvadratická chyba: } \delta = \frac{\sqrt{\frac{\sum x^2 - \frac{1}{n}(\sum x)^2}{n}}}{\sqrt{n}}$$

12.1 Vliv ozáření na nerozstřížený vzorek

Tab. 14. Vliv ionizačního beta záření na základní materiál.

č. měření	Dávka ozáření						
	Neozářený F_p [N]	33 kGy F_p [N]	66 kGy F_p [N]	99 kGy F_p [N]	132 kGy F_p [N]	165kGy F_p [N]	198 kGy F_p [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. 30. Znárodnění vlivu velikosti ozáření na základní materiál.

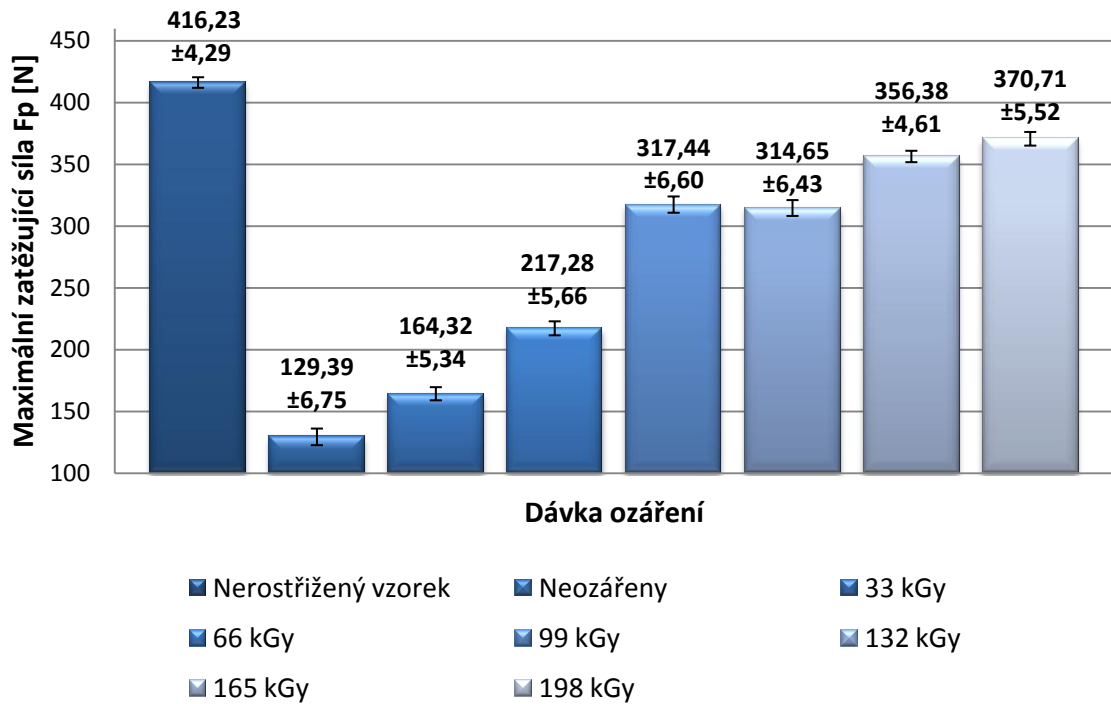
Z grafu vlivu velikosti ozáření na základní materiál je patrné, že s rostoucí dávkou ozáření roste pevnost zkoušeného vzorku. U vzorku ozářeného dávkou 198 kGy, vzrostla maximální zatěžující síla přibližně o 2 % oproti základnímu neozářenému materiálu (Obr. 30).

12.2 Zkoušky pevnosti za teploty 23 °C

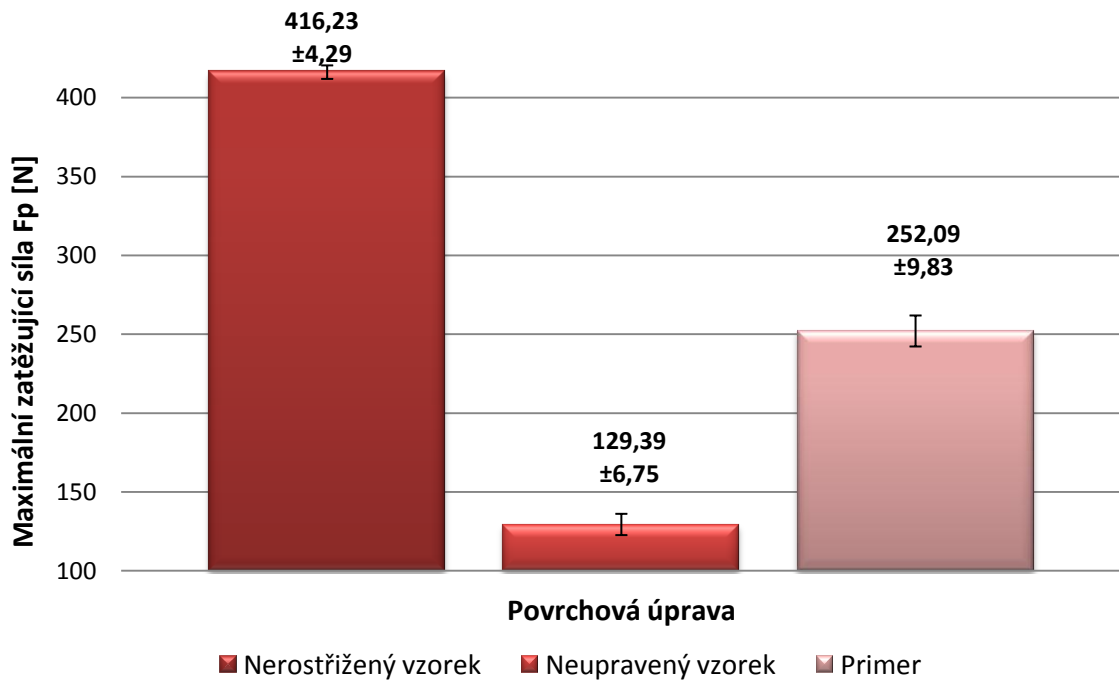
12.2.1 Pevnost lepeného spoje při použití lepidla CYBERBOND 2008

Tab. 15. Velikost maximální zatěžující síly při použití lepidla CYBERBOND 2008.

CYBERBOND 2008	Číslo měření					Vyhodnocení	
	1.	2.	3.	4.	5.	\bar{x}	$\pm\delta$
Základní vzorek	413,65	409,22	415,6	432,72	409,94	<u>416,23</u>	4,29
Neupravený vzorek	115,82	150,87	143,73	113,83	122,72	<u>129,39</u>	6,75
Ozáření 33 kGy	162,4	162,17	148,91	165,87	182,25	<u>164,32</u>	5,34
Ozáření 66 kGy	208,29	213,76	203,39	232,38	228,57	<u>217,28</u>	5,66
Ozáření 99 kGy	320,75	322,47	317,28	320,58	306,13	<u>317,44</u>	6,60
Ozáření 132 kGy	300,59	338,47	307,28	315,13	311,80	<u>314,65</u>	6,43
Ozáření 165 kGy	362,99	367,52	340,47	354,48	356,43	<u>356,38</u>	4,61
Ozáření 198 kGy	375,04	351,4	371,52	385,46	370,14	<u>370,71</u>	5,52
Primer	272,01	241,84	278,14	241,74	226,72	<u>252,09</u>	9,83



Obr. 31. Vliv ozáření na pevnost spoje při použití lepidla CYBERBOND 2008.



Obr. 32. Vliv primeru na lepený spoj vytvořený lepidlem CYBERBOND 2008.

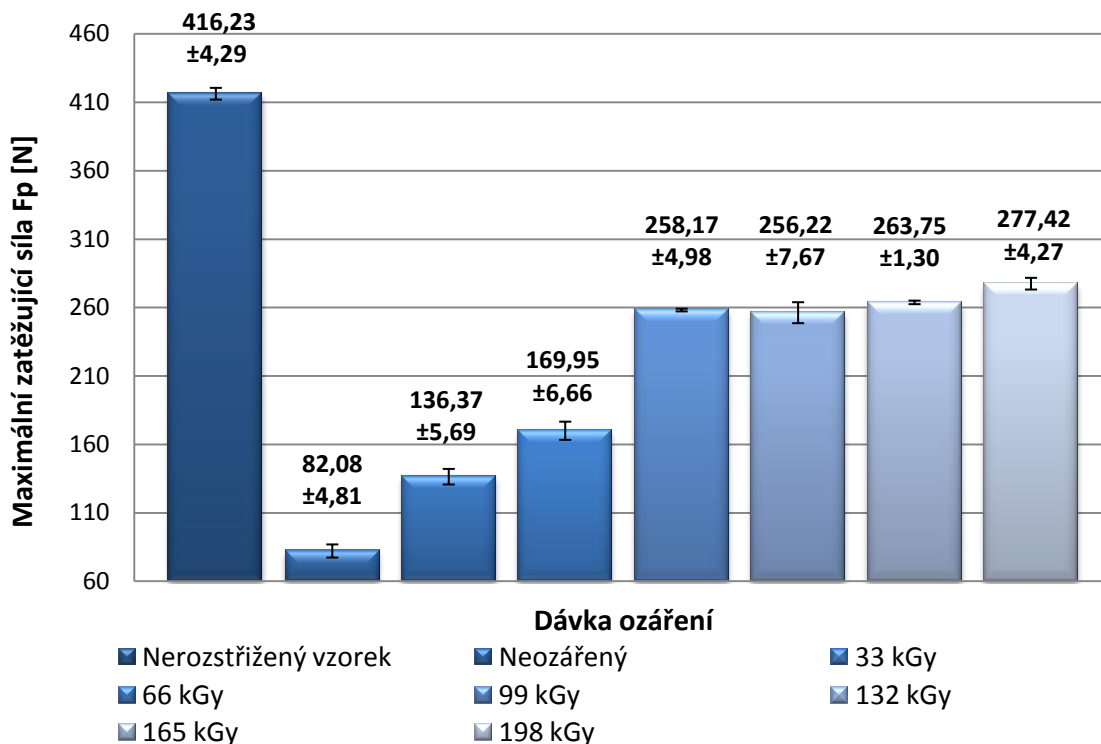
Lepený spoj vytvořený pomocí kyanoakrylátového lepidla CYBERBOND 2008 měl nejvyšší pevnosti při ozáření dávkou 198 kGy. Pevnost tohoto spoje byla nejvyšší ze všech provedených měření, maximální zatěžující síla se rovnala $F_p = 370,71$ N, což je 90 % pevnosti základního nerozstřiženého vzorku. U neozařeného vzorku byla maximální zatěžující síla $F_p = 129,39$ N, což je 31 % pevnosti základního vzorku. Při aktivaci povrchu primerem dosáhla maximální zatěžující síla hodnoty $F_p = 252,09$ N, což je přibližně 61 % pevnosti základního vzorku (Obr. 31, Obr. 32).

12.2.2 Pevnost lepeného spoje při použití lepidla CYBERBOND 5008

Tab. 16. Výsledky tahové zkoušky při použití lepidla CYBERBOND 5008.

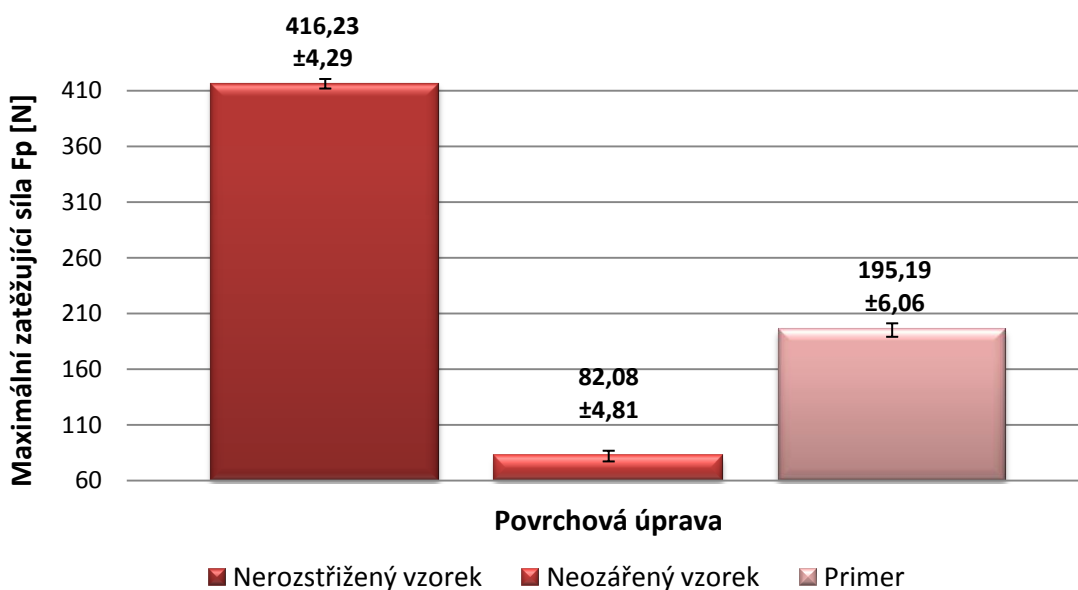
CYBERBOND 5008	Číslo měření					Vyhodnocení	
	1.	2.	3.	4.	5.	\bar{x}	$\pm\delta$
Povrchová úprava							
Základní vzorek	413,65	409,22	415,6	432,72	409,94	<u>416,23</u>	4,29
Neupravený vzorek	74,62	89,55	69,64	96	80,59	<u>82,08</u>	4,81
Ozáření 33 kGy	141,11	126,9	123,06	135,49	155,29	<u>136,37</u>	5,69
Ozáření 66 kGy	169,42	164,65	186,65	148,39	180,65	<u>169,95</u>	6,66
Ozáření 99 kGy	258,06	245,83	270,71	267,78	248,46	<u>258,17</u>	4,98
Ozáření 132 kGy	243,58	256,65	266,3	235,94	278,64	<u>256,22</u>	7,67
Ozáření 165 kGy	259,23	264,51	263,35	264,38	267,27	<u>263,75</u>	1,30
Ozáření 198 kGy	283,79	273,6	263,07	279,21	287,45	<u>277,42</u>	4,27
Primer	180,38	181,3	201,58	210,35	202,32	<u>195,19</u>	6,06

Při zkoušení vlivu ozáření na spoj lepený lepidlem CYBERBOND 5008 je patrné, že nejvyšší pevnost mají zkušební vzorky, které byly ozářeny dávkou 198 kGy. Takto upravený spoj snesl maximální zatěžující sílu $F_p = 277,42$ N. Spoj tedy dosáhl téměř 67 % pevnosti základního nerozstřiženého vzorku. Rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou maximální zatěžující síly u spojů upravených radiačním sítováním činí 70 %. Nejnižší pevnost byla u vzorků ozářených dávkou 33 kGy, $F_p = 136,37$ N, které dosáhly pouze 32 % základního materiálu (Obr. 33).



Obr. 33. Vliv ozáření na pevnost spoje při použití lepidla CYBERBOND 5008.

Při aktivaci povrchu primerem bylo zjištěno zlepšení oproti základnímu nerozstřiženému vzorku. Takto upravený spoj dosáhl pevnosti $F_p = 195,19 \text{ N}$, to je 47 % pevnosti základního nerozstřiženého vzorku. Nejnižší pevnosti dosáhl neupravený spoj, který dosáhl $F_p = 82,08 \text{ N}$, což je pouze 20 % pevnosti základního materiálu. (Obr. 34)

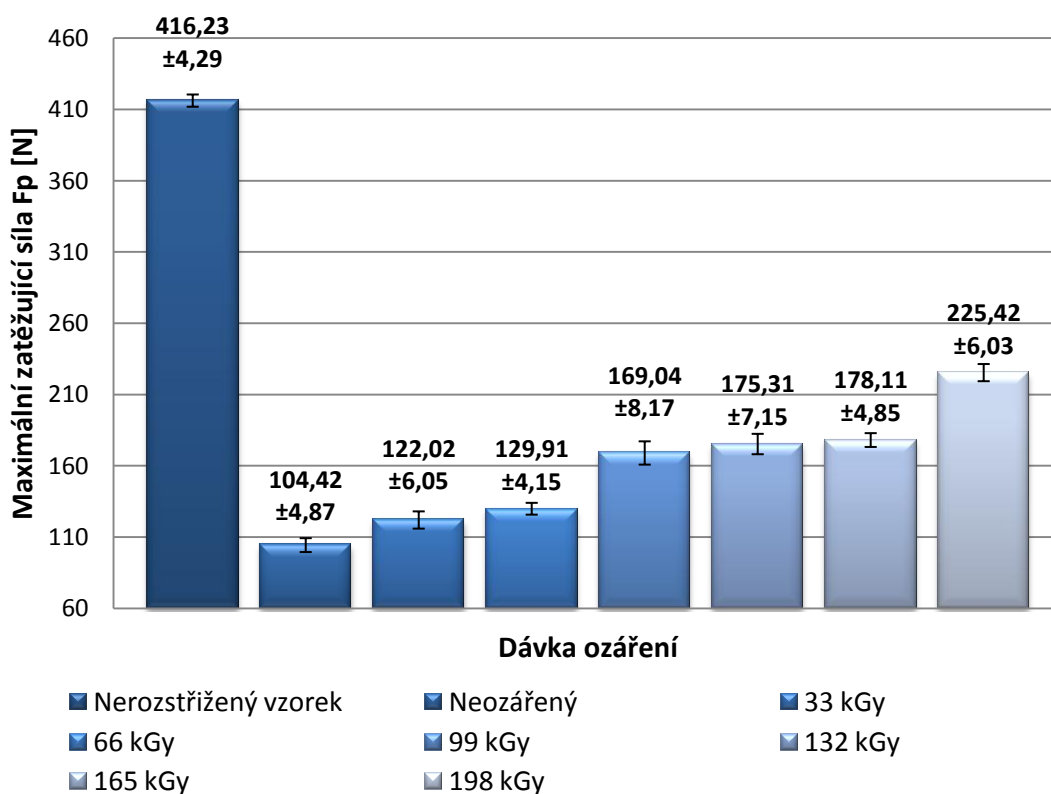


Obr. 34. Vliv primeru na lepený spoj vytvořený lepidlem CYBERBOND 5008.

12.2.3 Pevnost lepeného spoje při použití lepidla PLEXUS MA310

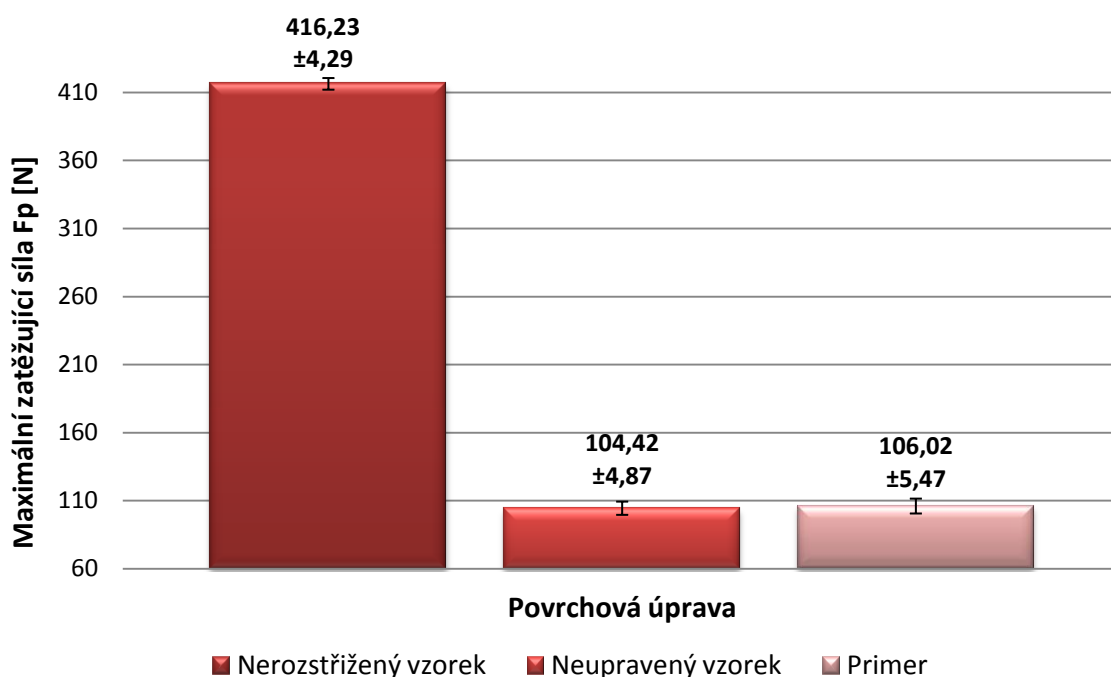
Tab. 17. Výsledky tahové zkoušky při použití lepidla PLEXUS MA310.

PLEXUS MA310	Číslo měření					Vyhodnocení	
	1.	2.	3.	4.	5.	\bar{x}	$\pm\delta$
Povrchová úprava							
Základní vzorek	413,65	409,22	415,6	432,72	409,94	<u>416,23</u>	4,29
Neupravený vzorek	114,32	98,92	116,99	91,2	100,67	<u>104,42</u>	4,87
Ozáření 33 kGy	108,83	126,46	119,09	112,67	143,06	<u>122,02</u>	6,05
Ozáření 66 kGy	127,87	118,5	134,86	125,53	142,79	<u>129,91</u>	4,15
Ozáření 99 kGy	160,41	169,74	169,3	148,07	197,66	<u>169,04</u>	8,17
Ozáření 132 kGy	172,97	180,82	154,55	198,28	169,92	<u>175,31</u>	7,15
Ozáření 165 kGy	172,13	187,37	176,81	164	190,25	<u>178,11</u>	4,85
Ozáření 198 kGy	210,15	223,44	245,89	218,11	229,49	<u>225,42</u>	6,03
Primer	99,84	101,42	101,04	99,95	127,87	<u>106,02</u>	5,47



Obr. 35. Vliv ozáření na pevnost spoje při použití lepidla PLEXUS MA310.

Zkušební vzorky z LDPE, které byly upraveny pomocí radiačního síťování a následně slepeny pomocí lepidla PLEXUS MA310, dosahovaly nejvyšší pevnosti $F_p = 225,42$ N, při ozáření dávkou 198 kGy, to je 54 % pevnosti nerozstříženého materiálu. Naopak nejnižší pevnost měl spoj, který byl ozářen dávkou 33 kGy a to $F_p = 122,02$ N, což je 29 % pevnosti základního vzorku. Neozářený vzorek dosahoval 25 % pevnosti základního materiálu. (Obr. 35)



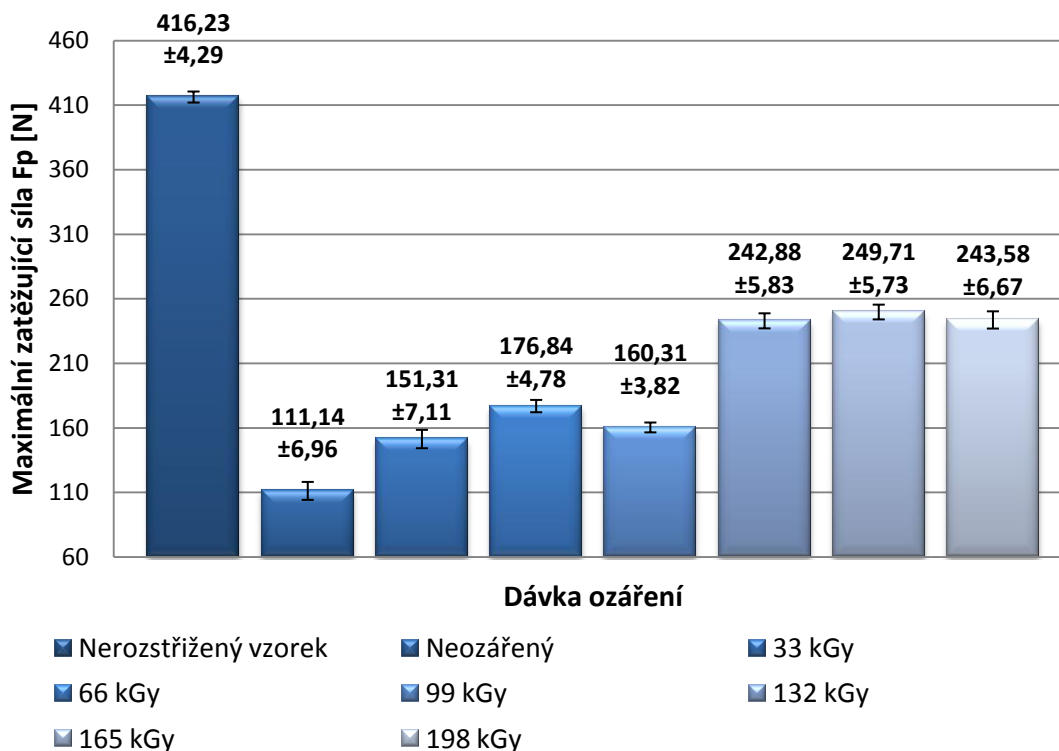
Obr. 36. Vliv primeru na lepený spoj vytvořený lepidlem PLEXUS MA310.

Při zkoušce lepených spojů spojených lepidlem PLEXUS MA310, u kterých byl povrch aktivován primerem, bylo zjištěno, že oproti neupravenému povrchu nedošlo k nějak výrazným změnám. Pevnost při aktivaci primerem byla pouze o 0,4 % vyšší než u neupraveného vzorku (Obr. 36). Výsledky ukazují, že primer Cyberbond 9056 nedosahuje u methakrylátových lepidel jako je PLEXUS MA310 takových výsledku, jako u předchozích kyanokrylátových lepidel, pro které je určen.

12.2.4 Pevnost lepeného spoje při použití lepidla CYBERBOND E705

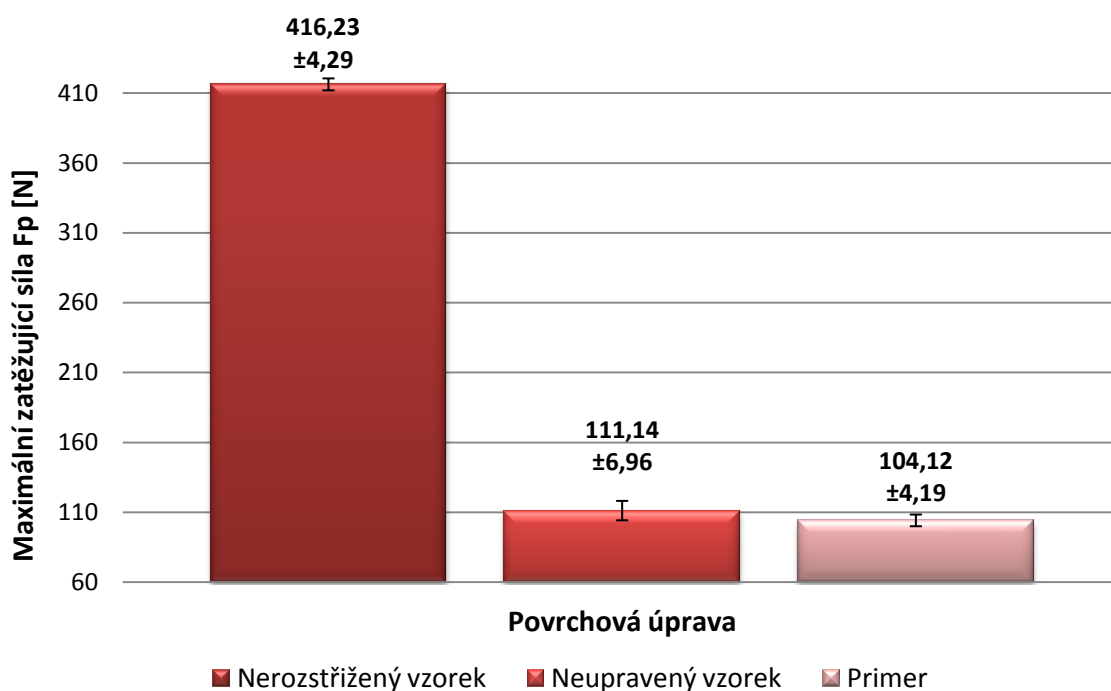
Tab. 18. Výsledky tahové zkoušky při použití lepidla CYBERBOND E705.

CYBERBOND E705	Číslo měření					Vyhodnocení	
	1.	2.	3.	4.	5.	\bar{x}	$\pm\delta$
Povrchová úprava							
Základní vzorek	413,65	409,22	415,6	432,72	409,94	<u>416,23</u>	4,29
Neupravený vzorek	116,67	135,11	108,13	99,44	96,35	<u>111,14</u>	6,96
Ozáření 33 kGy	145,49	150,66	176,62	150,79	133,01	<u>151,31</u>	7,11
Ozáření 66 kGy	187,73	165,07	182,1	165,62	183,68	<u>176,84</u>	4,78
Ozáření 99 kGy	149,25	170,91	155,43	166,07	159,89	<u>160,31</u>	3,82
Ozáření 132 kGy	236,25	266,09	236,09	236,57	239,41	<u>242,88</u>	5,83
Ozáření 165 kGy	255,01	234,73	240,46	250,85	267,5	<u>249,71</u>	5,73
Ozáření 198 kGy	251,82	229,79	255,09	225,07	256,11	<u>243,58</u>	6,67
Primer	96,56	101,13	102,71	120,38	99,84	<u>104,12</u>	4,19



Obr. 37. Vliv ozáření na pevnost spoje při použití lepidla CYBERBOND E705.

Při úpravě povrchu radiačním sítováním došlo k výraznějšímu zvýšení pevnosti při dávce záření 132 kGy. Dalším ozářením se pevnost lepeného spoje nijak výrazně neměnila. Vůbec nejvyšší maximální zatěžující sílu snesl vzorek, který byl ozářen dávkou 165 kGy a to sílu $F_p = 249,71$ N. Tato síla odpovídá 60 % pevnosti základního nerozstříženého vzorku. Nejnižší pevnost měl vzorek ozářený dávkou 33 kGy, ten snesl sílu $F_p = 151,31$ N, což je 36 % základního vzorku. Neupravený vzorek snesl zatěžující sílu $F_p = 111,14$ N, která odpovídá 27 % nerozstříženého vzorku. (Obr. 37)



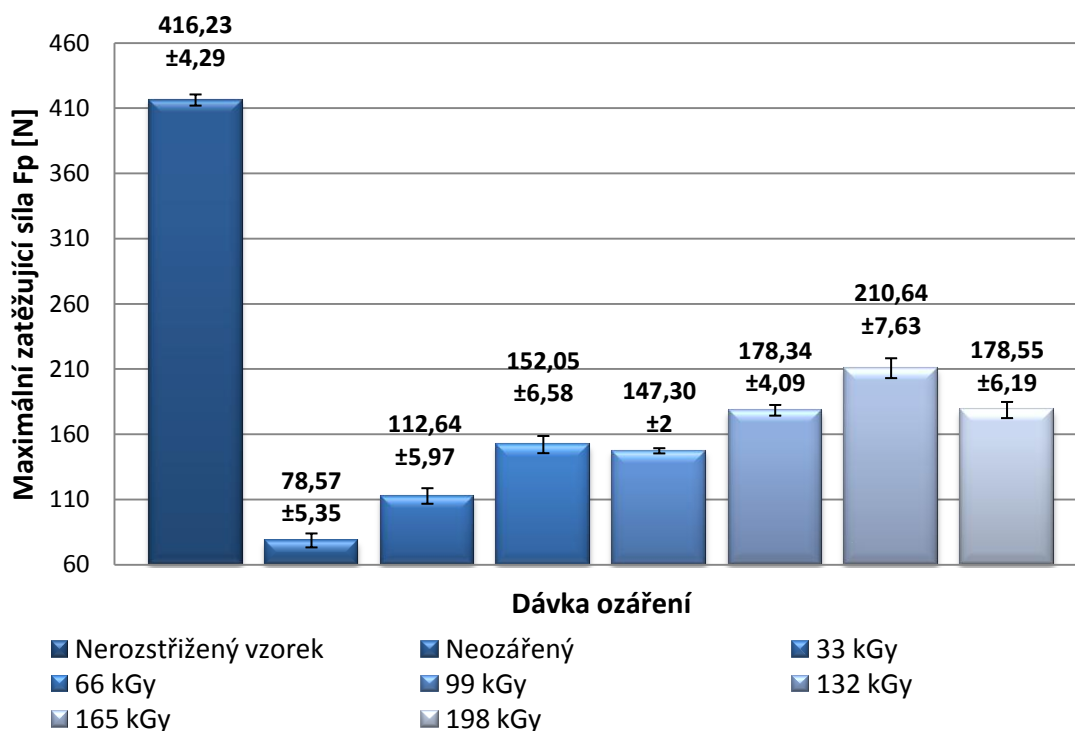
Obr. 38. Vliv primeru na lepený spoj vytvořený lepidlem CYBERBOND E705.

Z výsledků tahové zkoušky je patrné, že primer CYBERBOND 9056 není vhodný pro úpravu povrchu při lepení epoxidovým lepidlem CYBERBOND E705. Pevnost spoje byla nižší než u neupravených vzorků. Maximální zatěžující síla u vzorku upravených primerem byla $F_p = 104,12$ N, což je 25 % pevnosti nerozstříženého vzorku. Oproti neupravenému vzorku pevnost klesla o 2 %. (Obr. 38)

12.2.5 Pevnost lepeného spoje při použití lepidla CYBERBOND A806

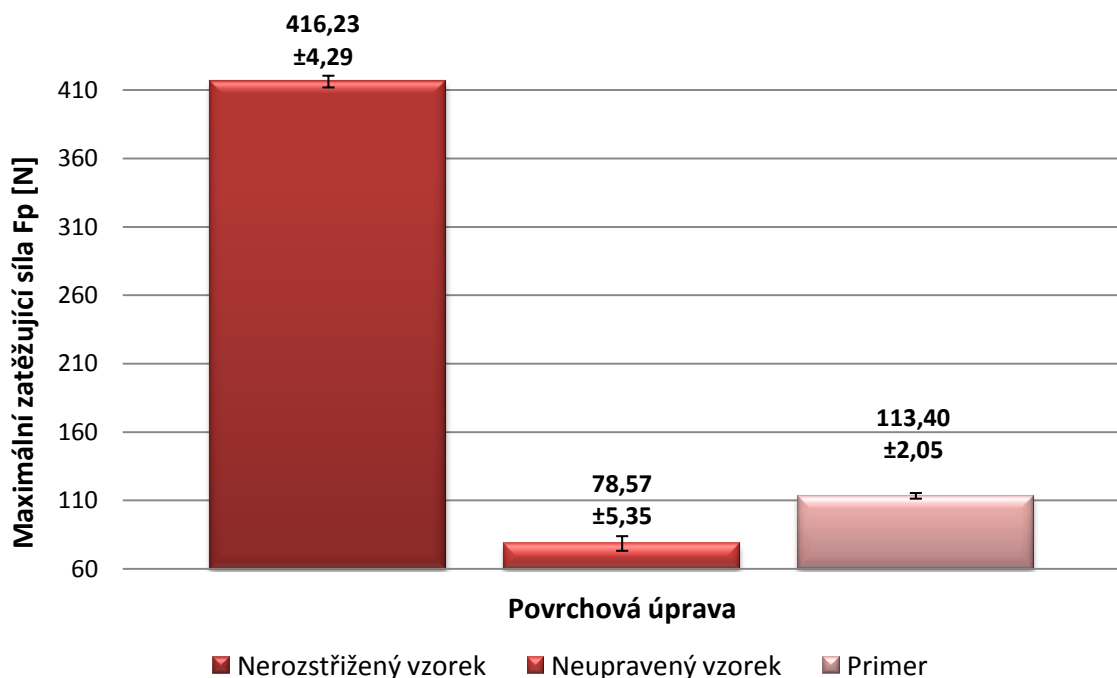
Tab. 19. Výsledky tahové zkoušky při použití lepidla CYBERBOND A806.

CYBERBOND A806	Číslo měření					Vyhodnocení	
	1.	2.	3.	4.	5.	\bar{x}	$\pm\delta$
Povrchová úprava							
Základní vzorek	413,65	409,22	415,6	432,72	409,94	<u>416,23</u>	4,29
Neupravený vzorek	80,25	69,51	92,94	63,74	86,43	<u>78,57</u>	5,35
Ozáření 33 kGy	106,96	106,22	130,1	122,61	97,31	<u>112,64</u>	5,97
Ozáření 66 kGy	137,37	165,52	137,62	168,23	151,53	<u>152,05</u>	6,58
Ozáření 99 kGy	142,75	143,92	145,7	151,61	152,5	<u>147,30</u>	2,00
Ozáření 132 kGy	172,72	187,31	176,67	167,05	187,96	<u>178,34</u>	4,09
Ozáření 165 kGy	211,52	223,24	194,59	192,64	231,19	<u>210,64</u>	7,63
Ozáření 198 kGy	198,5	183,05	164,66	166,23	180,31	<u>178,55</u>	6,19
Primer	111,49	114,44	106,48	118,15	116,43	<u>113,40</u>	2,05



Obr. 39. Vliv ozáření na pevnost spoje při použití lepidla CYBERBOND A806.

Při aktivaci povrchu radiačním zářením a následným slepením vzorků lepidlem CYBERBOND A806 dosáhly nejvyšší pevnosti vzorky, které byly ozářeny 165 kGy. Maximální zatěžující síla u těchto vzorků dosáhla hodnoty $F_p = 210,64$ N, což odpovídá 51 % pevnosti základního vzorku. Nejmenší pevnost měly vzorky ozářené dávkou 33 kGy, u těchto vzorků zatěžující síla dosáhla hodnoty 112,64 N, to je 27 % pevnosti nerozstříženého vzorku. Neozářený vzorek dosáhl pouze 18 % pevnosti základního vzorku, k porušení došlo při zatěžující síle $F_p = 78,57$ N (Obr. 39).



Obr. 40. Vliv primeru na lepený spoj vytvořený lepidlem CYBERBOND A806.

Vzorky, u nichž byl pro aktivaci použit primer, dosahovaly vyšších hodnot pevnosti než vzorky bez úpravy povrchu. Maximální zatěžující síla u vzorků s primerem dosáhla hodnoty $F_p = 113,4$ N, což je 27 % pevnosti základního vzorku. Oproti neupravenému vzorku se pevnost zvýšila o 9 % (Obr. 40).

12.3 Zkoušení za teploty 60 °C

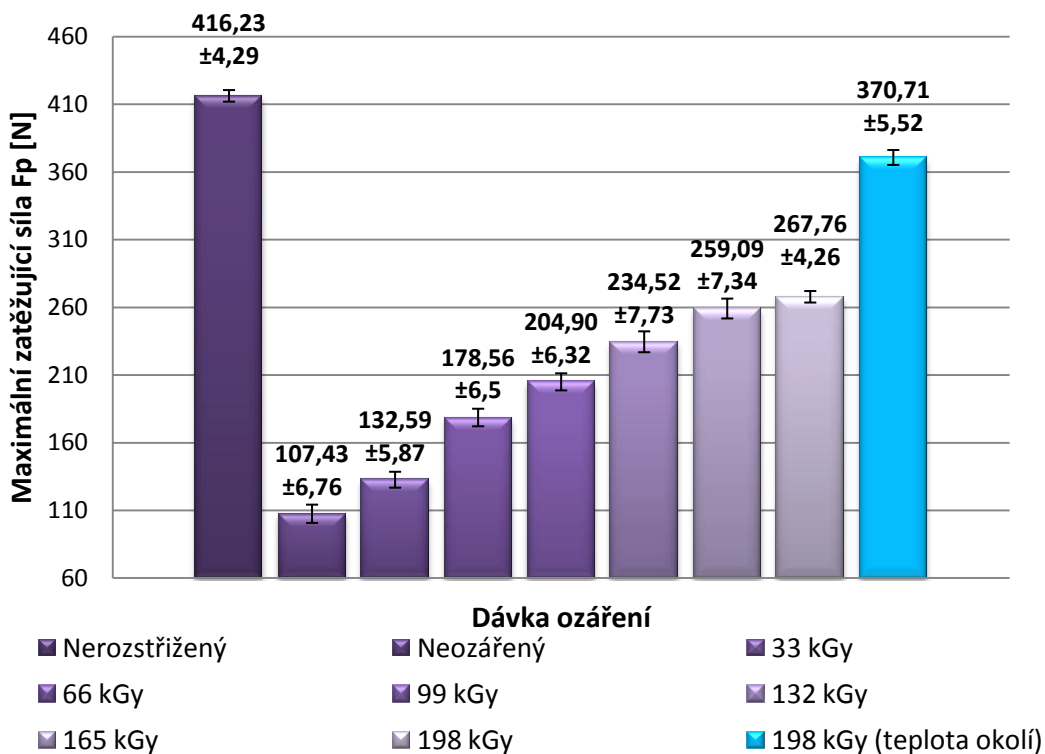
12.3.1 Pevnost lepeného spoje při použití lepidla CYBERBOND 2008

Tab. 20. Výsledky zkoušky za zvýšené teploty při použití lepidla CYBERBOND 2008.

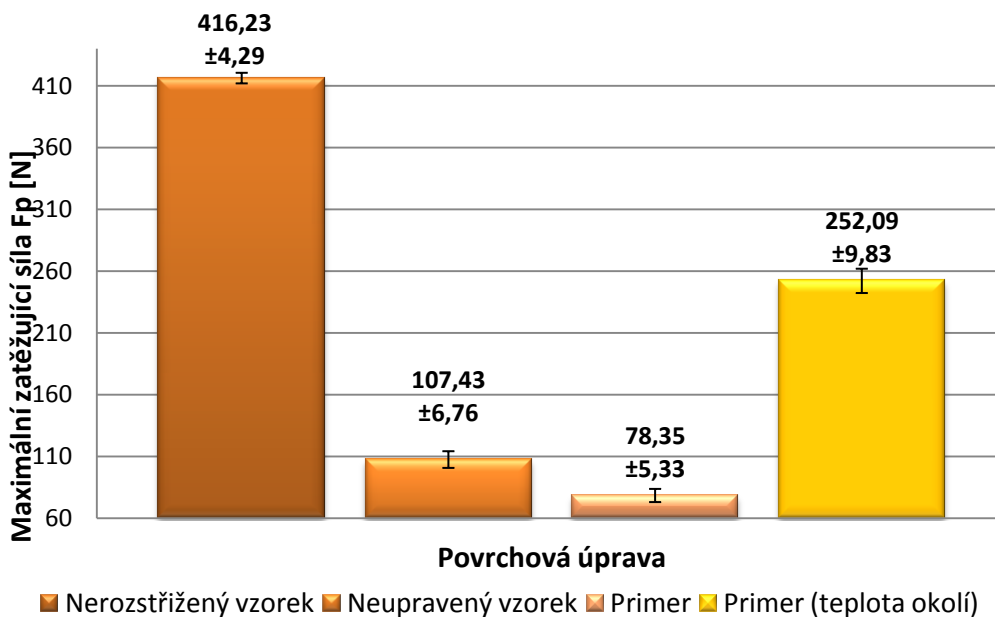
CYBERBOND 2008	Číslo měření					Vyhodnocení	
	1.	2.	3.	4.	5.	\bar{x}	$\pm\delta$
Povrchová úprava							
Základní vzorek	413,65	409,22	415,6	432,72	409,94	<u>416,23</u>	4,29
Neupravený vzorek	111,19	119,11	100,03	121,81	85,03	<u>107,43</u>	6,76
Ozáření 33 kGy	145,87	121,27	131,8	118,14	145,87	<u>132,59</u>	5,87
Ozáření 66 kGy	171,25	192,47	159,75	193,85	175,48	<u>178,56</u>	6,50
Ozáření 99 kGy	194,95	227,26	200,08	192,54	209,68	<u>204,90</u>	6,32
Ozáření 132 kGy	247,76	238,8	206,04	248,07	231,93	<u>234,52</u>	7,73
Ozáření 165 kGy	267,73	270,46	231,07	257,79	268,42	<u>259,09</u>	7,34
Ozáření 198 kGy	270,48	272,58	252,87	277,93	264,96	<u>267,76</u>	4,26
Primer	89,9	59,13	82,96	75,37	84,37	<u>78,35</u>	5,33

Z grafu závislosti ozáření na pevnost lepeného spoje (Obr. 41), který byl zkoušen za teploty 60 °C, je patrné, že pevnost spoje s rostoucí teplotou klesá. Při měření spoje za normální teploty bylo zjištěno, že nejvyšší pevnost má spoj ozářený dávkou 198 kGy, maximální zatěžující síla byla $F_p = 370,71$ N, což bylo 90 % pevnosti základního nerozstříženého materiálu. Zkušební vzorky testované za zvýšené teploty, dosáhly nejvyšší pevnosti rovněž při dávce 198 kGy. Spoj snesl maximální zatěžující sílu $F_p = 267,76$ N, tato hodnota odpovídá 64 % pevnosti základního vzorku a 72 % pevnosti vzorku, který byl ozářen dávkou 198 kGy a byl zkoušen za teploty okolí. Nejnižší pevnost v tahu měl vzorek ozářen dávkou 33 kGy, snesl zatěžující sílu $F_p = 132,59$ N, což je 32 % pevnosti základního vzorku.

U vzorků, které byly zkoušeny za zvýšené teploty, a jejich povrch byl aktivován pomocí primeru, bylo zjištěno, že pevnost spoje výrazně klesla. Spoj snesl maximální zatěžující sílu $F_p = 78,35$ N, což je 19 % pevnosti základního materiálu a 31 % pevnosti vzorku, který byl zkoušen za teploty okolí a rovněž upraven primerem (Obr. 42).



Obr. 41. Vliv ozáření na pevnost spoje při použití lepidla CYBERBOND 2008 u vzorků trhaných za vyšších teplot.

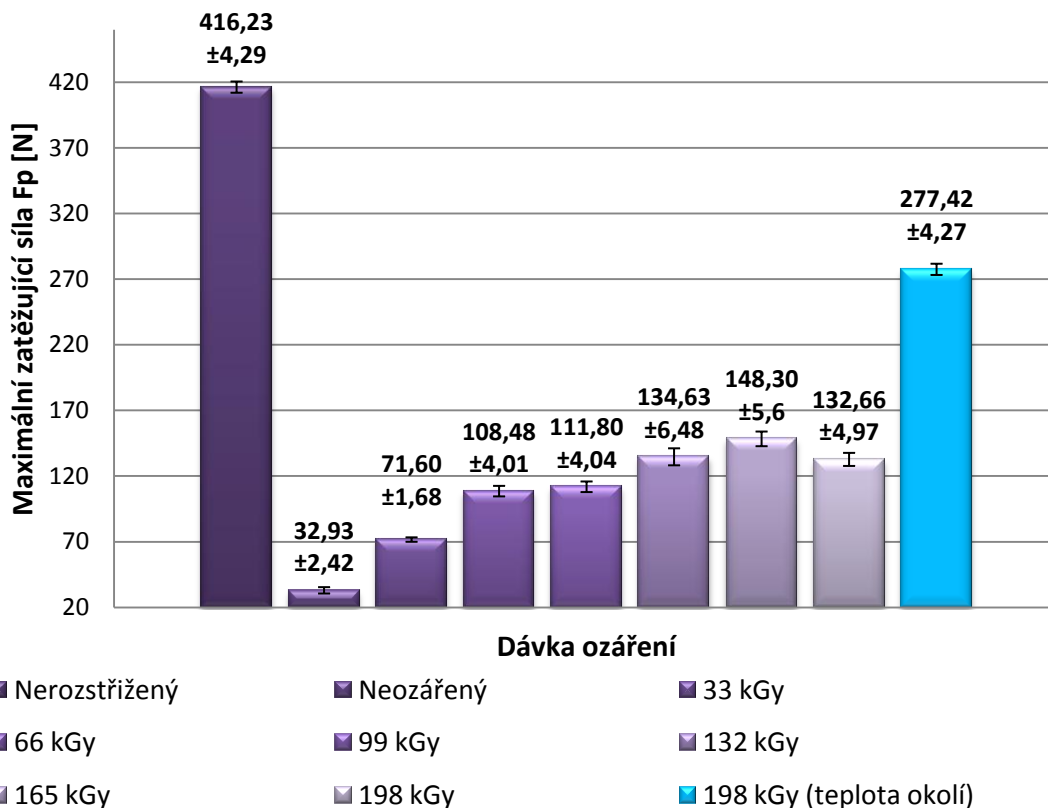


Obr. 42. Vliv primeru na lepený spoj vytvořený lepidlem CYBERBOND 2008 u vzorků trhaných za vyšší teploty.

12.3.2 Pevnost lepeného spoje při použití lepidla CYBERBOND 5008

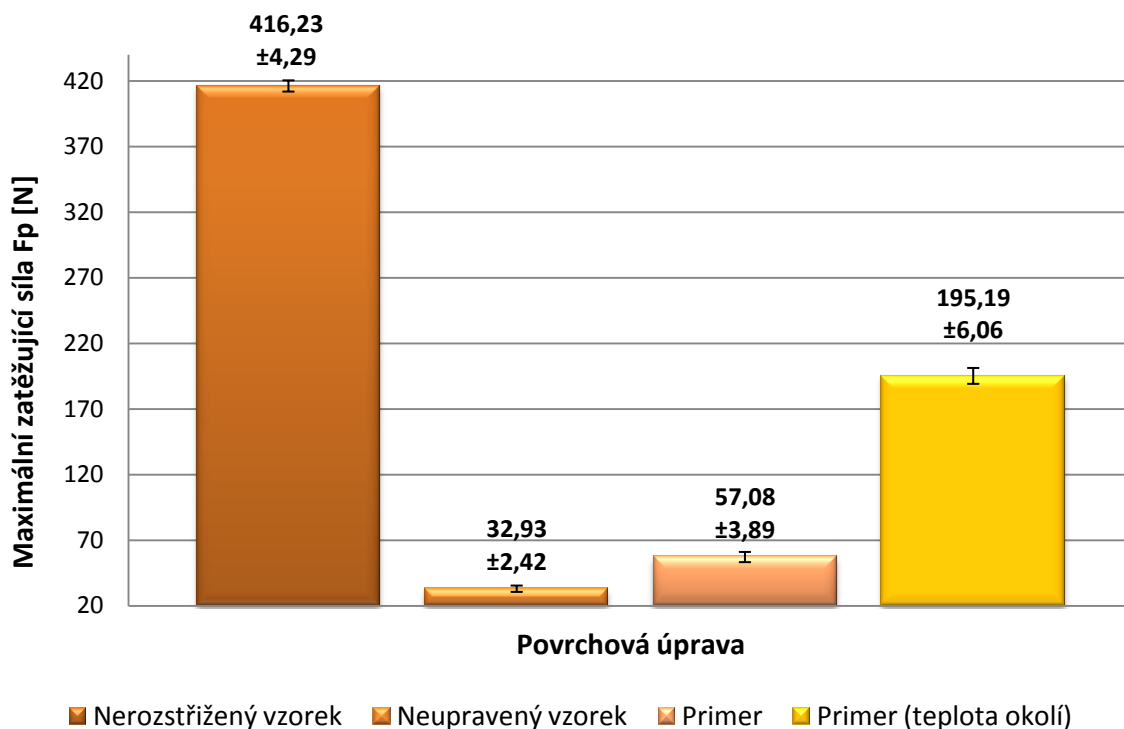
Tab. 21. Výsledky zkoušky za zvýšené teploty při použití lepidla CYBERBOND 5008.

CYBERBOND 5008	Číslo měření					Vyhodnocení	
	1.	2.	3.	4.	5.	\bar{x}	$\pm\delta$
Povrchová úprava							
Základní vzorek	413,65	409,22	415,6	432,72	409,94	<u>416,23</u>	4,29
Neupravený vzorek	40,07	32,86	25,83	30,12	35,78	<u>32,93</u>	2,42
Ozáření 33 kGy	74,25	73,32	67,83	67,28	75,31	<u>71,60</u>	1,68
Ozáření 66 kGy	97,3	119,28	115,3	102,7	107,81	<u>108,48</u>	4,01
Ozáření 99 kGy	120,17	110,29	121,03	108,19	99,33	<u>111,80</u>	4,04
Ozáření 132 kGy	138,75	123,75	151,22	143,49	115,92	<u>134,63</u>	6,48
Ozáření 165 kGy	146,69	142,22	131,47	161,88	159,22	<u>148,30</u>	5,60
Ozáření 198 kGy	121,54	147,86	121,88	135,11	136,89	<u>132,66</u>	4,97
Primer	64,08	45,16	55,59	66,96	53,62	<u>57,08</u>	3,89



Obr. 43. Vliv ozáření na pevnost spoje při použití lepidla CYBERBOND 5008 u vzorků trhaných za vyšších teplot.

Ozářené vzorky, které byly lepeny pomocí lepidla CYBERBOND 5008 a následně zkoušeny za zvýšené teploty, dosahovaly nejvyšší pevnosti při ozáření dávkou 165 kGy. K porušení došlo při zatěžující síle $F_p = 148,3 \text{ N}$, tato hodnota odpovídá 36 % pevnosti základního materiálu a 53 % pevnosti spojů, které byly zkoušeny za teploty okolí a ozářeny dávkou 198 kGy.



Obr. 44. Vliv primeru na lepený spoj vytvořený lepidlem CYBERBOND 5008 u vzorků trhaných za vyšší teploty.

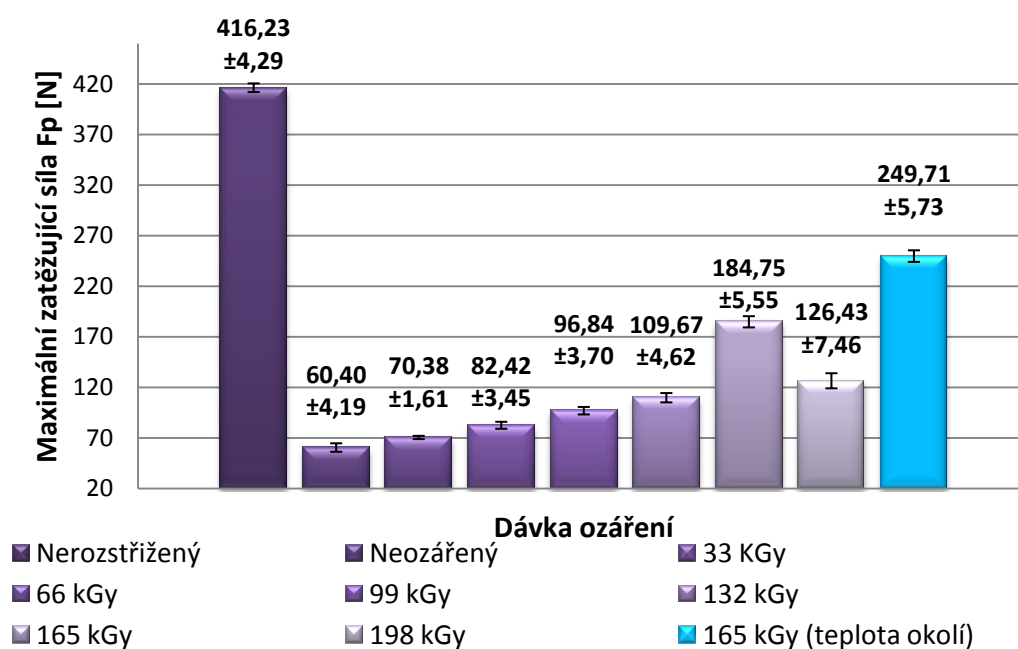
Při úpravě lepených ploch primerem a následném zkoušení za zvýšené teploty 60 °C, došlo ke snížení pevnosti oproti spojům, které byly zkoušeny za teploty okolí. Při zkoušení za zvýšené teploty, zkoušený vzorek snesl maximální zatěžující sílu $F_p = 57,08 \text{ N}$, to je 14 % pevnosti základního materiálu a 29 % pevnosti spoje, který byl upraven primerem a zkoušen za teploty okolí.

U neupraveného vzorku, který byl spojen pomocí lepidla CYBERBOND 5008 a následně testován za zvýšené teploty, byla zjištěna nejmenší pevnost spoje ze všech použitých lepidel. Vzorek snesl zatěžující sílu $F_p = 32,93 \text{ N}$ což je pouze 8 % základního vzorku.

12.3.3 Pevnost lepeného spoje při použití lepidla CYBERBOND E705

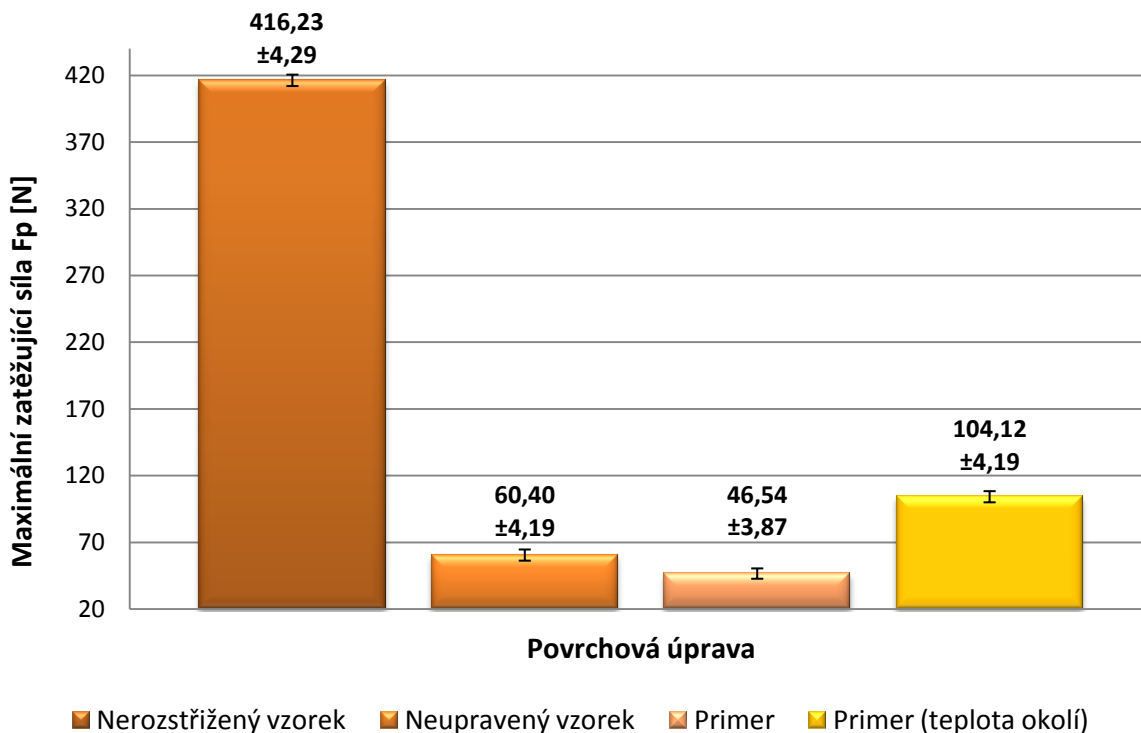
Tab. 22. Výsledky zkoušky za zvýšené teploty při použití lepidla CYBERBOND E705.

CYBERBOND E705	Číslo měření					Vyhodnocení	
	1.	2.	3.	4.	5.	\bar{x}	$\pm\delta$
Povrchová úprava							
Základní vzorek	413,65	409,22	415,6	432,72	409,94	<u>416,23</u>	4,29
Neupravený vzorek	46,29	55,73	64,76	69,37	65,87	<u>60,40</u>	4,19
Ozáření 33 kGy	68,64	66,31	68,92	75,36	72,65	<u>70,38</u>	1,61
Ozáření 66 kGy	72,04	84,28	87,41	77,25	91,11	<u>82,42</u>	3,45
Ozáření 99 kGy	88,46	108,68	90,35	95,49	101,22	<u>96,84</u>	3,70
Ozáření 132 kGy	124,92	104,22	103	115,7	100,5	<u>109,67</u>	4,62
Ozáření 165 kGy	192,73	183,63	170,59	175,66	201,15	<u>184,75</u>	5,55
Ozáření 198 kGy	105,38	137,53	113,66	129,83	145,73	<u>126,43</u>	7,46
Primer	48,28	36,4	43,47	44,55	59,99	<u>46,54</u>	3,87



Obr. 45. Vliv ozáření na pevnost spoje při použití lepidla CYBERBOND E705 u vzorků trhaných za vyšších teplot.

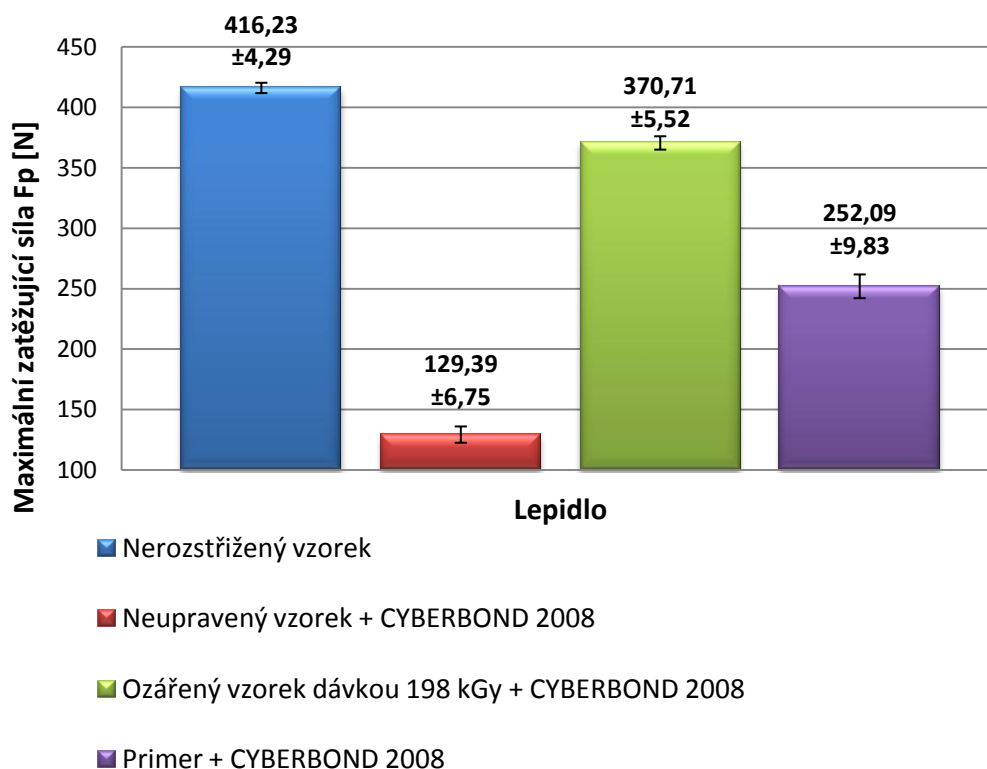
Vzorky, které byly před zkouškou ozářeny a zkoušeny za zvýšené teploty, dosáhly nejvyšší pevnosti při dávce 165 kGy, stejně jako vzorky zkoušené za teploty okolí. Ovšem maximální zatěžující síla, kterou vzorek snesl, klesla o 16 % na hodnotu $F_p = 184,75$ N, což je 44 % pevnosti základního vzorku. Nejnižší pevnost z ozářených vzorků měly ty, které byly ozářeny dávkou 33 kGy (Obr. 45).



Obr. 46. Vliv primeru na lepený spoj vytvořený lepidlem CYBERBOND 5008 u vzorků trhaných za vyšší teploty.

Vzorky zkoušené za vyšší teploty, u nichž byl povrch upraven primerem, dosáhla maximální zatěžující síla hodnoty $F_p = 46,54$ N, to je o 11 % méně než u neupraveného vzorku a o 14 % méně než u vzorků, které byly zkoušeny za teploty okolí a rovněž upraveny primerem (Obr. 46).

12.4 Nejlepší výsledky tahové zkoušky při teplotě 23 °C

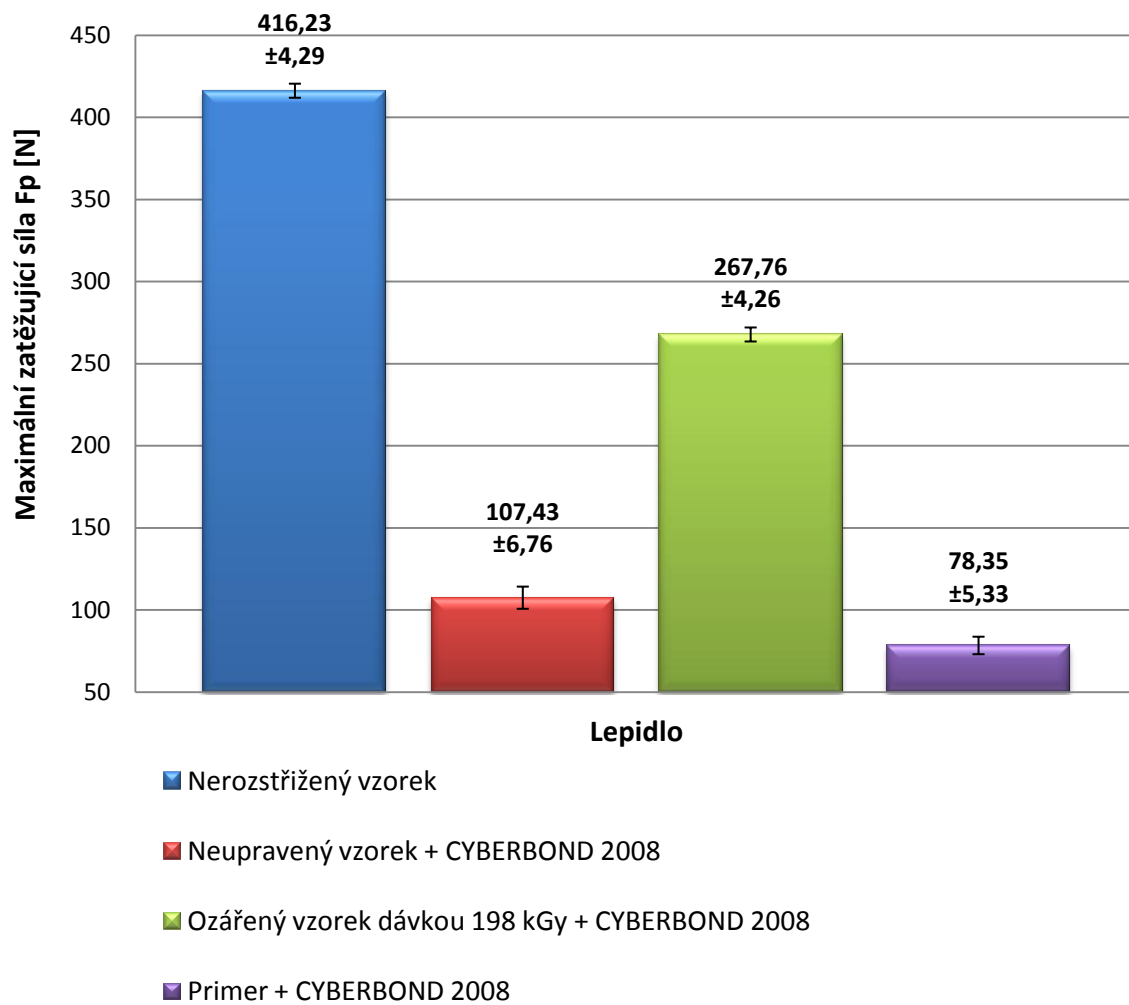


Obr. 47. Nejlepší výsledky zkoušky při teplotě 23 °C.

Nejvyšší pevnosti dosahovaly vzorky, které byly lepeny kyanoakrylátovým lepidlem CYBERBOND 2008. Vůbec nejvyšší pevnosti dosáhl vzorek ozářený dávkou 198 kGy. Pevnost spoje odpovídala 90 % pevnosti základního vzorku a oproti neupravenému vzorku vzrostla pevnost o 59 %. Při úpravě lepeného povrchu primerem vzrostla pevnost spoje o 30 % (Obr. 47).

12.5 Nejlepší výsledky tahové zkoušky při teplotě 60 °C

Při zkouškách za zvýšené teploty byla nejvyšší pevnost rovněž při použití lepidla CYBERBOND 2008. U vzorků bez úpravy povrchu dosáhla pevnost 26 % pevnosti základního vzorku. Při ozáření dávkou 198 kGy odpovídala pevnost spoje 64 % pevnosti základního materiálu, to je o 26 % méně než při zkoušení za teploty 23 °C. Vzorky upravené primerem měly o 7 % nižší pevnost než vzorky bez úpravy (Obr. 48).



Obr. 48. Nejlepší výsledky zkoušky při teplotě 60 °C.

13 DISKUZE VÝSLEDKŮ

V první části experimentu byly vytvořené lepené spoje testovány za teploty 23 °C. Ze získaných hodnot jsme zjistili, že vzorky, které byly upraveny ionizačním beta zářením, dosáhly nejvyšší pevnosti při použití kyanoakrylátového lepidla CYBERBOND 2008. Dávka ozáření u tohoto spoje byla 198 kGy. Spoj odpovídal 90 % pevnosti základního nerozstříženého vzorku což je vyhovující. Naopak nejnižší pevnost měl vzorek, který byl lepený pomocí dvousložkového lepidla CYBERBOND A806 a ozářený dávkou 33 kGy. Vytvořený spoj dosahoval pouze 27 % základního materiálu. Další použitá lepidla nebyla pro lepení ozářených vzorků příliš vhodná, pevnost spojů u nich nedosáhla ani 50 %. Při úpravě povrchu primerem bylo rovněž dosaženo nejlepších výsledků při použití lepidla CYBERBOND 2008, takto vytvořený spoj odpovídal 61 % pevnosti nerozstříženého vzorku. Spoje lepené druhým kyanoakrylátovým lepidlem CYBERBOND 5008, dosáhly 47 % pevnosti základního vzorku. Pevnost u ostatních lepidel byla téměř shodná. Nejnižší pevnost při úpravě primerem měl vzorek, který byl vytvořen pomocí lepidla CYBERBOND E705, tento spoj odpovídal 25 % pevnosti základního vzorku.

V druhé části experimentu byly spoje testovány za zvýšené teploty 60 °C. Všechny zkoušené vzorky dosáhly nižší pevnosti, než při zkoušení za teploty okolí. U ozářených vzorků, dosáhly nejlepších výsledků vzorky, které byly ozářeny dávkou 198 kGy a slepeny lepidlem CYBERBOND 2008, takto vytvořený spoj odpovídal 64 % pevnosti nerozstříženého vzorku a jeho pevnost klesla o 26 % oproti vzorku, který byl ozářen stejnou dávkou záření, a slepen stejným lepidlem, ale byl zkoušen při teplotě 23 °C. Nejnižší pevnost při zvýšené teplotě měl ozářený vzorek (33 kGy) lepený pomocí lepidla CYBERBOND E705. Zkoušený spoj odpovídal 17 % pevnosti základního vzorku. Vzorky, které byly upraveny pomocí primeru, dosahovaly nejvyšších hodnot při použití lepidla CYBERBOND 2008. Spoj odpovídal 19 % pevnosti základního nerozstříženého materiálu a jeho pevnost klesla oproti stejně zhotovenému vzorku zkoušeného za teploty okolí o 42 %. Nejmenší zatěžující sílu, snesly vzorky, které byly lepeny pomocí lepidla CYBERBOND E705. Tyto vzorky odpovídaly pouze 11 % pevnosti základního vzorku.

Z výsledků plyne, že pro lepení upravených vzorků z LDPE je nejvhodnější kyanoakrylátové lepidlo CYBERBOND 2008. Dále je patrné, že u spojů, které jsou vystaveny vyšším teplotám, pevnost výrazně klesla. Tento problém by mohl být vyřešen volbou jiného lepidla, které by bylo teplotně odolnější.

ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá problematikou povrchových úprav lepených spojů a jejich závislostí na pevnost spoje. Součástí praktické části je výběr lepených adherendů, informace k použitým lepidlům, výroba a příprava zkušebních vzorků, konstrukce lepených spojů a nakonec samotné měření pevnosti lepených spojů včetně zpracování výsledků.

Ke zkoušení pevnosti lepených spojů byly vybrány vzorky vyrobené z LDPE. K vytvoření spoje byly použity dvě kyanoakrylátová lepidla (CYBERBOND 2008 a 5008), dvousložkové epoxidové lepidlo CYBERBOND E705 a dvě dvousložková methakrylátová lepidla (CYBERBOND A806 a PLEXUS MA310). Část zkušebních vzorků byla lepena bez úpravy povrchu a zbytek vzorků byl ozářen ionizačním beta zářením (dávku 33 kGy, 66 kGy, 99 kGy, 132 kGy, 165 kGy a 198 kGy), anebo byl jejich povrch upraven pomocí primeru CYBERBOND 9056. Pevnost lepených spojů byla zjišťována tahovou zkouškou za teploty okolí 23 °C a taky za zvýšené teploty 60 °C na univerzálním zkušebním stroji ZWICK 1456.

Ze získaných výsledků bylo zjištěno, že při teplotě okolí dosahují nejvyšší pevnosti spoje ozářené dávkou 198 kGy, které jsou lepené kyanoakrylátovým lepidlem CYBERBOND 2008, takto zhotovený spoj odpovídá 90 % pevnosti základního nerozstříženého vzorku. Při aktivaci povrchu primerem a následném zkoušení za teploty okolí, dosáhly nejvyšších hodnot pevnosti spoje, které byly slepeny rovněž lepidlem CYBERBOND 2008. Tento spoj dosahoval 61 % pevnosti základního vzorku.

Ozářené vzorky zkoušené za zvýšené teploty, dosáhly nejvyšší pevnosti při lepení lepidlem CYBERBOND 2008 a při ozáření dávkou 198 kGy. Spoj odpovídal 64 % pevnosti základního vzorku, což je o 26 % méně než při zkoušení za teploty okolí 23 °C. Spoje zkoušené za zvýšené teploty, u kterých byl lepený povrch upraven primerem, dosáhly nejvyšších hodnot při použití lepidla CYBERBOND 2008, u tohoto lepidla dosahovala pevnost spoje 19 %, ale i přesto je tato pevnost nevyhovující.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] OSTEN, Miloš. *Práce s lepidly a tmely*. 3. vyd. Praha 1: SNTL, 1986. 288 s.
- [2] PETERKA, Jindřich. *Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství*. 1. vyd. Praha 1: SNTL, 1980. 792 s
- [3] OSTEN, Miloš. *Lepení plastických hmot*. 2. vyd. Praha 1: SNTL, 1974. 152 s.
- [4] LANGMAIER, Ferdinand. *Adhese a adheziva*. 1. vyd. Zlín: FT VUT, 1999. 106 s.
- [5] TRHOŇ, Vojtěch. *Vliv povrchu na pevnost lepeného spoje* [online]. Brno, 2011[cit. 2013-04-15]. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=38664. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Kubíček.
- [6] Katedra tváření kovů a plastů - Skripta. *Katedra strojírenské technologie, FS, TU v Liberci* [online]. [cit. 2012-12-20]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/12.htm
- [7] MLEZIVA, Josef. *Polymery - výroba, struktura, vlastnosti a použití: výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. přepr. vyd. Praha: Sobotáles, 2000, 537 s. ISBN 80-859-2072-7.
- [8] Petroleum.cz, Nízkohustotní polyethylen (LDPE). *Petroleum.cz, Úvodní stránka* [online]. [cit. 2013-04-29]. Dostupné z: <http://petroleum.cz/vyrobky/ldpe.aspx>
- [9] Sekundová lepidla | *Lepení Cyberbond* [online]. [cit. 2013-04-29]. Dostupné z: <http://cybershopcz.com/>
- [10] *Technical data sheet: Plexus MA310* [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.itwplexus.co.uk/images/uploads/tds/310.pdf>
- [11] Vstřikovací stroje - ARBURG. *Home - ARBURG* [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.arburg.com/cs/cz/reseni/injection-moulding-machines/>
- [12] ŠIMČÍK, Miroslav. *Lepení LDPE*. Zlín, 2012. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.

- [13] SCHINDLEROVÁ, Lucie. *Vliv radiačního síťování na vlastnosti vybraných polymerů*. Zlín, 2011. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

°C	Stupně Celsia.
PE	Polyethylen.
PP	Polypropylen.
PTFE	Polytetrafluorethylen.
LDPE	Nízkohustotní polyethylen.
ČSN	Česká technická norma.
EN	Evropská technická norma.
ISO	Mezinárodní technická norma.
POM	Polyoxymethylen.
TPE	Termoplastický elastomer.
F _p	Maximální zatěžující síla.
δ	Střední kvadratická chyba.
\bar{x}	Aritmetický průměr.
Obr.	Obrázek.
Tab.	Tabulka.
kGy	Jednotka dávky ozáření kiloGray.

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Princip lepeného spoje. [6]</i>	12
<i>Obr. 2. Schéma struktury lepeného spoje. [3]</i>	13
<i>Obr. 3. Vztah lepidla k lepenému materiálu. [2]</i>	15
<i>Obr. 4. Základní typy nerovností lepených ploch. [1]</i>	18
<i>Obr. 5. Pronikání lepidla do mikropovrchu. [1]</i>	18
<i>Obr. 6. Smáčivost lepidel. [6]</i>	19
<i>Obr. 7. Typy lepených spojů. [6]</i>	24
<i>Obr. 8. Vytvrzovací proces ultrafialovým zářením [5]</i>	30
<i>Obr. 9. Vytvrzovací proces kyanoakrylátů [5]</i>	31
<i>Obr. 10. Způsoby nanášení dvousložkových lepidel. [5]</i>	32
<i>Obr. 11. Vytvrzování silikonu. [5]</i>	33
<i>Obr. 12. Vliv teploty na dobu vytvrzení. [5]</i>	35
<i>Obr. 13. Mechanické namáhání lepených spojů. [5]</i>	39
<i>Obr. 14. Příznivé a nepříznivé konstrukce lepeného spoje. [5]</i>	40
<i>Obr. 15. Příznivá a méně příznivá zatížení lepených sestav. [5]</i>	41
<i>Obr. 16. Struktura makromolekul LDPE (a - trubkový reaktor, b – autokláv). [7]</i>	44
<i>Obr. 17. Použitá kyanoakrylátová lepidla.</i>	46
<i>Obr. 18. Dávkovací pistole pro lepidlo Cyberbond A806.</i>	48
<i>Obr. 19. Vystříknutý zkušební vzorek s obdélníkovým páskem pro přeplátování.</i>	49
<i>Obr. 20. Vstříkovací stroj Arburg ALLROUNDER 420C Advance. [12]</i>	50
<i>Obr. 21. Radiační síťování. [14]</i>	51
<i>Obr. 22. Primer.</i>	53
<i>Obr. 23. Příprava zkušebních vzorků.</i>	54
<i>Obr. 24. Dávkovací pistole.</i>	54
<i>Obr. 25. Konstrukce lepeného spoje.</i>	55
<i>Obr. 26. Forma s dutinou pro příložku.</i>	55
<i>Obr. 27. Fixace zkušebních vzorků.</i>	56
<i>Obr. 28. Vytvrzování lepidla na manipulační pevnost.</i>	56
<i>Obr. 29. Trhací stroj Zwick 1456 a detail upnutí vzorku.</i>	57
<i>Obr. 30. Znázornění vlivu velikosti ozáření na základní materiál.</i>	59
<i>Obr. 31. Vliv ozáření na pevnost spoje při použití lepidla CYBERBOND 2008.</i>	60
<i>Obr. 32. Vliv primeru na lepený spoj vytvořený lepidlem CYBERBOND 2008.</i>	60

<i>Obr. 33. Vliv ozáření na pevnost spoje při použití lepidla CYBERBOND 5008.</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 34. Vliv primeru na lepený spoj vytvořený lepidlem CYBERBOND 5008.</i>	<i>62</i>
<i>Obr. 35. Vliv ozáření na pevnost spoje při použití lepidla PLEXUS MA310.</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 36. Vliv primeru na lepený spoj vytvořený lepidlem PLEXUS MA310.</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 37. Vliv ozáření na pevnost spoje při použití lepidla CYBERBOND E705.</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 38. Vliv primeru na lepený spoj vytvořený lepidlem CYBERBOND E705.</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 39. Vliv ozáření na pevnost spoje při použití lepidla CYBERBOND A806.</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 40. Vliv primeru na lepený spoj vytvořený lepidlem CYBERBOND A806.</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 41. Vliv ozáření na pevnost spoje při použití lepidla CYBERBOND 2008 u vzorků trhaných za vyšších teplot.</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 42. Vliv primeru na lepený spoj vytvořený lepidlem CYBERBOND 2008 u vzorků trhaných za vyšší teploty.</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 43. Vliv ozáření na pevnost spoje při použití lepidla CYBERBOND 5008 u vzorků trhaných za vyšších teplot.</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 44. Vliv primeru na lepený spoj vytvořený lepidlem CYBERBOND 5008 u vzorků trhaných za vyšší teploty.</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 45. Vliv ozáření na pevnost spoje při použití lepidla CYBERBOND E705 u vzorků trhaných za vyšších teplot.</i>	<i>73</i>
<i>Obr. 46. Vliv primeru na lepený spoj vytvořený lepidlem CYBERBOND 5008 u vzorků trhaných za vyšší teploty.</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 47. Nejlepší výsledky zkoušky při teplotě 23 °C.</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 48. Nejlepší výsledky zkoušky při teplotě 60 °C.</i>	<i>76</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Součinitelé délkové roztlačnosti plastických hmot a klasických materiálů. [3]</i>	20
<i>Tab. 2. Rozdělení lepidel podle původu. [3]</i>	35
<i>Tab. 3. Rozdělení lepidel podle konzistence. [3]</i>	36
<i>Tab. 4. Rozdělení lepidel podle tepelných vlastností filmu lepidla. [3]</i>	36
<i>Tab. 5. Rozdělení lepidel podle odolnosti filmu lepidla k vodě. [3]</i>	36
<i>Tab. 6. Vlastnosti lepidla Cyberbond 2008. [9]</i>	45
<i>Tab. 7. Vlastnosti lepidla Cyberbond 5008. [9]</i>	46
<i>Tab. 8. Vlastnosti lepidla Cyberbond E705. [9]</i>	47
<i>Tab. 9. Vlastnosti lepidla Cyberbond A806. [9]</i>	47
<i>Tab. 10. Vlastnosti lepidla Plexus MA310. [10]</i>	48
<i>Tab. 11. Technické parametry vstřikovacího stroje. [12]</i>	50
<i>Tab. 12. Vlastnosti primeru Cyberbond 9056. [9]</i>	53
<i>Tab. 13. Parametry trhacího stroje ZWICK 1456.</i>	57
<i>Tab. 14. Vliv ionizačního beta záření na základní materiál.</i>	58
<i>Tab. 15. Velikost maximální zatěžující síly při použití lepidla CYBERBOND 2008.</i>	59
<i>Tab. 16. Výsledky tahové zkoušky při použití lepidla CYBERBOND 5008.</i>	61
<i>Tab. 17. Výsledky tahové zkoušky při použití lepidla PLEXUS MA310.</i>	63
<i>Tab. 18. Výsledky tahové zkoušky při použití lepidla CYBERBOND E705.</i>	65
<i>Tab. 19. Výsledky tahové zkoušky při použití lepidla CYBERBOND A806.</i>	67
<i>Tab. 20. Výsledky zkoušky za zvýšené teploty při použití lepidla CYBERBOND 2008.</i>	69
<i>Tab. 21. Výsledky zkoušky za zvýšené teploty při použití lepidla CYBERBOND 5008.</i>	71
<i>Tab. 22. Výsledky zkoušky za zvýšené teploty při použití lepidla CYBERBOND E705.</i>	73

SEZNAM PŘÍLOH

PI CD-Rom