

Lepení polymerů

Bc. Martin Bednařík

Diplomová práce
2011

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Martin BEDNAŘÍK**

Osobní číslo: **T09681**

Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**

Téma práce: **Lepení polymerů**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracujte literární studii na dané téma**
- 2. Připravte zkušební vzorky pro experiment**
- 3. Provedte experiment**
- 4. Vyhodnoťte naměřené výsledky**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle zadání vedoucího DP

Vedoucí diplomové práce:

Ing. David Mañas, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

14. února 2011

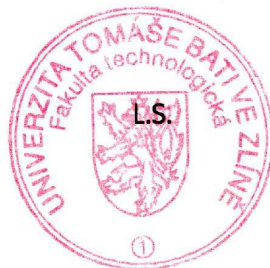
Termín odevzdání diplomové práce:

13. května 2011

Ve Zlíně dne 6. ledna 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



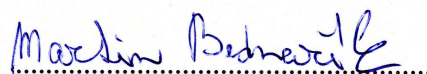
doc. Ing. Miroslav Mañas, CSc.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 6. května 2011


.....

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 vzdělávacího 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

Diplomová práce se zabývá lepením polymerů. Teoretická část se zaměřuje na základy lepení a také činitele, kteří ovlivňují výsledné vlastnosti lepeného spoje. Velká část je věnována složení, rozdělení a použití lepidel a na závěr jsou uvedeny metody, sloužící k hodnocení vlastností lepených spojů. Praktická část se skládá z přípravy zkušebních vzorků a z měření pevnosti lepených spojů na trhacím stroji Zwick 1456. Samotné měření je rozděleno do dvou částí. V první části je sledována pevnost lepených spojů u neozářených polymerů a ve druhé části je sledována pevnost lepených spojů u polymerů (HDPE), které jsou ozářeny ionizačním beta zářením o dávkách 33, 66, 99, 132, 165 a 198 kGy.

Klíčová slova: Lepení, lepené spoje, ozařování, polymery, pevnost, lepidlo.

ABSTRACT

This master thesis deals with gluing polymers. The theoretical part focuses on the basics of gluing as well on the factors influencing the final properties of glued joints. A major part of this work is dedicated to the composition, classification and uses adhesives and methods used to evaluate the properties of glued joints are mentioned in conclusion. The practical part consists of the preparation of testing samples and measuring the strength of glued joints using the Zwick 1456 tensile testing machine. The measuring itself is divided into two parts. The first part consists in examination of the strength of glued joints in non-irradiated polymers and the second part deals with examination of the strength of glued joints in polymers (HDPE), which have been irradiated by ionizing beta radiation in the doses of 33, 66, 99, 132, 165 and 198 kGy.

Keywords: Adhesive bonding, glued joints, irradiation, polymers, strength, adhesive.

Touto cestou bych chtěl velice rád poděkovat vedoucímu mé diplomové práce, panu doc. Ing. Davidu Maňasovi, Ph.D., za pomoc, ochotu, vstřícnost, vynaložený čas a cenné rady, které mi pomohly v řešení dané problematiky. Dále mé poděkování patří firmě BGS Beta-Gama-Service GmbH & Co. KG, která zprostředkovala ozáření zkušebních vzorků a v neposlední řadě také mé rodině a přítelkyni, kteří mě podporovali v celém průběhu mého studia.

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

OBSAH

ÚVOD	12
I TEORETICKÁ ČÁST	14
1 ZÁKLADY LEPENÍ	15
1.1 TEORIE KOHEZE A ADHEZE	15
1.1.1 Elektrostatická teorie adheze.....	16
1.1.2 Mechanická teorie adheze	16
1.1.3 Difúzní teorie adheze	16
1.1.4 Chemická teorie adheze	16
1.1.5 Adsorpční teorie adheze	17
1.2 STRUKTURA A VLASTNOSTI LEPENÉHO SPOJE.....	17
1.2.1 Přednosti a nedostatky lepeného spoje.....	19
2 VLIV LEPENÉHO MATERIÁLU, LEPIDLA A PODMÍNEK LEPENÍ NA VLASTNOSTI SPOJE	20
2.1 VLIV LEPENÉHO MATERIÁLU NA VLASTNOSTI SPOJE	20
2.1.1 Geometrie povrchu	20
2.1.2 Smáčivost	21
2.1.3 Čistota povrchu	21
2.1.4 Propustnost pro plyny a soudržnost povrchu	22
2.1.5 Rozpustnost a bobtnavost.....	22
2.1.6 Teplotní délková roztažnost	22
2.2 VLIV LEPIDLA (ADHEZIVA) NA VLASTNOSTI SPOJE	23
2.2.1 Polymerační stupeň	23
2.2.2 Viskozita a homogenita.....	24
2.2.3 Kyselost a zásaditost	24
2.2.4 Objemová stálost filmu lepidla, struktura a složení plniva.....	25
2.3 VLIV TECHNOLOGICKÝCH PODMÍNEK LEPENÍ NA VLASTNOSTI SPOJE.....	26
2.3.1 Konstrukce lepených spojů	26
2.3.2 Předběžné úpravy povrchů	27
2.3.3 Nanášení lepidla	27
2.3.4 Vliv fixace a tlaku	28
2.3.5 Tuhnutí lepidla ve spoji.....	29
3 LEPIDLA A JEJICH ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI	30
3.1 ZÁKLADNÍ SLOŽENÍ LEPIDEL	30
3.2 VOLBA LEPIDLA.....	31
3.2.1 Druh lepené hmoty	31
3.2.2 Namáhání lepeného spoje.....	31
3.2.3 Technologické podmínky lepení	31
3.3 SKLADOVÁNÍ LEPIDEL	32
4 DĚLENÍ LEPIDEL PODLE PRINCIPU TUHNUTÍ VE SPOJI	33

4.1	LEPIDLA ROZTOKOVÁ, TUHNOUCÍ VSÁKNUTÍM A ODPAŘENÍM VODY.....	33
4.1.1	Lepidla polyvinylalkoholová.....	33
4.1.2	Lepidla na bázi derivátů celulózy.....	33
4.2	LEPIDLA ROZTOKOVÁ, TUHNOUCÍ ODTĚKÁNÍM ORGANICKÝCH ROZPOUŠTĚDEL.....	33
4.2.1	Lepidla kaučuková	34
4.2.2	Lepidla polyakrylátová a polymethakrylátová	34
4.2.3	Lepidla polyamidová.....	35
4.2.4	Lepidla polystyrénová	35
4.2.5	Lepidla polysulfidová.....	35
4.2.6	Lepidla polyvinylacetalová.....	35
4.2.7	Lepidla polyvinylacetátová.....	36
4.2.8	Lepidla polyvinylchloridová	36
4.2.9	Lepidla polyvinyletherová.....	36
4.3	LEPIDLA REAKTIVNÍ, TUHNOUCÍ PO PŘIDÁNÍ TVRDIDEL	36
4.3.1	Lepidla epoxidová	36
4.3.2	Lepidla fenolformaldehydová	37
4.3.3	Lepidla močovinoformaldehydová.....	37
4.3.4	Lepidla polyesterová	37
4.3.5	Lepidla polyurethanová.....	38
4.4	LEPIDLA REAKTIVNÍ, TUHNOUCÍ VLIVEM ZVÝŠENÉ TEPLoty.....	38
4.4.1	Lepidla melaminoformaldehydová.....	38
4.5	LEPIDLA TAVNÁ.....	39
4.6	LEPIDLA DISPERZNÍ, TUHNOUCÍ VSÁKNUTÍM A ODPAŘENÍM VODY	39
5	HODNOCENÍ VLASTNOSTÍ LEPENÝCH SPOJŮ	40
5.1	METODY DESTRUKTIVNÍ.....	40
5.1.1	Pevnost lepených spojů ve smyku.....	40
5.1.2	Zkouška lámavosti lepených spojů.....	41
5.1.3	Pevnost lepených spojů v odlupování	42
5.1.4	Pevnost lepených spojů při namáhání rázem	43
5.1.5	Zkouška soudržnosti lepeného spoje při statickém zatížení.....	43
5.1.6	Zkouška trvalé (časové) pevnosti a stárnutí	43
5.2	METODY NEDESTRUKTIVNÍ.....	44
II	PRAKTICKÁ ČÁST	45
6	CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE	46
7	VOLBA MATERIÁLŮ A LEPIDEL	47
7.1	VOLBA MATERIÁLŮ	47
7.1.1	Polystyren (PS).....	47
7.1.2	Polyamid (PA).....	48
7.1.3	Polyethylen o nízké a vysoké hustotě (LDPE a HDPE)	49
7.1.4	Polypropylen (PP)	50
7.1.5	Polykarbonát (PC).....	51

7.2	VOLBA LEPIDEL	52
7.2.1	Sekundové lepidlo Sheron.....	52
7.2.2	Lepidlo Plexus MA310	52
7.2.3	Lepidlo Plexus MA422	53
7.2.4	Lepidlo Plexus MA832	54
8	VÝROBA A MĚŘENÍ PEVNOSTI LEPENÝCH SPOJŮ	56
8.1	VÝROBA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	56
8.1.1	Vstříkovací stroj Arburg 420C Advanced.....	57
8.2	PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	58
8.2.1	Ionizační záření	58
8.3	LEPENÍ ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	60
8.3.1	Příprava lepidel	60
8.3.2	Konstrukce lepeného spoje.....	61
8.4	MĚŘENÍ PEVNOSTI LEPENÝCH SPOJŮ.....	62
9	PEVNOST LEPENÝCH SPOJŮ U NEOZÁŘENÝCH POLYMERŮ.....	64
9.1	POLYMERY LEPENÉ STEJNÝM LEPIDLEM	64
9.1.1	Sekundové kyanoakrylátové lepidlo Sheron	64
9.1.2	Lepidlo Plexus MA310	66
9.1.3	Lepidlo Plexus MA422	68
9.1.4	Lepidlo Plexus MA832	71
9.2	POROVNÁNÍ PEVNOSTI LEPENÝCH SPOJŮ SE ZÁKLADNÍM MATERIÁLEM.....	73
9.2.1	Materiál PS.....	74
9.2.2	Materiál PA6 (plněný).....	75
9.2.3	Materiál PA6 (neplněný).....	77
9.2.4	Materiál LDPE	78
9.2.5	Materiál HDPE.....	80
9.2.6	Materiál PC	81
9.2.7	Materiál PP.....	83
10	PEVNOST LEPENÝCH SPOJŮ U OZÁŘENÝCH POLYMERŮ	85
10.1	POLYMERY LEPENÉ STEJNÝM LEPIDLEM	85
10.1.1	Sekundové kyanoakrylátové lepidlo Sheron	85
10.1.2	Lepidlo Plexus MA310	87
10.1.3	Lepidlo Plexus MA422	88
10.1.4	Lepidlo Plexus MA832	90
10.2	POROVNÁNÍ PEVNOSTI LEPENÝCH SPOJŮ SE ZÁKLADNÍM MATERIÁLEM.....	92
10.2.1	Materiál HDPE ozářený dávkou 33 kGy.....	94
10.2.2	Materiál HDPE ozářený dávkou 66 kGy.....	96
10.2.3	Materiál HDPE ozářený dávkou 99 kGy.....	98
10.2.4	Materiál HDPE ozářený dávkou 132 kGy.....	100
10.2.5	Materiál HDPE ozářený dávkou 165 kGy.....	102
10.2.6	Materiál HDPE ozářený dávkou 198 kGy.....	104
10.3	POROVNÁNÍ MIKROPOVRCHŮ U OZÁŘENÉHO A NEOZÁŘENÉHO HDPE.....	106
	DISKUSE VÝSLEDKŮ.....	107

ZÁVĚR	110
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	111
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	113
SEZNAM OBRÁZKŮ	114
SEZNAM TABULEK.....	117
SEZNAM PŘÍLOH.....	120

ÚVOD

Lepení zaznamenalo v posledních dvaceti letech v oblasti spojování plastů ohromný rozmach, který způsobil, že je řazeno mezi nové techniky spojování, i když je ve skutečnosti velmi staré.

Již v době kamenné se používalo březové smoly k výrobě věder z březové kůry a k lepení hrotů šípů a harpun. Smola se zpracovávala zahřátým klínem na způsob dnešního pájení. Už staří Egypťané znali výrobu lepidel živočišného původu, stejně jako lepení za horka. Dřevěné rakve byly zdobeny pigmenty, které byly pojeny směsí křídly a klišu. Ve starověku se k lepení získával albumin ze zvířecí krve, dextrin z papyrusu a vařením kostí, kůží a zbytků ryb se vyráběl glutin.

Roku 1690 byly v Holandsku založeny první plantáže, které zajišťovaly suroviny pro výrobu klišu. První patent na výrobu lepidla byl udělen v Americe roku 1814 a roku 1823 bylo v Anglii patentováno lepení kaučukovým lepidlem. Dalším mezníkem vývoje lepidel a lepení je objev nitrace celulosy, v letech 1845 až 1846, a následně vznik první továrny na celulosu, která byla otevřena v Americe roku 1872. V této fázi vývoje techniky lepení bylo těžiště pokroku především v obuvnictví a ve výrobě překližek

Prakticky až do druhé světové války byly lepeny jen materiály, které byly schopny lepidlo vsáknout (dřevo, kůže, textil a papír). Výjimkou v této předválečné éře byla fólie na bázi fenolické pryskyřice, která byla použita ve stavbě větroňů a dřevěných motorových letounů a umožnila poznat přednosti lepených spojů, zejména co do úspor hmotnosti a vyšší únavové pevnosti. Z období před druhou světovou válkou mají pro lepení značný význam objevy některých polymerů (polychloroprenu, epoxidů, nenasycených polyesterů a butylkaučuku) a objev fenolformaldehydové pryskyřice, modifikované polyvinylformalem. V důsledku zvyšování technické úrovně konstrukcí dochází po druhé světové válce ke značnému rozmachu výroby syntetických lepidel a souběžně s tím k vývoji technologií, umožňujících jejich racionální využití. [4, 6, 15]

Ve srovnání s klasickými metodami spojování (nýtováním, svařováním, stloukáním, šroubováním a sešíváním) poskytuje lepení nové kombinační možnosti a dovoluje získat spoje takových tvarů a vlastností, které nejsou dosažitelné běžnými způsoby spojování. Za optimální pevnost konstrukčně použitelných lepených spojů, v hlavních kritériích namáhání

(ve smyku, rázové pevnosti a odlupování), se považují hodnoty odpovídající hodnotám spojovaného materiálu.

Nelze však očekávat, že každé lepidlo poskytne pevné spoje u všech druhů materiálů. I když některá lepidla, např. epoxidová a chloroprenová, lze s úspěchem použít k lepení řady materiálů, nelze je přesto považovat za univerzální. Univerzální lepidla prostě neexistují. Jen s určitými druhy lepidel, na konkrétních materiálech a za určitých pracovních podmínkách, je možné dosáhnout spoje s optimálními vlastnostmi v určitém směru. [6]

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ZÁKLADY LEPENÍ

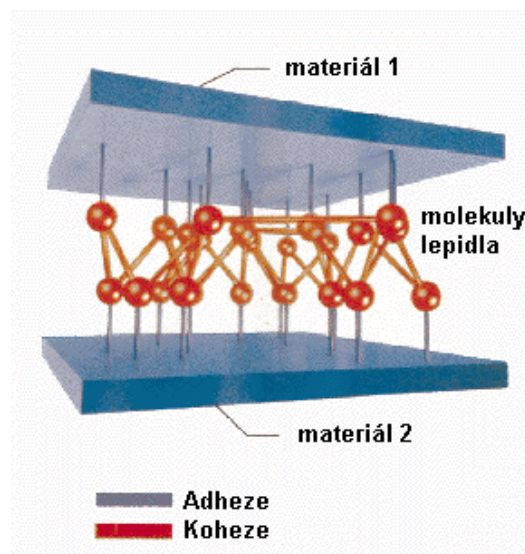
Lepením rozumíme technologický postup, při kterém se dosahuje trvalého spoje stejných nebo rozdílných materiálů, pomocí lepidla. Lepidlo je látka, která spojuje povrchy přilnavostí (adhezí) a vlastní soudržností (kohezí), aniž se podstatně mění struktura slepované hmoty. Hodnoty koheze závisí na složení filmu lepidla v konečné fázi lepení. Adheze i koheze se uplatňují ve slepovaném spoji současně. [3, 6]

1.1 Teorie koheze a adheze

Koheze charakterizuje stav látky (lepidla), ve kterém drží její částice působením mezimolekulárních a valenčních sil pohromadě. Velikost koheze udává tzv. kohezní energie, což je velikost energie, která je potřebná k odtržení jedné částičky od ostatních. [1]

Adheze (přilnavost) je vzájemné přitahování dvou povrchů adhezními silami. Adheze souvisí s molekulovou strukturou lepidla. Je výsledkem působení fyzikálních sil, mezimolekulárních a chemických vazeb. V současné době jsou nejčastěji používané následující teorie adheze:

- elektrostatická teorie,
- mechanická teorie,
- difúzní teorie,
- chemická a adsorpční teorie. [5]



Obr. 1. Adheze a koheze ve spoji. [9]

1.1.1 Elektrostatická teorie adheze

Základ pro vznik adheze je založen na dvojité vrstvě, která je vytvořena dotykem dvou rozličných substancí ve spoji. Spoj je kondenzátorem, u kterého se rozdílně nabitě desky přitahují. Jakmile jsou odděleny, vzniklý potenciálový rozdíl se musí vybit nebo vyzářit jako elektronová emise. [5]

1.1.2 Mechanická teorie adheze

Mechanická teorie vychází z představy, že po proniknutí kapalného adheziva do trhlin a kavit lepeného povrchu dojde po zatuhnutí k jeho zaklínění v povrchu lepeného materiálu. Mechanické teorie adheze jsou dnes využívány sporadicky jen ve specifických případech, jako je adheze pryžových směsí k textilním vláknům nebo výroba překližek. [8]

1.1.3 Difúzní teorie adheze

Za zakladatele difúzní teorie je považován S. S. Vojtuskij. Vychází v podstatě z teorie mechanické s tím, že místo úrovně mikroskopické uvažuje úroveň molekulární. Jejím základem byly studie adheze vrstev téhož polymeru. Pevnost lepeného spoje pak závisí na několika faktorech, především na:

- době kontaktu adheziva a adherendu,
- teplotě,
- charakteru polymerů (kompatibilitě),
- molekulární hmotnosti polymerů. [8]

1.1.4 Chemická teorie adheze

Pro získání pevného spoje je podle této teorie potřebné, aby materiály, které se mají navzájem spojit, reagovaly vytvořením primárních chemických (kvalentních) vazeb napříč rozhraním. Takové vazby sice někde vznikají, všeobecně však lepení probíhá v termodynamických podmínkách, které vznik chemických vazeb neumožňují. Pokud by tyto vazby vznikly, nelze jednoznačně tvrdit, že zvyšují pevnost spoje. [5, 6]

1.1.5 Adsorpční teorie adheze

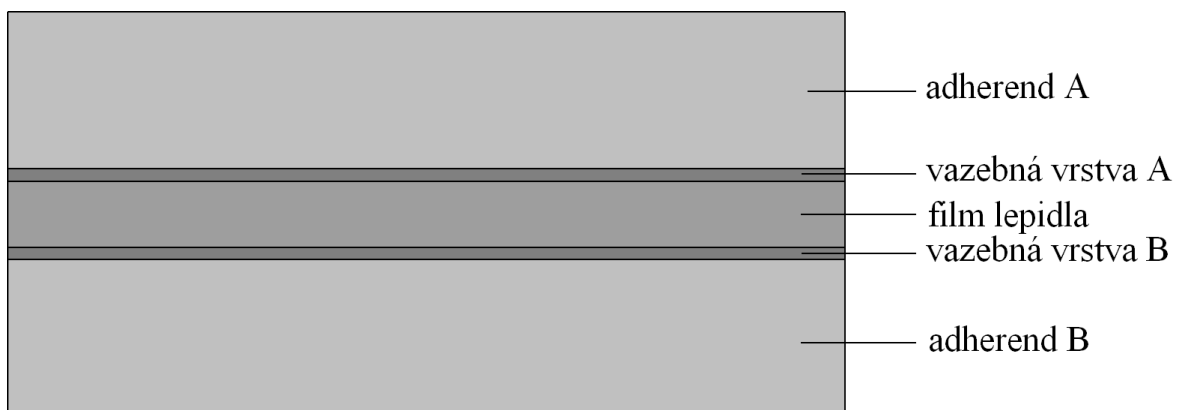
Dnes nejvíce přijímaná adsorpční teorie adheze vychází z analogie jevu smáčení, adsorpce a adheze. Za nejvýznamnější síly, působící v lepeném spoji přes fázové rozhraní, jsou považovány van der Waalsovské (síly působící na krátké vzdálenosti), které jsou vzhledem k jejich universálnímu charakteru a četnosti brány za postačující k dosažení dobré pevnosti lepeného spoje. V procesu spojování jsou rozeznávána dvě stádia.

V prvním převažuje transport molekul adheziva k povrchu adherendu na vzdálenost, umožňující vzájemnou interakci obou fází silami van der Waalsovskými. Toto stadium urychlují všechny faktory, které zvyšují pohyblivost molekul (zvýšení teploty, tlaku, přídavek plastifikátorů a dobré smáčení povrchu adherendu kapalným adhezivem).

Druhá fáze, k níž dochází v okamžiku, kdy se molekuly adherendu a adheziva přiblíží na vzdálenost, při které začínají působit van der Waalsovské síly, je analogická sorpci a je podstatně méně časově náročná. [8]

1.2 Struktura a vlastnosti lepeného spoje

Lepený spoj si lze představit jako systém složený z pěti vzájemně vázaných vrstev (Obr. 2). Pevnost spoje je určena fyzikálními a chemickými vlastnostmi adheziva (lepidla) i adherendu (spojovaného materiálu). [7]



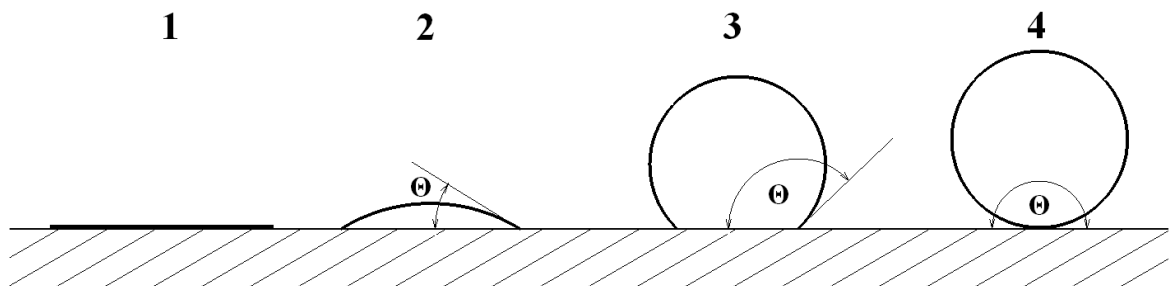
Obr. 2. Struktura lepeného spoje. [1]

Základní podmínky pro vytvoření kvalitního lepeného spoje jsou:

- správný návrh konstrukce spoje,
- správná volba materiálů (lepidlo, adherend),

- správná povrchová úprava adherendů,
- zachování předepsaného postupu použití zvoleného lepidla,
- vytvoření dokonalých mechanických a fyzikálně-chemických podmínek pro vznik pevných vazeb. [5]

U kvalitního spoje nastává při jeho destrukci zlom mimo vazebné vrstvy. V takovém případě má spoj velkou pevnost. Probíhá-li však zlom některou vazebnou vrstvou, má menší pevnost vlivem tzv. slabé vazebné vrstvy mezi lepidlem a adherendem. Nejčastější příčinou vzniku slabých vrstev je vzduch, který ulpívá při nanášení na fázovém rozhraní ve formě bublin, zejména v případech, kdy lepidlo špatně smáčí povrch adherendu. Proto je nutné, aby lepidlo daný povrch dobře smáčelo, což je např. charakterizováno rovnovážným kontaktním úhlem smáčení blízkým nule (Obr. 3). K dobrému smáčení povrchů rovněž přispívá nízká viskozita lepidla, přiměřený tlak při spojování a co nejdelší doba kontaktu adheziva v tekutém stavu a adherendu. [7]



Obr. 3. Smáčení povrchu. [6]

1 – úplné smáčení povrchu ($\Theta = 0$); 2 – částečné smáčení povrchu ($0 < \Theta < \pi/2$);

3 – málo smáčený povrch ($\pi/2 < \Theta < \pi$); 4 – zcela nesmáčený povrch ($\Theta = \pi$)

Princip lepení a jeho technologický postup se většinou skládá z následujících fází:

- příprava povrchu adherendu,
- příprava lepidla,
- nanášení lepidla,
- montáž spoje,
- vytvoření pevného spoje. [5]

Pevnost lepeného spoje je ovlivňována i vnitřním pnutím ve spoji. Napětí může vznikat při lepení materiálů s různým teplotním koeficientem délkové roztažnosti, zejména v případech, kdy lepený spoj vzniká při jiné teplotě, než je používán (např. při vytvrzování za tepla). To je obzvláště důležité u kombinovaných spojů, neboť polymerní materiály mají až o řád větší teplotní roztažnost než materiály klasické (sklo, kovy). [2]

1.2.1 Přednosti a nedostatky lepeného spoje

Mezi přednosti lepeného spoje patří možnost spojování stejných nebo různorodých materiálů, bez ohledu na jejich tloušťku, a navíc aplikací lepidel není narušena celistvost spojovaných dílců. Dále je možné připravit spoje vodotěsné i plynotěsné a není narušován profil ani estetický vzhled lepeného souboru. Lepený spoj tlumí vibrace v konstrukci, zvyšuje tuhost i vzpěrovou pevnost souboru a zabráňuje vzniku elektrolytické koroze kovových adherendů. Lepením se nezvyšuje hmotnost souboru, což je jedním z předpokladů miniaturizace. Spoje mohou být průhledné nebo i barevně přizpůsobené a lze dosáhnout vysoké pevnosti spojů, zejména při namáhání ve smyku a rázové pevnosti. [6]

Nevýhodou lepených spojů je nutnost speciálních úprav u adherendů se špatnými adhezními vlastnostmi a vysoké požadavky na rovinnost a čistotu povrchů lepených dílců. Konstrukčně použitelné spoje nejsou rozebíratelné a většina spojů je citlivá vůči namáhání v odlupování. Maximální pevnosti spoje je dosaženo až po určité době a je omezena jak životnost reaktivních lepicích směsí, tak i odolnost vůči vysokým teplotám. Film termoplastických lepidel je citlivý vůči dlouhodobému statickému namáhání (vede k tečení polymerní složky lepidla) a v průmyslovém měřítku je lepení náročnější na vybavení pracoviště (nanášecí zařízení, lisy, přípravky apod.). [6]

2 VLIV LEPENÉHO MATERIÁLU, LEPIDLA A PODMÍNEK LEPENÍ NA VLASTNOSTI SPOJE

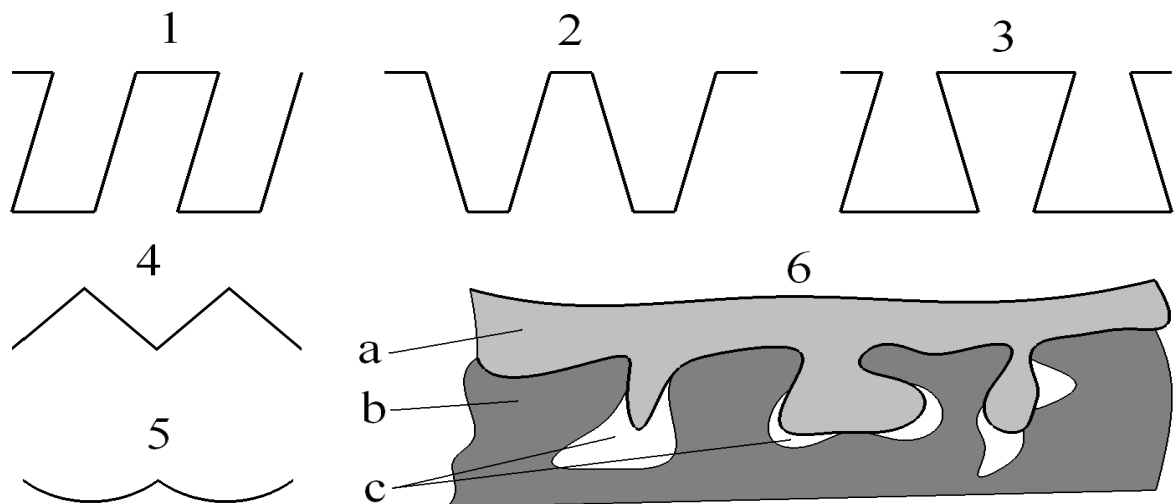
2.1 Vliv lepeného materiálu na vlastnosti spoje

2.1.1 Geometrie povrchu

U lepených ploch rozlišujeme tři druhy povrchu:

- povrch viditelný, daný konstrukčními rozměry spoje,
- mikropovrch (teoreticky možná styková plocha včetně všech nerovností a pórů),
- povrch účinný, který je částí mikropovrchu, skutečně smáčenou lepidlem.

Má-li se ve spoji vytvořit souvislý, stejnoměrný film lepidla, je nutné, aby stykové plochy obou adherendů byly maximálně souběžné. Do jaké míry pokryje lepidlo mikropovrch adherendu je záležitostí jeho konzistence, čistoty povrchu a tvaru povrchových nerovností. V praxi se vyskytuje šest různých povrchových nerovností, jejichž tvar a velikost jsou dány jednak přirozenou strukturou adherendu (póry), způsobem jeho výroby (válcováním, vytlačováním), anebo způsobem dodatečné povrchové úpravy (broušením apod.) (Obr. 4). [6]



Obr. 4. Tvar nerovností mikropovrchu. [6]

1 – válcová nerovnost; 2 – kónická otevřená nerovnost; 3 – kónická uzavřená nerovnost; 4 – kónická plochá nerovnost; 5 – plochá miskovitá nerovnost; 6 – pronikání lepidla do mikropovrchu (a – lepidlo, b – lepený materiál, c – lepidlem nevyplněné prostory)

Pro hrubě zdrsňované povrchy jsou charakteristické nerovnosti typu 1 a 3. Z hlediska smáčení jsou nevýhodné, protože neumožňují, aby byl plyn vytlačen lepidlem. Plochá kónická nerovnost (typ 4) je považována za výhodnou, protože plyn je při správné viskozitě lepidla z nerovnosti vytlačen. S miskovitou nerovností (typ 5) se setkáváme na leštěných plochách. Zbytky zadřených leštících past se z těchto nerovností obtížně vymývají, a proto je dosti obtížné dosáhnout dobré smáčivosti. Pro vznik soudržného spoje mezi tuhými materiály jsou tedy výhodnější plochy hladce a ostře opracované, nikoli hrubě zdrsňované anebo leštěné (Obr. 4). [1, 6]

2.1.2 Smáčivost

Z teorie adsorpce je známo, že má-li kapalina pevnou látku smáčet, což je jedním z předpokladů adheze, musí být její povrchové napětí menší než povrchové napětí smáčené hmoty. Při hodnocení smáčivosti adherendu je nutné brát v úvahu, že adsorbované cizí látky na povrchu (vzduch, prach, tuky a pot) podstatně mění obraz povrchového napětí materiálu. Zkreslený obraz o smáčivosti mohou způsobit u plastů i nízkomolekulární podíly, změkčovadla a separátory vyloučené na povrchu.

Smáčivost adherendu příznivě ovlivňují některé dodatečné úpravy povrchu, např. odmaštění, hydrofilace nebo oxidace chemickými a fyzikálními prostředky. Smáčecí účinnost lepidel může být zvýšena fluorováním a také přísadami tenzidů (smáčedel), které snižují povrchové napětí. [6]

2.1.3 Čistota povrchu

Jedním z předpokladů pro dosažení soudržného spoje je maximální kontakt lepidla s mikropovrchem adherendu. Jsou-li kontaktní plochy znečištěny korozními produkty, např. rzi, zbytky nátěrových hmot a lepidel nebo mastnotou a separačními prostředky z výrobního procesu (např. vosky, prach, plíseň, olej a nafta), není možné očekávat dobré výsledky. Čištění se provádí různými způsoby, podle složení materiálu, jeho struktury a požadovaného efektu. U tuhých kompaktních hmot se mechanicky odstraňují tenké povrchové vrstvy, v jiných případech postačí odmaštění rozpouštědly nebo smáčecími prostředky. [1, 6]

2.1.4 Propustnost pro plyny a soudržnost povrchu

Důležitým činitelem při výběru lepidla a pracovního postupu je propustnost plynů u obou adherendů. Je zpravidla podmíněna velikostí, četností a propojením pórů a u plastů také molekulární strukturou hmoty.

Pro vznik spolehlivého spoje je kromě jiného nutná i dostatečná soudržnost povrchu lepených hmot. Ta je dána složením adherendu, jeho strukturou a způsobem povrchové úpravy. Obvykle platí vztah, že čím vyšší je objemová hmotnost materiálu, tím soudržnější je i jeho povrch. Materiály s nízkou nebo sníženou soudržností povrchu nemohou vytvořit pevný spoj. Negativně působí hrubé zdrsňování a opálení povrchu při opracovávání tupými nástroji. [1, 6]

2.1.5 Rozpustnost a bobtnavost

Rozpustnost adherendu v organických rozpouštědlech (např. termoplastických polymerů a derivátů celulosy) lze využít pro aplikaci rozpouštědel nebo rozpouštědlových lepidel k lepení, protože dává předpoklad pro vznik autoadheze. Rozpustnost adherendu však může být za stejných podmínek i příčinou závad, které se projevují hlavně při práci s tenkostěnnými adherendy, např. s fóliemi a s hmotami s pěnovou strukturou. Nemůže-li rozpouštědlo ze spoje včas uniknout, což se stává při velkém nánosu lepidla a krátké době otevřeného sestavení spoje, vznikají hlavně při spojování málo propustných materiálů na povrchu adherendu puchýře, svrašťelá místa nebo jiné destrukce. Defekty mohou vznikat i při bobtnavosti jednoho z adherendů tehdy, jde-li o materiál heterogenní. [6]

2.1.6 Teplotní délková roztažnost

Je známo, že tuhé materiály zvětšují zahřátím svůj objem a po ohlazení se znovu smršťují, při tom ne vždy do původního rozměru a polohy. Tyto změny závisí na složení materiálu, na jeho struktuře, tvaru a na teplotě. Ve směru uspořádání makromolekul hmoty a vláken plniva bývá zvětšení rozměrů vždy vyšší a naopak u materiálů s neorientovanou strukturou je zvětšení rozměrů ve všech směrech stejné. Materiály s vysokou teplotní délkovou roztažností, pokud budou v lepeném souboru tepelně namáhány, musí být spojovány lepidly poskytujícími pružný film, který vyrovnává pnutí mezi adherendy. Kromě toho má být aplikováno takové lepidlo, které se vytvrzuje při teplotách, při kterých bude soubor používán. [6]

Tab. 1. Délková roztaživost teplem u různých materiálu. [6]

Materiál	koeficient délkové roztahivosti teplem ($10^6 \cdot \text{deg}^{-1}$)	Materiál	koeficient délkové roztahivosti teplem ($10^6 \cdot \text{deg}^{-1}$)
hliníkové slitiny	19,0 - 23,0	acetáty celulosy	110,0 - 170,0
měď	16,0 - 17,0	polyamidy	70,0
mosaz	19,0	polyestery	55,0 - 100,0
ocel nástrojová	12,3	polyethylen neplněný	180,0 - 230,0
ocel nerezavějící	17,3	polymethylmethakrylát	70,0 - 80,0
olovo	29,0	polypropylen	160,0
zinek	36,0	polyurethany	100,0 - 200,0
		polystyren	60,0 - 80,0
beton	7,0 - 10,0	silikony	160,0 - 180,0
cihly pálené	5,0	výlisky z fenolické lisovací hmoty plněné dřevitou moč- kou	30,0 - 50,0
grafit	7,8		
pískovec	12,0	výlisky z melaminové liso- vací hmoty plněné celulosou	25,0 - 50,0
sklo alkalické	4,8 - 9,0		
sklo křemíkové	0,6	polyesterové sklolamináty a výlisky	25,0 - 40,0

2.2 Vliv lepidla (adheziva) na vlastnosti spoje

2.2.1 Polymerační stupeň

Vliv polymeračního stupně, daného délkou molekul filmotvorného polymeru, obsaženého v lepidle, na vlastnosti spoje, je do značné míry protichůdný. S narůstající délkou makromolekul stoupá viskozita roztoku a koheze filmu lepidla, adheze však zpravidla klesá. Naopak, lepidla obsahující polymery s nižším polymeračním stupněm, vzhledem k nižší viskozitě, lépe difundují do mikropovrchu adherendu, poskytují však filmy s menší kohezí. Pro správnou funkci lepidla ve spáře je nutná jako vysoká adheze k podkladu, tak dostateč-

ná koheze, proto musí být v lepidle zastoupeny v kompromisním poměru vysokomolekulární i nízkomolekulární složky. Adhezní vlastnosti filmotvorných polymerů se zvyšují přísady nízkomolekulárních nereaktivních pryskyřic a změkčovadel. [1]

2.2.2 Viskozita a homogenita

Viskozita je mírou vnitřního tření v kapalině (lepidle) 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, tím hůře se nanáší a roztírá. V extrémním případě dochází až k nedokonalému smáčení mikropovrchu adherendu. Neplatí tedy domněnka, že čím je lepidlo lepkavější, tím lepší jsou výsledky lepení.

Viskozita lepidel se upravuje podle pokynů výrobce buď mícháním s lepidlem jiné viskozity, anebo přísadou vhodných plniv. Upravené lepidlo se musí po povrchu adherendu stejnoměrně rozlévat a tvořit viditelný lesklý film.

Homogenita lepidla nebo spíše lepicích směsí je základním předpokladem spolehlivého spoje. Z tohoto hlediska je nutné věnovat pozornost zejména lepidlům s obsahem nerozpustných přísad a lepidlům vícesložkovým, které se musí před použitím důkladně promíchat. Aby se všechny složky lepidla dokonale promísily, je zejména u reaktivních lepidel žádoucí zvolit správné pořadí přidávání plniva a tvrdidla. [6]

2.2.3 Kyselost a zásaditost

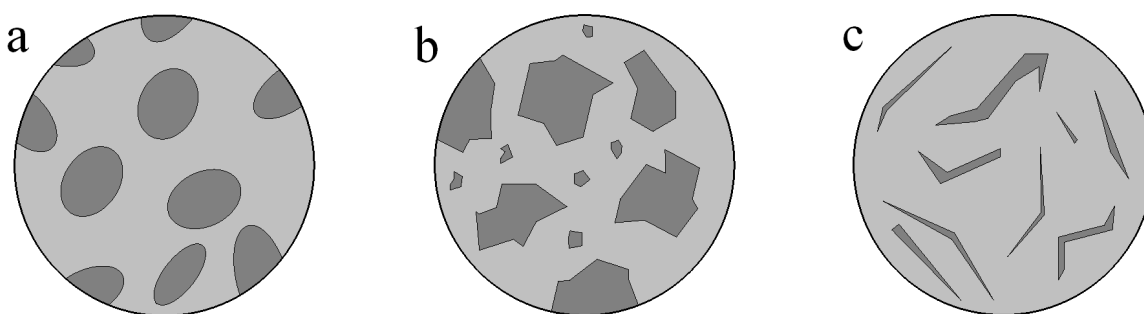
Ovlivnění adherendu látkami obsaženými v lepidle musí být sledováno se stejnou pozorností, jako ovlivnění lepidla adherendem. Existuje mnoho lepidel, pro jejichž výrobu nebo funkci jsou nutné kyseliny nebo zásadité reagující katalyzátory, které mohou ovlivnit jakost povrchové vrstvy adherendu a tím nepřímo jakost spoje. Příčinou snížené pevnosti spoje mohou být během stárnutí filmu lepidla i těkavé látky. Účinek těkavých kyselin na povrch lepeného materiálu musí být vhodně eliminován. Mezi nejjednodušší akceptory chlorovodíku a kyseliny octové patří např. křídový prach. Pro snížení volného formaldehydu, zejména v močovinoformaldehydových lepidlech, se doporučuje řada modifikujících látek (močovina, amoniak apod.). [6]

2.2.4 Objemová stálost filmu lepidla, struktura a složení plniva

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 a plniv v lepidle, tím menší jsou následné objemové změny. Aktivní látkou se rozumí nejen polymer, ale i další reakce schopné látky, např. reaktivní rozpouštědla a sloučeniny, zajišťující zesílení struktury lepidla, např. isokyanáty. Z hlediska snížení objemových změn filmu lepidla jsou výhodnější plniva nebobtnavá, minerálního původu. Nejméně se smršťují lepidla tavná a bezrozpouštědlová reaktivní lepidla. Nejvíce zmenšují objem lepidla rozpouštědlová a disperzní.

Pro doladění konečné charakteristiky spoje (tepelných, elektrických, mechanických i chemických vlastností) je často důležitá volba správného složení a struktury plniva. Plniva minerálního původu a kovová plniva zlepšují odolnost filmu lepidla vůči vlhkosti a vyšším teplotám. Plniva organického původu naopak tuto odolnost snižují. Plniva bez ostrých hran, s přibližně stejně velkými částicemi (Obr. 5a), se stejnoměrně obalují pojivem, a proto dobře rozvádějí vnitřní pnutí v lepidle, což přispívá ke zlepšení mechanických vlastností filmu lepidla.

Plniva ostrohranná v podobě nepravidelné drtě a jehlic (Obr. 5b, 5c), které se vzájemně dotýkají, zlepšují při správném rozložení částic různé velikosti tepelnou nebo elektrickou vodivost filmu lepidla. [1]



Obr. 5. Typy plniv. [6]

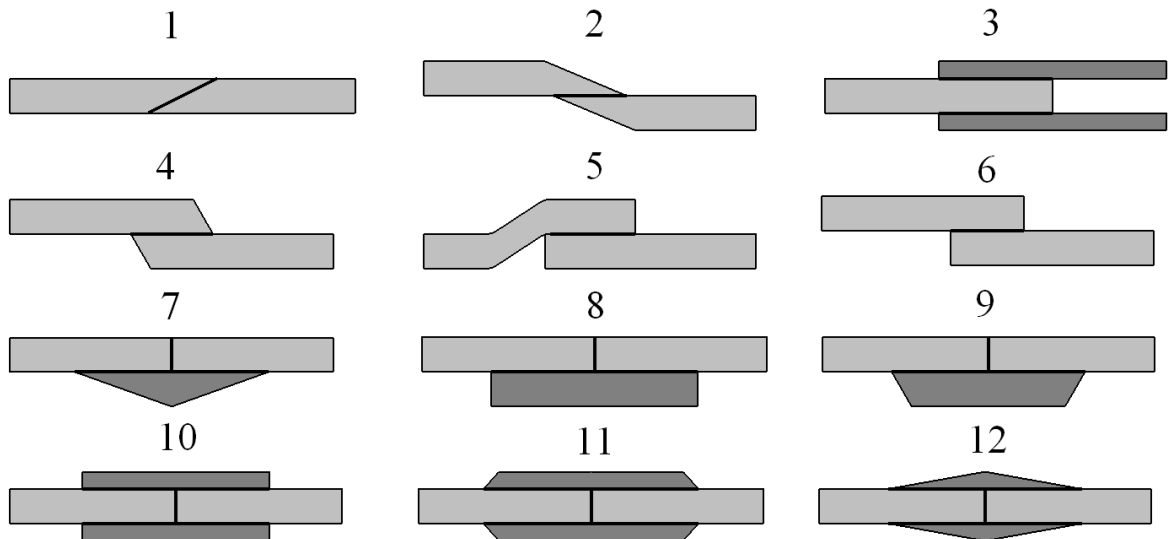
a – plniva bez ostrých hran a stejné velikosti částic; b, c – plniva ostrohranná

2.3 Vliv technologických podmínek lepení na vlastnosti spoje

2.3.1 Konstrukce lepených spojů

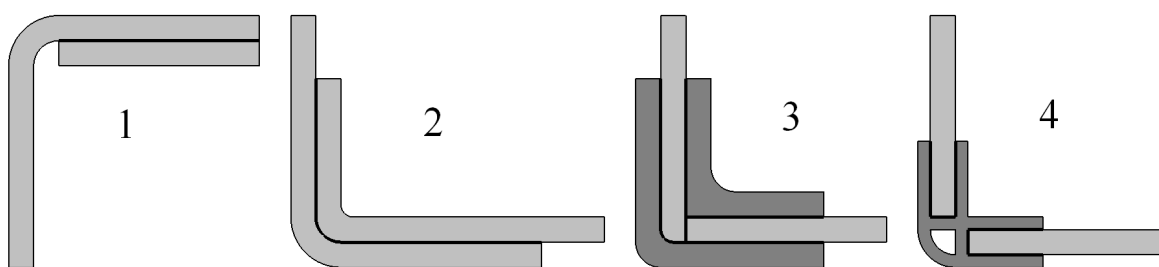
Lepené spoje jsou mechanicky namáhány v tahu, tlaku, ve smyku, v odlupování, v rázové pevnosti, v kroucení apod., ale ne všem těmto vlivům lepidla dobře odolávají. Proto musí být konstrukce upraveny tak, aby byl spoj namáhán co nejméně v odlupování a kroucení. Optimálních hodnot mechanické pevnosti se za daných podmínek dosahuje použitím spojů s uměle zvětšenou spárou, zejména u spojů jednostranně a oboustranně přeplátovaných a u spojů s jednostrannými nebo oboustrannými příložkami. Úpravami se zvětší geometrický povrch dotykových ploch a dosáhne se takového rozvedení sil, že spoj je zatěžován převážně ve smyku.

Z technologického hlediska je při konstrukci lepených spojů nutné dbát i na to, aby dotykové plochy lepených materiálů byly co nejméně členité a po slepení nevyžadovaly další úpravy. Lepení souboru by mělo probíhat vždy v jedné operaci, aby nevznikaly časové ztráty a aby předchozí spoj nebyl dodatečně zatěžován vyšší teplotou a tlakem. [1, 6]



Obr. 6. Přehled konstrukčních možností plochých spojů. [6]

1 – spoj tupý, zkosený; 2 – spoj jednoduše přeplátovaný, zkosený; 3 – spoj dvojitě přeplátovaný; 4 – spoj jednoduše přeplátovaný, zkosený; 5 – spoj lemový, jednoduše přeplátovaný; 6 – spoj jednoduše přeplátovaný; 7, 8 a 9 – čelní spoje s příložkami různého tvaru; 10 – čelní spoj s dvěma příložkami; 11 a 12 – čelní spoje se dvěma zkosenými příložkami



Obr. 7. Možnosti provedení koutových spojů. [6]

1 a 2 – spoje jednostranně přeplátované; 3 – spoj se dvěma příložkami; 4 – spoj násvuvný

2.3.2 Předběžné úpravy povrchů

Předběžné úpravy lepených povrchů jsou pro dosažení maximální pevnosti spoje velmi důležité. Hlavním cílem je odstranění všech látek, které by se mohly podílet na vytvoření slabé vazebné vrstvy. Rozhodujícím úkolem je dosažení co největší smáčivosti povrchu lepidlem, čímž se vytvářejí lepší podmínky pro vznik adhezních vazeb. Způsoby předběžných úprav je možné v zásadě rozdělit na fyzikální a na chemické operace.

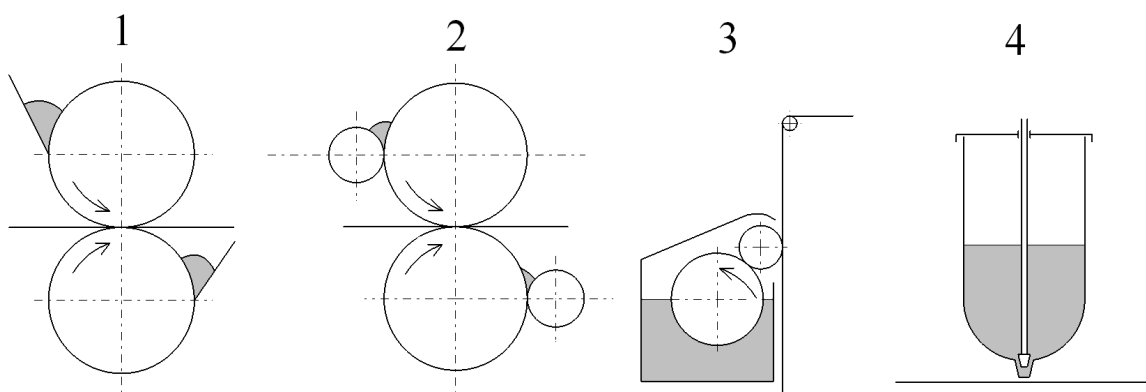
Fyzikální operace zahrnují jednak mechanické opracování (např. broušení, kartáčování, pískování a obrábění) a také nemechanické opracování, jako je odmašťování, čištění ultrazvukem, sušení, ozařování ultrafialovým zářením, působení doutnavého výboje, iontové bombardování nebo polarizace oxidačním plamenem.

Chemické operace zahrnují moření, fosfatizaci, anodickou oxidaci nebo použití základních nátěrů reaktivních látek (primerů). Uvedené chemické operace se týkají především úprav povrchů kovů. Z nich má největší vliv na zvětšení adheze moření. Moření plastů není tak běžné jako u kovů a uplatňuje se zejména při lepení obtížně lepitelných materiálů (např. polyolefinů a fluoroplastů). [7]

2.3.3 Nanášení lepidla

Ne vždy lze nanášet lepidlo přímo ve stavu dodávaném výrobcem (lepidlo se musí před použitím např. temperovat na pracovní teplotu, vakuově odplynit apod.). Reaktivní lepidla se před použitím směšují s příslušným vytvrzovacím činidlem, urychlovačem i dalšími přísadami. Ke smísení jednotlivých složek a k homogenizaci lepidla slouží různé typy míchacích strojů se šnekovými, lopatkovými nebo košovými míchadly. [7]

Cílem nanášení je vytvořit rovnoměrnou souvislou vrstvu lepidla o správné tloušťce, na jedné nebo obou styčných plochách lepeného spoje. Roztoková rychle schnoucí lepidla, která tuhnou vlivem odpařování nebo difúze rozpouštědla do podkladu, se nanášejí na obě lepené plochy. Reaktivní lepidla tuhnoucí reakcí v celé hmotě současně lze nanášet i jednostranně. V tom případě se lepidlo obvykle nanáší na povrch s horšími adhezními vlastnostmi nebo méně pórovitý materiál. Lepidla lze nanášet na lepený povrch buď ručně, nebo vhodným nanášecím zařízením (Obr. 8). Volba způsobu nanášení lepidla závisí na velikosti a povaze slepovaných materiálů, konzistenci lepidla a sériovosti vyráběného spoje. [7]



Obr. 8. Schéma zařízení pro nanášení lepidla. [7]

1 – nanášecí dvouválec se stíracími lištami; 2 – nanášecí dvouválec s regulačními válci;
3, 4 – nanášecí ústrojí pro zpracování těkavých roztokových nebo disperzních lepidel

2.3.4 Vliv fixace a tlaku

Důležitým úkonem před vyvozením tlaku na spoj je zajištění (fixace) vzájemné polohy lepených dílců. Fixace je nutná, protože některá lepidla, zejména reaktivní, v první fázi vytvrzování zřídnou a nezajištěné dílce mohou snadno změnit polohu. Polohu posunutých dílců není vždy možné dodatečně upravovat, protože u lepidel s vysokou kohezí se okamžitě strhává nanesený film. [6]

Účelem vyvození tlaku na spoj je především stejnoměrné rozvrstvení lepidla ve spáře a u poddajných hmot (např. u měkkého dřeva) i vyrovnání menších nerovností povrchu, které by bránily souběžnosti spojovaných ploch. Tlak musí zásadně působit kolmo na lepené plochy a musí být přiměřený tlakové pevnosti podkladu a viskozitě lepidla. Je nutné vždy pracovat tak, aby lepidlo nebylo působením tlaku ze spáry zcela vytlačeno. Krůpějovité

vytékání lepidla po celém obvodu spáry je při správném nánosu nejlepším dokladem toho, že se ve spoji vytvořil rovnoměrně rozložený adhezní film. [6]

2.3.5 Tuhnutí lepidla ve spoji

Má-li se ve spoji vytvořit film lepidla schopný adheze, musí lepidlo přejít z fáze tekuté (např. 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 tvrdidla, kontaktem s kovy),
- lepidla tavná a natavitelná, tuhnoucí po předchozím roztavení ochlazením na normální teplotu.

Rychlost tuhnutí lepidel ve spoji podle uváděných zásad může být ovlivněna jak teplotou okolí, tak uměle připraveným teplotním režimem. Při lepení za normální teploty je třeba zvlášť 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. Také je třeba respektovat, že maximální vytvrzení lepidla neznamená vždy maximální pevnost spoje. Stav filmu lepidla ve spoji se nejrychleji prověří zkouškou tuhosti, popř. rozpustnosti krůpěje přetoku na okraji spáry. [6, 7]

3 LEPIDLA A JEJICH ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI

Lepidla se vyrábějí ze syntetických a přírodních surovin. Průmyslová výroba lepidel navazuje především na rozsáhlou výrobu plastů. Jejich četnost, možnost kombinací a modifikací dovolují přípravu širokého sortimentu lepidel určených k lepení jednotlivých materiálů, schopných plnit i rozdílné požadavky zpracovatelů. Pro pohodovější orientaci spotřebitelů se lepidla třídí z různých hledisek, nejčastěji podle chemického složení. Jiným hlediskem je způsob zpracování, kdy se bere v úvahu buď teplota, anebo způsob, kterým se lepidlo ve spoji aktivuje. Základní rozdělení lepidel je zobrazeno v následující tabulce (Tab. 2). [6]

Tab. 2. Základní rozdělení lepidel. [6]

LEPIDLA				
podle původu:	podle konsistence:	podle způsobu tuhnutí:	podle tepelných vlastností filmu lepidla:	podle odolnosti filmu lepidla k vodě:
lepidla organická <i>z přírodních surovin</i> pryskyřičná škrobová glutinová albuminová bitumenová <i>syntetická</i> polykondenzační polymerační polyadiční lepidla anorganická vodní sklo cementy sádra lepidla smíšená albumin-cement albumin-síra močovinná s vodním sklem	lepidla tuhá lepicí fólie lepidla v prášku a granulích lepidla polotuhá lepicí pásy lepicí tmely lepidla tekutá lepidla v roztoku lepidla disperzní	lepidla reaktivní <i>jednosložková:</i> tuhnoucí účinkem zvýšené teploty nebo vzdušné vlhkosti <i>dvousložková a vícenosložková:</i> tuhnoucí vlivem tvrdících katalyzátorů za normální i zvýšené teploty lepidla nereaktivní <i>roztoková:</i> tuhnoucí v důsledku vytěknání vody nebo organického roz- pouštědla <i>disperzní:</i> tuhnoucí v důsledku vsáknutí vody do podkladu <i>taveninová:</i> tuhnoucí po ochlazení spáry na nor- mální teplotu	lepidla termosetická fenolická rezorcinová močovinná melaminová epoxidová polyurethanová polyesterová lepidla termoplastická polyvinylacetátová polyvinylchloridová polymethakrylátová polyvinylacetalová polystyrenová lepidla z derivátů celulózy lepidla kaučuková chlórkaučuková polychloroprenová polybutadienakrylo-nitrilová	lepidla neodolná proti vodě škrobová glutinová albuminová polyvinylalkoholová methylcelulózová karboxymethylcelulózová lepidla krátkodobě odolná proti vodě močovinná polyvinylacetátová nitrátcelulózová polyvinyléterová trvale odolná proti vodě fenolformaldehydová rezorcinová melaminová polyuretanová polyesterová polymethakrylátová epoxidová

3.1 Základní složení lepidel

V praxi je lepidlo definováno jako systém, který se skládá převážně z pěti složek:

- *Adhezivní základ*, což je látka, která má dodat lepidlu a zhotovenému spoji určité požadované vlastnosti, především pevnost a odolnost.
- *Nosné médium*, které může být podle formy lepidla rozpouštědlo, ale i fólie, papír, textil nebo vláknitá rohož.

- *Katalyzátory a tvrdidla*, jejichž funkcí je zabezpečit vytvrzovací reakci.
- *Urychlovače, inhibitory a retardéry*, což jsou látky, které kontrolují vytvrzovací proces.
- *Modifikátory (modifikační přísady)*, které mají měnit technologické vlastnosti, použití nebo výsledné vlastnosti spoje. Do této skupiny patří plniva, nastavovadla, změkčovadla, pigmenty, stabilizátory a přísady, které mají udržovat v rovnováze požadovaný koloidní stav (suspenze, emulze a disperze). [5]

3.2 Volba lepidla

Volba lepidla je závislá především na druhu lepené hmoty, předpokládanému namáhání spoje a na technologických podmínkách lepení. [1]

3.2.1 Druh lepené hmoty

Důležité je vědět, jaké hmoty budeme spojovat, jaká je jejich rozpustnost v organických rozpouštědlech, tepelná stálost a roztažnost a jaký podíl změkčovadel obsahují. Pokud tyto údaje nejsou k dispozici, musíme je dodatečně zjistit. Teprve po přesné identifikaci druhu obou spojovaných hmot je možno zvolit lepidlo optimálních vlastností. [1]

3.2.2 Namáhání lepeného spoje

Z lepidel, která byla zvolena jako vyhovující z hlediska specifické adheze, je nutné vybrat taková, která vyhovují i předpokládanému zatížení budoucího spoje. Obecně lze říci, že pro tepelně a chemicky namáhané spoje vesměs vyhovují lepidla tvrditelná nebo vulkanizovatelná. Houževnaté a čiré spoje, vyznačující se i dobrou odolností k vodě, poskytuje řada termoplastických lepidel. [1]

3.2.3 Technologické podmínky lepení

Při výběru lepidla je třeba přihlížet i k předpokládanému způsobu zpracování (nanášení, předsoušení a tvrzení). Pro kontinuální nanášení jsou pochopitelně nejvhodnější lepidla, u nichž lze zajistit přiměřeně dlouhou životnost v tekutém stavu, přednostně tedy lepidla disperzní, roztoková nebo tavná. Naopak tam, kde ekonomika provozu vyžaduje maximál-

ní zkrácení doby tvrzení, např. při lepení velkých ploch v etážových lisech, dáváme přednost lepidlům reaktivním. [1]

3.3 Skladování lepidel

Pokud výrobce neuvádí jinak, skladují se lepidla v suchých místnostech, za teploty maximálně 28 °C, nemají být poblíž topení a nemá na ně přímo svítit slunce. To platí především pro lepidla dodávaná ve formě roztoku.

U mnoha lepidel je předepsáno skladování za teplot do pěti stupňů Celsia. Je správné tento předpis dodržovat. Například kyanoakrylátová lepidla se mohou při skladování za laboratorních podmínek znehodnotit už za měsíc, i když výrobce zaručuje jejich skladovací dobu šest měsíců. Podobně jsou náchylná k rychlému zkažení při skladování za laboratorní teploty také fenolformaldehydová lepidla. [4]

4 DĚLENÍ LEPIDEL PODLE PRINCIPU TUHNUTÍ VE SPOJI

4.1 Lepidla roztoková, tuhnutí vsáknutím a odpařením vody

Nános těchto lepidel tuhne vsáknutím a odpařením vody použité jako rozpouštědlo. Základním předpokladem použití je poréznost spojovaných povrchů a jejich propustnost pro plyny. Lepidla této skupiny mají obvykle nízký obsah sušiny, a proto vytvářejí po vysušení velmi tenký film. Významnou skupinu lepidel rozpustných ve vodě tvoří lepidla polyvinylalkoholová a vodou rozpustná lepidla na bázi derivátů celulózy. [6]

4.1.1 Lepidla polyvinylalkoholová

Polyvinylalkohol je prášek bílé až nažloutlé barvy a charakteristické vůně, fyziologicky zcela nezávadný. V běžných organických rozpouštědlech je nerozpustný, ve vodě se rozpouští na viskózní čiré roztoky. Důležitou vlastností je schopnost vytvářet houževnatý film a odolnost proti vyšším teplotám. Tato lepidla jsou vhodná ke slepování celofánu a ke spojování celofánu s papírem a hliníkovou fólií. Polyvinylalkoholu se také využívá jako lepidlo pro lepicí pásy a etikety, které se aktivují navlhčením. [4]

4.1.2 Lepidla na bázi derivátů celulózy

Z derivátů celulózy rozpustných ve vodě se pro výrobu lepidel používá methylcelulóza, karboxymethylcelulóza a hydroxyethylcelulóza (tyto deriváty jsou rozpustné pouze ve vodě). Vzhledem ke svým nevýrazným adhezním vlastnostem se tyto roztoky uplatňují spíše jako pomocný materiál k zahušťování močovinoformaldehydových lepidel a disperzních lepidel. [6]

4.2 Lepidla roztoková, tuhnutí odtěkním organických rozpouštědel

Řada termoplastických polymerů a kopolymerů je rozpustná v organických rozpouštědlech. Tvoří s nimi viskózní roztoky, vyznačující se dobrou adhezí k mnoha materiálům. Jako lepidla se používají buď roztoky upravené přísadami (např. změkčovadly, plnivy a pryskyřicemi), nebo se vzájemně kombinují roztoky polymerů a kopolymerů. Vzniká tak řada lepidel, od typů s širším použitím až po speciální druhy. Spoj vzniká vsáknutím a odpařením rozpouštědla. Vzhledem k potřebné roztékavosti, která je dána viskozitou, mohou mít

roztoková lepidla jen nízký obsah sušiny, a proto vytvářejí po vysušení velmi tenký film. [6]

4.2.1 Lepidla kaučuková

Kaučuková lepidla se vyrábějí z přírodního nebo syntetického kaučuku. Jelikož mají některé vlastnosti, které postrádají lepidla ze syntetických pryskyřic, používají se stále častěji. Nejvíce se používají roztoková kaučuková lepidla, která se zpracovávají za normální teploty. Spojení vznikne částečným vsáknutím a odpařením rozpouštědel. Kaučuková lepidla jsou obvykle jednosložková, jen několik málo typů je dvousložkových (jedna složka obsahuje vulkanizační činidlo a druhá urychlovač). [6]

Lepidla na bázi přírodního kaučuku se vyznačují odolností proti vodě a nízkým teplotám. Neodolávají minerálním olejům a pohonným hmotám. Pro jejich přípravu se používá přírodní kaučuk částečně odbouraný válcováním za normální teploty. Tepelnou odolnost, odolnost proti rozpouštědlům i mechanické vlastnosti filmu lepidla je možno zlepšit vulkanizací. Tato lepidla se využívají pro lepení papírů, kovů, plastických hmot, kůže, pryže a dřeva.

Lepidla na bázi nitrilového kaučuku obsahují jako hlavní složku butadienakrylonitrilový kopolymer. Lepivost neupravených roztoků není dobrá a musí se upravovat modifikačními přísadami. Význačnou vlastností lepidel tohoto typu je vynikající odolnost filmu lepidla proti benzínu, olejům a změkčovadlům. Lepidla na bázi nitrilového kaučuku se převážně používají ke spojování pryže s PVC a k lepení pryže na ocel.

Lepidla na bázi chloroprenového kaučuku se zpracovávají jako lepidla kontaktní. Lepidlo se nanáší na obě lepené plochy v pokud možno stejnoměrné vrstvě stříkácí pistolí nebo stěrkou. Důležitou vlastností chloroprenových lepidel je odolnost proti vodě a velmi dobrá mechanická pevnost. Tato lepidla se používají pro lepení PVC, PS, dekoračních laminátů, podlahovin, dřeva, keramiky a kovů. [1, 4]

4.2.2 Lepidla polyakrylátová a polymethakrylátová

K výrobě lepidel slouží roztokové polymery esterů kyselin akrylové a methakrylové. Polyakryláty a polymethakryláty jsou rozpustné ve většině organických rozpouštědel s výjimkou alkoholů a lehkého benzínu. Tato lepidla poskytují čiré, bezbarvé filmy, stále

na světle a odolné proti vodě, vodným roztokům solí a teplotám až do 80 °C. Používají se k lepení PS a jeho kopolymerů, organického skla a k lepení polyethylenové fólie na papír. [4]

4.2.3 Lepidla polyamidová

Lepidla z lineárních, neutrálních polyamidů jsou termoplastická a aktivují se teplem a tuhnou ochlazením. Roztokové typy je třeba po odpaření rozpouštědel rovněž aktivovat teplem. Tato lepidla mají dobrou kohezní pevnost, odolávají vlivu vody, méně už minerálním olejům, špatně alkoholům, ketonům a alkáliím. Používají se v automobilovém průmyslu a lepí dřevo, kovy, plasty, keramiku, kůži a textil. [4]

4.2.4 Lepidla polystyrénová

Nejjednodušším druhem polystyrénového lepidla jsou roztoky polystyrénu v těkavých organických rozpouštědlech. Hodí se pro méně náročné spoje polystyrénových dílců menších ploch, kde je možno zajistit velmi tenký film lepidla. Film je po odpaření rozpouštědla velmi tvrdý, proto se změkčuje přidávkem polyvinyléterových pryskyřic. [1, 4]

4.2.5 Lepidla polysulfidová

Uplatňují se jako modifikační složka do fenolformaldehydových lepidel, k nimž se přidávají buď jako tekutý polymer nebo ve formě disperze. Se zvýšenou koncentrací polysulfidového polymeru klesá viskozita lepicí směsi, zlepšuje se pružnost filmu lepidla a zmenšuje se jeho smrštitivost. Tato lepidla se využívají především k lepení fenoplastů a tvrdých lehčených hmot. [1]

4.2.6 Lepidla polyvinylacetalová

Polyvinylacetalové mají značný význam jako modifikační přísady do fenolformaldehydových lepidel, kterými lze slepovat fenoplasty, animoplasty, epoxidové hmoty a polyamidy. Polyvinylacetalová lepidla se hodí i pro spojování dřeva impregnovaného fenolickými nebo močovinnými pryskyřicemi. [1]

4.2.7 Lepidla polyvinylacetátová

Jsou to středně pevná termoplastická lepidla, která tuhnou odpařením rozpouštědla a jeho absorpcí do porézního adherendu. Spoje jsou málo odolné proti vodě, většinou rozpouštědel a povětrnosti. Hodí se pro spojování porézních i neporézních materiálů, kovů, kůže, textilu, skla a plastů. [4]

4.2.8 Lepidla polyvinylchloridová

Neupravený polyvinylchlorid se v běžných rozpouštědlech rozpouští jen zcela omezeně a pro výrobu lepidel nemá větší význam. Více se uplatňuje buď dodatečně chlоровaný polyvinylchlorid, nebo kopolymer vinylchloridu s vinylacetátem. Roztoková lepidla se používají hlavně pro lepení výrobků z tvrdého polyvinylchloridu k dílům z polyakrylátů. [4]

4.2.9 Lepidla polyvinyletherová

Polyvinylethery vynikají lepivostí, mají však malou vlastní soudržnost (kohezi). Snadno oxidují a jsou náchylné ke stárnutí. Odolnost v tomto směru musí být zvyšována antioxi-dačními činidly. Polyvinylethery se mísí s mnoha lepidly a roztoky polymerů, např. s polyvinylalkoholem, polvinylchloridem a polystyrenem. Používají se pro lepení papíru, textilií, dřeva a fólií z polyvinylchloridu a celofánu. [1]

4.3 Lepidla reaktivní, tuhnoucí po přidání tvrdidel

4.3.1 Lepidla epoxidová

Z širokého sortimentu epoxidových lepidel mají pro montážní lepení plastických hmot větší význam jen ty druhy, které lze vytvrdit za normální teploty nebo za teploty zvýšené, asi do 120 °C, v přiměřeně krátkém časovém intervalu. Ve většině případů jde o lepidla dvoukomponentní, vytvářející po zesítnění nerozpustné, netavitelné, tvrdé až elastické spoje. Při vytvrzování se neuvolňují žádné vedlejší produkty. Epoxidová lepidla se převážně nanášejí ručně nebo stříkací pistolí. Tato lepidla se mohou i nastavovat, zejména anorganickými plnivy, podle požadovaného efektu. Používá se např. práškového hliníku a zinku (pro úpravu tepelné vodivosti a roztažnosti) nebo kysličníku křemičitého (pro úpravu tepelné odolnosti). Epoxidová lepidla se hodí ke spojování PE, PTFE, PC, vrstvených a litých

hmot na bázi fenoplastů, animoplastů a polyesterů. Lze jimi při dodržení správného tepelného režimu lepit i pěnový polystyren a tvrdý pěnový polyvinylchlorid. [1]

4.3.2 Lepidla fenolformaldehydová

Jako lepidla se zpravidla nejlépe osvědčují reaktivní pryskyřice rezolového typu, připravené s molárním přebytkem formaldehydu v alkalickém prostředí. Z hlediska zpracovatelské technologie je lze rozdělit do tří skupin:

- a) fenolická lepidla dvousložková, tvrditelná za normální teploty přísadou silně kyselého tvrdidla,
- b) fenolická lepidla tvrditelná výhradně za horka (fólie, tavná lepidla a vodné nebo lihové roztoky),
- c) alkylfenolické pryskyřice (novolaky i rezoly), používané jako adhezní přísada do jiných lepidel.

Společnou vlastností fenolických lepidel po vytvrzení je odolnost spoje proti vodě, rozpouštědlům i proti vyšším teplotám. Nevýhodou je jejich tmavá barva a dále to, že mají škodlivé fyziologické účinky, což vyžaduje, aby se při jejich zpracování dodržovala určitá bezpečnostní opatření. Většina fenolických lepidel se může ředit rozpouštědly, zahušťovat plnivý a modifikovat jinými polymery. Využívají se pro lepení dřeva, vrstvených tvrzených hmot, dekoračních laminátů, výlisků z bakelitu, tuhých lehčených hmot a polyamidu. [1]

4.3.3 Lepidla močovinoformaldehydová

Jsou to čiré až bílé kapaliny s vyšší viskozitou, nebo bílé prášky, které jsou ředitelné vodou. Mohou vytvrzovat při laboratorní i zvýšené teplotě. Za studena vytvrzené spoje se rozpouštějí v kyselině mravenčí. Spoje dobře odolávají studené vodě, hůře vodě o teplotě 70 až 80 °C, velmi málo vroucí vodě. Používají se pro spojování dřeva, k lepení dekoračních laminátů a lehčených hmot. [4]

4.3.4 Lepidla polyesterová

Aktivní složkou těchto lepidel jsou tzv. nenasycené polyestery. Obsahují nejméně jednu reaktivní dvojnou vazbu, které se využívá k zesílení produktu. K vytvrzení se používá přídatku organických peroxidů. Reakci lze za normální teploty urychlit přídatkem iniciátorů,

např. naftenanu kobaltnatého. Aby se tyto pryskyřice staly použitelnými lepidly, musí se nejprve zahustit do formy lepivých tmelů, a to zpravidla minerálním plnivem. Polyesterovými lepidly se bez potíží mohou slepovat dílce a výlisky z polyesterových skelných laminátů, vytvrzené fenoplasty i organické sklo polyakrylátového typu. [1]

4.3.5 Lepidla polyurethanová

Polyurethanová lepidla se vyrábějí v řadě typů i aplikačních forem, jako reaktivní, roztoková i tavná a jako lepicí film. Pro lepení plastických hmot mají význam jen ta z nich, která se mohou zpracovávat za normální nebo jen mírně zvýšené teploty. Polyurethanová lepidla se používají pro lepení fenolformaldehydových lisovacích a vrstvených hmot s kovy a k navrstvování (kaširování) polyurethanových pěn na textil. [1]

4.4 Lepidla reaktivní, tuhnoucí vlivem zvýšené teploty

Některé druhy syntetických pryskyřic nebo lepidel lze vytvrdit bez přídavku tvrdidel změnou vnějších podmínek. Technicky nejvýznamnějším postupem je tvrzení za zvýšené teploty, používané v rozsáhlém měřítku při zpracování fenolických a melaminových pojiv. [6]

4.4.1 Lepidla melaminoformaldehydová

Pro omezenou stabilitu svých roztoků jsou melaminová lepidla dodávána na trh v těchto formách:

- a) jako prášek s obsahem asi 95 % sušiny, který se před použitím musí rozpustit ve vodě na roztok požadované koncentrace,
- b) jako tekuté směsné polykondenzáty melaminomočovinné nebo melaminodikyanidové, s různým poměrem obou složek,
- c) jako lepicí fólie na papírovém nosiči.

Melaminová lepidla se vytvrzují bez tvrdidla při teplotách od 120 do 140 °C. Použití těchto lepidel se omezuje vesměs na aplikace v dřevoprůmyslu, kde se požaduje fyziologická nezávadnost, bezbarvá tvrdá spára a velká odolnost proti vodě, rozpouštědlům a vyšší teplotě. Lze jimi lepit dekorační lamináty i plastické dýhovací fólie na celulózové bázi. [1]

4.5 Lepidla tavná

Skupina lepidel označovaných jako lepidla tavná se svým složením a především technologií zpracování liší od předchozích typů. Za běžné teploty to jsou pevné látky termoplastického charakteru. Zpracovávají se tak, že se na krátkou dobu zahřejí na teplotu, při které se roztaví, zkapalní a stanou se lepivými. Lepené dílce se při práci s tavnými lepidly zatíží na několik sekund mírným tlakem. V průběhu ochlazování a tuhnutí lepidla nesmí ve spoji vzniknout vnitřní pnutí a spoj nemá vykazovat studený tok.

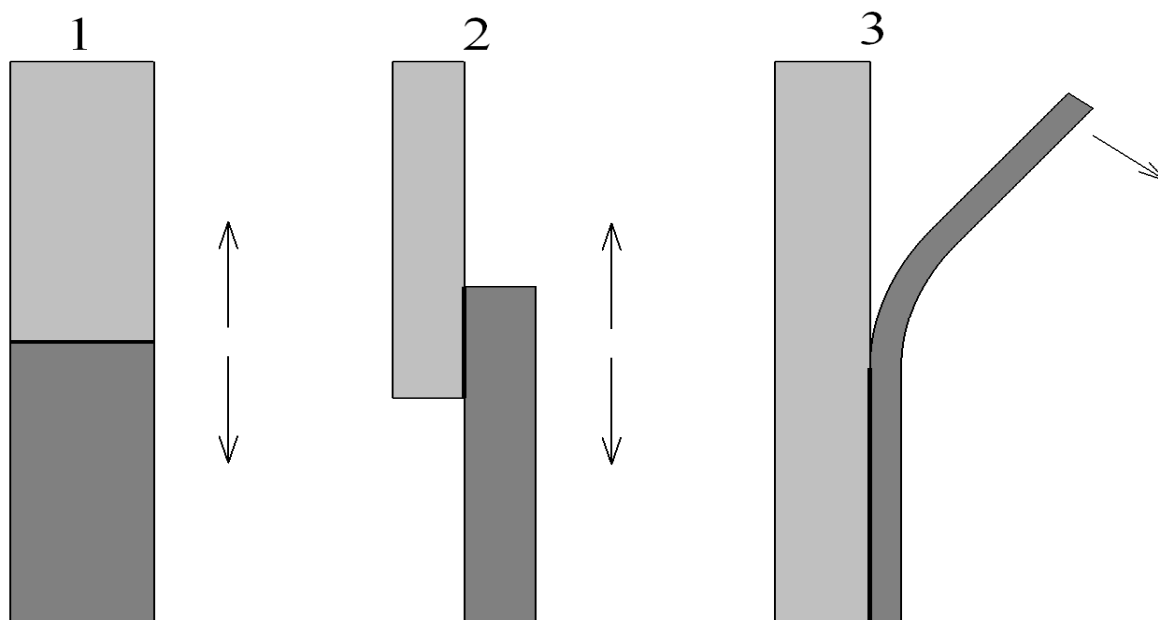
Tavná lepidla jsou vhodná ke spojování tradičních i plastických materiálů. Vyrábějí se především jako jednoúčelová a jen některé typy lze považovat za víceúčelové. Do této skupiny patří lepidla ze sloučenin celulosy a lepidla na bázi termoplastických polymerů (např. tavná lepidla z polyvinylacetátu, polyvinylalkoholu, polyamidu, polyesterů a polyethylenu). [6]

4.6 Lepidla disperzní, tuhnoucí vsáknutím a odpařením vody

Jsou to systémy dvou nebo více fází, ve kterých jsou částice jedné nebo několika makromolekulárních látek rozptýleny v disperzním prostředí. Film lepidla se tvoří jen nad hodnotou minimální filmotvorné teploty, která se v průměru pohybuje podle druhu a značek disperzních lepidel kolem 10 až 12 °C. Vlastnosti filmu lepidla je možné různě upravovat. Vedle plastifikace pomocí změkčovadel ftalátového typu lze disperzní lepidla upravit plnivy a rozpouštědly. Mezi nejpoužívanější disperzní lepidla patří asfaltové emulze, kaučukové latexy a polyakrylátové disperze. [6]

5 HODNOCENÍ VLASTNOSTÍ LEPENÝCH SPOJŮ

Z množství metod navržených k hodnocení lepených spojů se převážně používají metody destruktivní, spočívající v hodnocení pevnosti spoje namáhaného ve smyku, v tahu, v odlupování a v rázu (Obr. 9). [6]



Obr. 9. Namáhání lepeného spoje. [4]

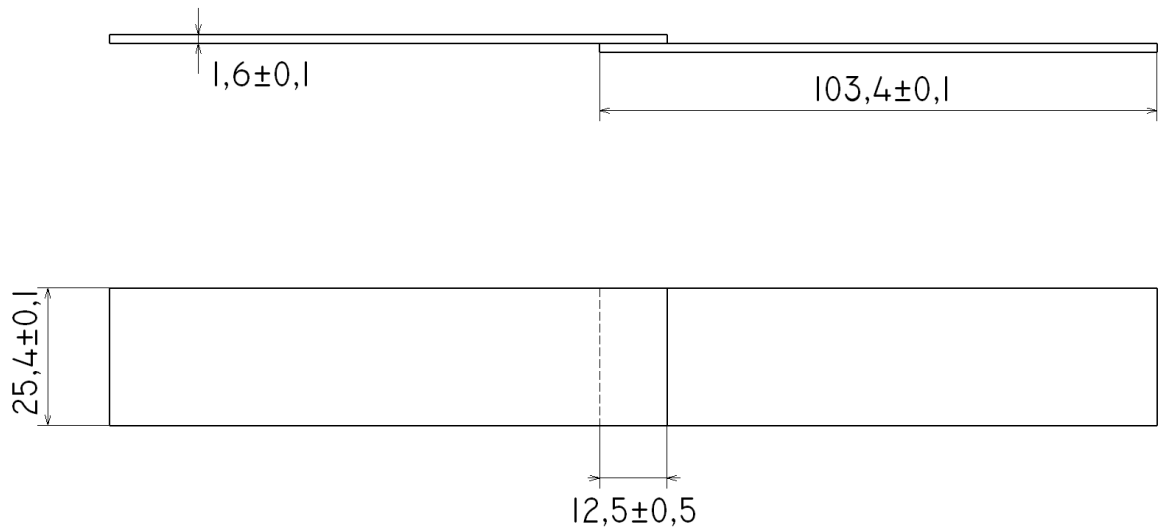
1 – namáhání v tahu; 2 – namáhání ve smyku; 3 – namáhání v odlupování

Doplňkovými zkouškami bývají zkoušky pevnosti spojů při statickém zatížení a zkoušky trvalé pevnosti za zvolených podmínek, např. za zvýšené teploty nebo expozici v různých kapalinách. Výsledek slouží ke kontrole vlastností lepidel a spojů a jako podklad pro konstrukční výpočty. [4]

5.1 Metody destruktivní

5.1.1 Pevnost lepených spojů ve smyku

Běžně jsou lepené spoje přelátované, trubkové nebo násuvné, u nichž se zkouší především pevnost ve smyku. Hodnocení se provádí podle ČSN 66 8510 (pevnost lepených spojů ve smyku při zatěžování v tahu). Podstatou zkoušky je namáhání zkušebního spoje ve smyku statickým tahem ve směru podélné osy až do porušení vzorku. Tvar a rozměry zkušebního vzorku jsou zobrazeny na následujícím obrázku (Obr. 10). Pevnost ve smyku se udává v MPa. [4]

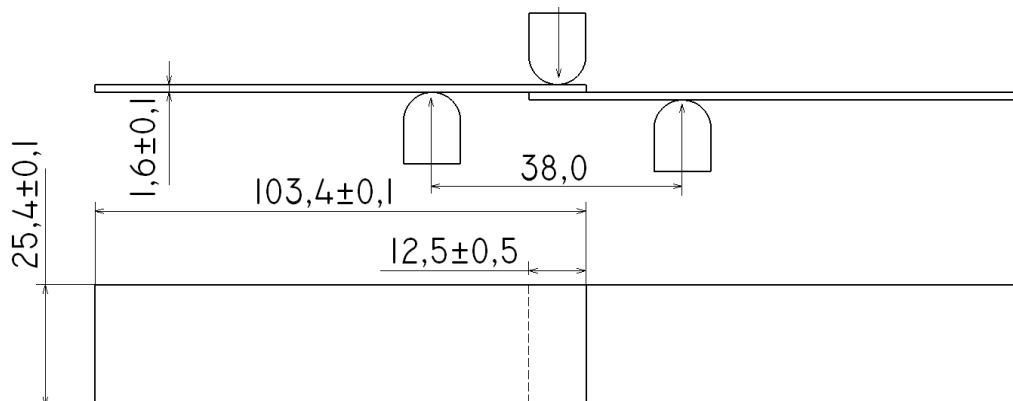


Obr. 10. Vzorek pro zkoušky pevnosti ve smyku podle ČSN 66 8510. [4]

Při zatížení může podle druhu materiálu zkušební těleso dojít k vychýlení nebo k deformaci roviny lepeného spoje. Proto byly pro zkoušení spojů plastů navrženy různé úpravy, které mají zajistit působení smykové síly ve směru osy lepeného spoje. [6]

5.1.2 Zkouška lámavosti lepených spojů

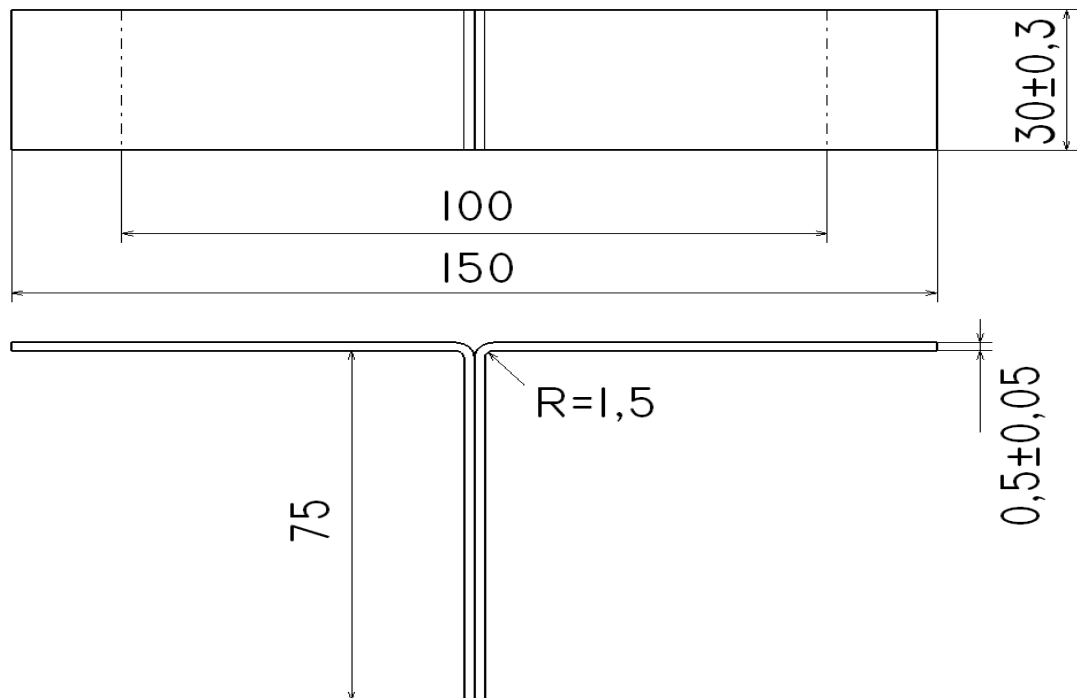
Spoj je namáhán statickým tlakem kolmo na podélnou osu a plochu spoje do porušení zkušební těleso. Zkouška se doporučuje především pro hodnocení spojů tvrdých materiálů, např. kovů s kovy a pro kombinaci kovů s plastickými hmotami. Provádí se za normálních i zvýšených teplot podle ČSN 66 8511 (lámavost lepených spojů). Tvar a rozměry zkušebního vzorku jsou zobrazeny na následujícím obrázku (Obr. 11). [4, 6]



Obr. 11. Vzorek a uspořádání zkoušky lámavosti podle ČSN 66 8511. [4]

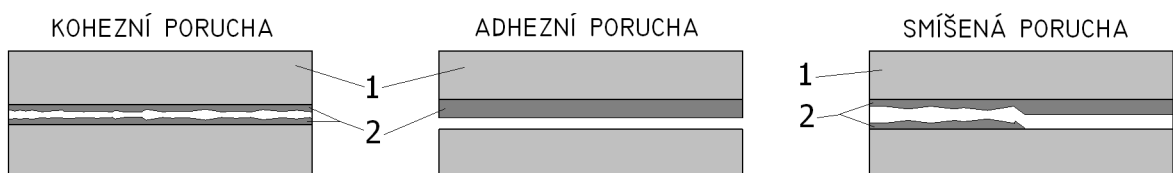
5.1.3 Pevnost lepených spojů v odlupování

Tato zkouška se provádí, je-li aspoň jeden ze spojovaných materiálů ohebný. Podstatou zkoušky je namáhání zkušebního spoje odlupováním statickým tahem ve směru kolmém na lepenou plochu. Hodnocení se provádí podle ČSN 66 8516 (pevnost lepených spojů v odlupování podle Wintera). Tvar a rozměry zkušebního vzorku jsou zobrazeny na následujícím obrázku (Obr. 12). [4]



Obr. 12. Vzorek pro zkoušky pevnosti v odlupování podle ČSN 66 8516. [4]

Pevnost lepených spojů v odlupování se běžně zkouší např. u kaučukových roztokových lepidel nebo u disperzních lepidel určených k lepení ohebných materiálů na ohebné i neohebné podklady. Výsledkem zkoušky jsou příslušné číselné hodnoty a kromě nich je také stejně důležitý vzhled lomu (Obr. 13). [4, 6]

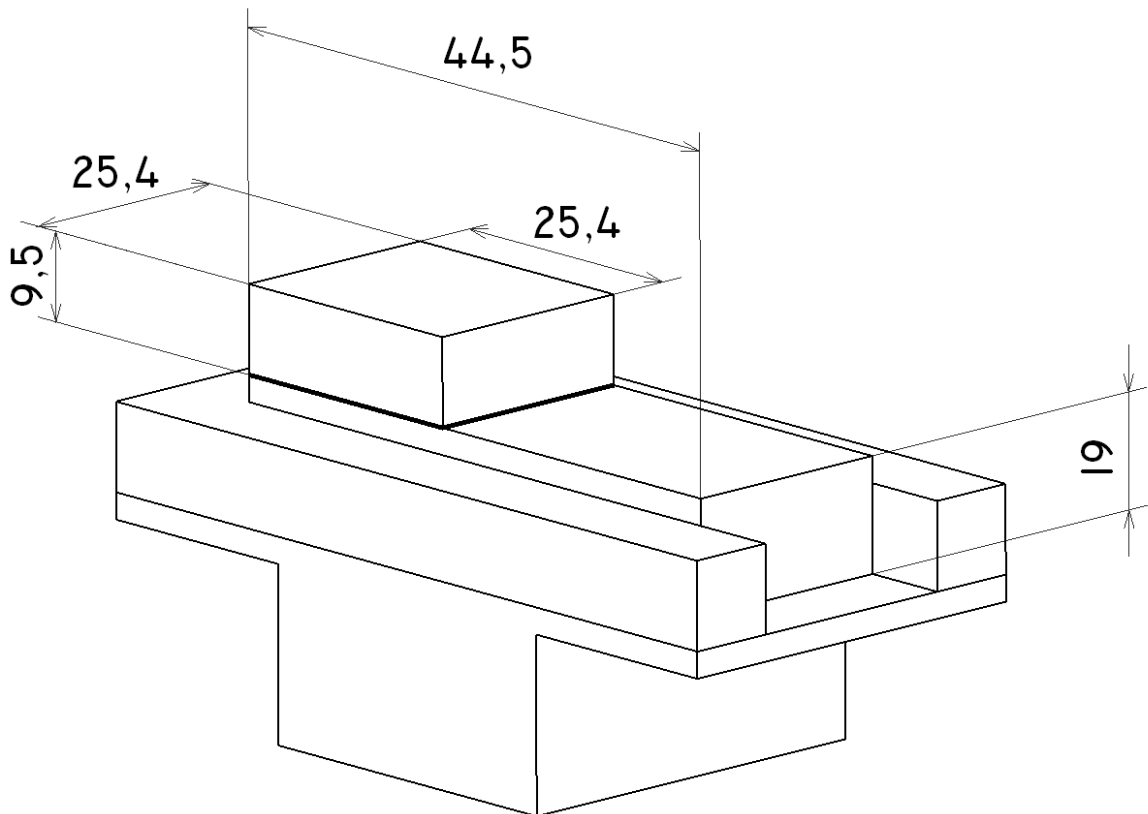


Obr. 13. Druhy poruch lepeného spoje. [4]

1 – adherend; 2 – lepidlo

5.1.4 Pevnost lepených spojů při namáhání rázem

Rázová pevnost spojů je nejmenší síla potřebná k porušení zkušební vzorku rázem. Při zkouškách je lepený spoj namáhán ve smyku rázovým tlakem ve směru podélné osy. Zkouška se provádí na kyvadlovém stroji podle ČSN 66 8512 (Rázová pevnost lepených spojů). [6]



Obr. 14. Vzorek a jeho uložení pro zkoušky rázové pevnosti podle ČSN 66 8512. [4]

5.1.5 Zkouška soudržnosti lepeného spoje při statickém zatížení

Podle druhů lepidel a směrů jejich použití se zkouší soudržnost lepeného spoje při statickém zatížení ve smyku nebo v odlupování. Závěsná zkušební tělesa se na stanovenou dobu zatíží. Potom se zjišťuje, zda se během stanovené doby vlivem statického zatížení nerozpila. [6]

5.1.6 Zkouška trvalé (časové) pevnosti a stárnutí

Umožňuje zjistit chování lepených spojů při trvalém používání. V praxi je spoj podroben nejen dlouhodobému namáhání, ale někdy také vlivům (teplota, vlhkost, prostředí apod.),

jež jsou příčinou jeho stárnutí. U lepidel na bázi termoplastů se při dlouhodobém namáhání snižuje pevnost spoje, v závislosti na čase, již při malém zatížení. Pevnost spojů kovů, skla a plastů se rovněž snižuje po uložení ve vodě různé kvality.

Změny vlastností lepených spojů způsobené uvedenými vlivy se hodnotí na vzorcích podrobených stárnutím. Skutečný obraz o jeho průběhu může ovšem přinést jen dlouhodobý vliv daných podmínek. Časově náročný průběh zkoušky přirozeného stárnutí se v praxi nahrazuje zkušebními cykly, za nichž je spoj vystavován např. střídavému působení vroucí vody nebo proudění suchého vzduchu. Výsledky těchto zkoušek mohou mít jen orientační charakter. [4, 6]

5.2 Metody nedestruktivní

Jednotlivé metody nedestruktivní defektoskopie umožňují ověřit jakost lepených výrobků, aniž by byly poškozeny. Nelze jimi však měřit pevnost lepeného spoje. Naproti tomu dovolují odhalit skryté vady spojů, např. neslepená místa, místa s nedostatečným nánosem nebo bez nánosu lepidla, trhliny a puchýře. Rozlišujeme tyto typy nedestruktivních zkušebních metod:

- *Akustická defektoskopie*, při které těleso vydává po rozkmitání v místech vadného spoje zvuk jiné amplitudy, jiné vlnové délky a zvukového spektra než v místech kvalitního spoje.
- *Optické zkušební metody*, které spočívají v prosvětlení tenkých lepených celků intenzivními světelnými zdroji nebo u tlustších souborů rentgenovými paprsky.
- *Defektoskopie pomocí radioizotopů*, při které se do lepidla přidává vhodný radioizotop a kontroluje se jeho rozložení ve spoji.
- *Ultrazvuková defektoskopie*, u které se zkoušený celek umístí mezi ultrazvukový generátor a přijímač ultrazvukových vln, a tak se zjišťují místa s vadným slepením.

[6]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce bylo vypracovat literární studii se zaměřením na lepení polymerů a následně porovnat pevnost lepených spojů, u vybraných typů materiálů, při použití jednoho typu sekundového a tří typů dvousložkového lepidla. Pevnost lepených spojů byla zjišťována tahovou zkouškou na trhacím stroji Zwick 1456.

Zásady pro vypracování diplomové práce byly následující:

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

7 VOLBA MATERIÁLŮ A LEPIDEL

Pro zjišťování pevnosti lepených spojů byly vybrány různé typy polymerních materiálů, které se běžně využívají v průmyslu, a čtyři typy lepidel.

7.1 Volba materiálů

Byly zvoleny následující typy materiálů:

- polystyren (PS),
- polyamid 6 (PA-6) – plněný a neplněný,
- polypropylen (PP),
- polykarbonát (PC),
- polyethylen o nízké hustotě (LDPE),
- polyethylen o vysoké hustotě (HDPE).

7.1.1 Polystyren (PS)

Skupina polystyrenových plastů zaujímá objemem výroby třetí místo na světě za polyolefiny a polyvinylchloridem. Na světové kapacitě výroby plastů se podílí asi 12 až 14 %. Do této skupiny patří tyto typy plastů:

- standardní plasty, tj. homopolymer styrenu s vynikající průzračností a leskem, ale dosti křehké,
- zpěnovatelné plasty s obsahem nadouvadla, které umožňuje vypěnění materiálu do různých forem pro výrobu lehčených produktů s nízkou hustotou a s výbornými tepelně izolačními vlastnostmi,
- houževnaté plasty se sníženou křehkostí, ale průhledné a s nižším leskem,
- kopolymery styrenu s akrylonitrilem nebo dalšími monomery pro aplikace vyžadující lepší odolnost vůči teplu, rozpouštědlům nebo mechanickému namáhání,
- polymery ABS, tj. houževnaté typy, při jejichž výrobě se vychází z akrylonitrilu, butadienu a styrenu jako monomerů.

Standardní polystyreny se vyznačují vodojasností, vysokým leskem a výbornými elektroizolačními vlastnostmi. Za běžných podmínek jsou polystyreny dostatečně odolné proti tepelné degradaci i oxidaci. Polystyren se rozpouští v aromatických uhlovodících, vyšších ketonech aj. Odolává účinku alkoholů, vody, minerálních olejů a zředěných anorganických kyselin.

Polystyren se zpracovává převážně injekčním vstřikováním (asi 75 % světové výroby) při teplotě 180 až 240 °C. Dodává se v pestré paletě transparentních i krycích barevných odstínů. Používá se převážně v průmyslu spotřebním, obalovém, potravinářském a hračkářském (na kelímky, misky, podnosy, hračky a elektrotechnické součásti). [11, 13]

Tab. 3. Charakteristické vlastnosti standardního a houževnatého polystyrenu. [12]

Polystyren	standardní	houževnatý
Hustota [kgm^{-3}]	1050	1050
Pevnost v tahu [MPa]	38 až 40	30 až 35
Pevnost v ohybu [MPa]	85 až 120	70 až 100
Pevnost v tlaku [MPa]	120	100
Rázová houževnatost [kJm^{-2}]	16 až 20	25 až 60
Navlhavost [%]	0,1	0,2

7.1.2 Polyamid (PA)

Polyamidy jsou lineární polymery obsahující v řetězcích amidové skupiny. Nejvýznamnější a nejrozšířenější jsou polyamidy s alifatickými řetězci, na trhu jsou však i typy aromatické. Vlastnosti polyamidů se mění v závislosti na výchozích monomerech. Typické polyamidy jsou v tuhém stavu z 30 až 50 % krystalické a neprůhledné. Vysoká houževnatost, tvrdost, odolnost proti oděru a dobré elektroizolační charakteristiky jsou vlastnosti, na nichž spočívá použití polyamidů jako plastů a vláken. Mechanické vlastnosti jsou závislé na typu, molekulové hmotnosti a obsahu vody.

Polyamidy se používají pro výrobu vláken i jako plasty. Polyamidová vlákna se podílejí na celosvětové výrobě chemických vláken asi 23 % a na výrobě plastů 1 %. Většina plastů se zpracovává vstřikováním, zbytek vytlačováním, litím a ostatními postupy. Vstřikované

výrobky jsou určeny pro elektrotechnický průmysl, strojírenství a stavebnictví. Vytlačované výrobky slouží převážně jako fólie pro balení potravin, neboť výborně brání přístupu kyslíku. [11, 13]

Tab. 4. Srovnání některých fyzikálních vlastností polyamidů. [12]

Vlastnost	PA – 6	PA – 66	PA - 610
Hustota [kgm^{-3}]	1 120	1 130	1 070
Teplota tání [$^{\circ}\text{C}$]	215 až 220	250 až 260	201 až 215
Modul pružnosti v tahu [MPa]	1 300	1 700	1 250
Navlhavost [hmot. %]	11	10	4
Teplotní odolnost [$^{\circ}\text{C}$] (krátkodobě)	140 až 180	170 až 200	210 až 220
Relativní permitivita (1 kHz)	5	4	3

7.1.3 Polyethylen o nízké a vysoké hustotě (LDPE a HDPE)

Polyethyleny s různými vlastnostmi se dnes ve světě vyrábí řadou výrobních technologií. Vzhledem k tomu, že rozdíly ve struktuře se nejvíce projevují v hustotě polyethylenu, dělí se obvykle na polyethylen o nízké hustotě (LDPE) a polyethylen o vysoké hustotě (HDPE). Řetězce makromolekul LDPE jsou silně rozvětveny, a proto se často označuje jako rozvětvený polyethylen. Se zřetelem k použitým výrobním tlakům se také hovoří o vysokotlakém polyethylenu, který se vyrábí výhradně radikálovou polymerací.

HDPE má převážně lineární strukturu, a proto bývá často označován jako lineární polyethylen. Jeho výroba probíhá polyinzerčním mechanismem a uskutečňuje se při nízkých nebo středních tlacích. [11, 13]

Tab. 5. Charakteristické vlastnosti HDPE a LDPE. [12]

Vlastnost	HDPE	LDPE
Hustota [kgm^{-3}]	do 960	do 930
Krystalinita [%]	do 93	do 64
Pevnost v tahu [MPa]	do 25	do 10
Tažnost [%]	do 1000	do 1000

Polyethylen je tuhá látka, v tenkých vrstvách nebo filmech ohebná, elastická, téměř průhledná, popř. s mléčným zákalem. Na omak má voskovitý charakter. Všechny typy PE mají vysokou krystalinitu. Vedle hustoty mají na vlastnosti PE vliv i molekulová hmotnost a polydisperzita.

Každý typ PE má své možnosti použití podle toho, zda je žádoucí vysoká vláčnost rozvětvených typů (např. pro fólie), nebo vyšší pevnost lineárního PE (při vstřikování, kdy lze zhotovovat předměty s tenčími stěnami). Polyethylen je možno zpracovávat všemi obvyklými metodami zpracování termoplastů (Tab. 6). [11]

Tab. 6. Zpracování polyethylenu ve světě (v procentech). [11]

Technologie	LDPE	HDPE
vstřikování	10	38
vytlačování (fólie, trubky)	86	20
vyfukování (dutá tělesa)	4	42
teplota zpracování	160 až 260 °C	180 až 280 °C

7.1.4 Polypropylen (PP)

Polypropylen je krystalický polymer o stupni krystalinity 60 až 75 %. Vzhledem ke své krystalinitě je neprůhledný a bod tání čistého izotaktického PP je 176 °C. Podobně jako PE má i PP v podstatě nepolární strukturu, takže vykazuje výborné elektroizolační vlastnosti v široké oblasti frekvencí. Polypropylen botná v ketonech, uhlovodících a esterech.

Krystalická struktura PP se dá významně ovlivnit podmínkami při zpracování. Velmi rychlým ochlazením taveniny lze získat vysoce transparentní tenkostěnné výrobky (fólie). Zvýšení houževnatosti, transparence a flexibility lze dosáhnout snížením stupně krystalinity.

Tab. 7. Fyzikální vlastnosti polypropylenu. [12]

Hustota [kgm^{-3}]	900 až 910
Pevnost v tahu [MPa]	22 až 32
Tažnost [%]	120 až 700
Houževnatost [kJm^{-2}]	10 až 15
Navlhavost [%]	0,1

Polypropylen se zpracovává vstřikováním při teplotě 205 až 280 °C a vytlačováním na trubky, desky, fólie a profily při teplotě 200 až 270 °C. PP lze použít na různé výrobky, u nichž jsou žádány tuhost, mechanická pevnost a dobré elektroizolační vlastnosti. V automobilovém průmyslu se např. uplatňují vstřikované dílce z PP na přístrojové desky, ventilátory aj. Široká je také aplikace polypropylenů při výrobě textilních vláken. Polypropylenová vlákna mají mechanické pevnosti srovnatelné s vlákny polyamidovými, jsou elastická a schopná absorbovat deformační energii. [11]

Tab. 8. Zpracování polypropylenů v Evropě. [11]

Technologie	vytlačování (53 %)		vstřikování (47 %)	
Produkty	textilie (monofily, pásky, vlákna)	31 %	obaly	12 %
	fólie	15 %	součásti automobilů	11 %
	trubky, desky	4 %	domácnosti, hračky	8 %
	vyfukování	1 %	elektropřístroje	5 %
	ostatní	2 %	ostatní	11 %

7.1.5 Polykarbonát (PC)

Polykarbonáty jsou transparentní, s propustností světla 85 % a mají mimořádně vysoký index lomu. Jsou dobře rozpustné v chlorovaných uhlovodících a cyklohexanonu. Vynikají vysokou rázovou houževnatostí i za velmi nízkých teplot, dobrou rozměrovou stabilitou až do 140 °C, dobrými izolačními vlastnostmi, vysokou mechanickou pevností (zvláště v tahu), nízkou absorpcí vody a odolností proti UV – záření.

Polykarbonáty lze zpracovávat běžnými technikami používanými i u jiných termoplastů. Největší podíl polykarbonátů se zpracovává vstřikováním při teplotách 280 až 310 °C. Formu je třeba vyhřívat na 80 až 120 °C. Vstřikováním se vyrábějí hlavně technické dílce určené pro použití za vyššího mechanického a tepelného namáhání. Trubky, tyče, profily a tlusté fólie se zhotovují vytlačováním na jednošnekových strojích.

Polykarbonáty se dají dobře třískově opracovávat, svařovat horkým vzduchem a lepit. Novou zajímavou možností použití PC je výroba kompaktních disků. Polykarbonáty lze v tavenině mísit s termoplasty (legovat). Zvláště významné jsou slitiny z PC a ABS, které představují zajímavou kombinaci vlastností obou materiálů. [11]

Tab. 9. Základní vlastnosti polykarbonátu. [12]

Hustota [kgm^{-3}]	1200 – 1220
Pevnost v tahu [MPa]	55 – 75
Teplota tání [$^{\circ}\text{C}$]	267
Teplota skelného přechodu [$^{\circ}\text{C}$]	150

7.2 Volba lepidel

Pro lepení polymerů byly vybrány tři typy dvousložkových methakrylátových lepidel firmy ITW Plexus (MA310, MA422 a MA832) a jeden typ sekundového kyanoakrylátového lepidla firmy Sheron.

Firma ITW Plexus vyrábí vysoce výkonná strukturální lepidla, která poskytují kombinaci jednoduchého použití a nadprůměrné pevnosti spoje. Tato lepidla dávají řešení rozsáhlému okruhu požadavků na lepení a snižují výrobní náklady, s minimálními nároky na přípravu lepených ploch. [16]

7.2.1 Sekundové lepidlo Sheron

Jedná se o jednosložkové kyanoakrylátové lepidlo, které je určeno k lepení plastických hmot, kovů a skla. Nanáší se na jednu stranu lepeného spoje. Aby se vytvořil kvalitní spoj je nutné, aby obě spojované plochy byly očištěné a odmaštěné a co nejtěsněji k sobě doléhaly.

7.2.2 Lepidlo Plexus MA310

Plexus MA310 je dvousložkové methakrylátové lepidlo vyvinuté pro strukturální lepení termoplastů, kovů a kompozitů. V poměru 1:1 má dobu zpracování 15 – 18 minut a dosahuje 75 % celkové pevnosti během 30 – 35 minut při pokojové teplotě. Zvláště dobře se hodí pro lepení termoplastických materiálů. Toto lepidlo kombinuje vysokou pevnost a tuhost se schopností přilnout k obtížně lepitelným materiálům. Mezi jeho největší výhody patří:

- žádná příprava povrchu,
- vysoká pevnost,

- vysoký modul a 100% reaktivita,
- výborná tolerance při chybném směsném poměru.

Hodí se převážně pro lepení ABS, akrylových hmot, epoxidů, skelných vláken, PVC a polyesterů. [16]

Tab. 10. Fyzikální a mechanické vlastnosti (při 23 °C) lepidla Plexus MA310. [16]

Vlastnost	LEPIDLO	AKTIVÁTOR
Barva	bělavá	žlutá
Směsný poměr objemový	1	1
Směsný poměr váhový	1	1
Hustota [kgm^{-3}]	1030	970
Pevnost v tahu [MPa]	27,5 – 31	
Deformace k selhání [%]	5 – 15	
Kohezní pevnost [MPa]	20,5 – 24	

7.2.3 Lepidlo Plexus MA422

Plexus MA422 je dvousložkové methakrylátové lepidlo vyvinuté pro strukturální lepení termoplastů, kovů a kompozitů. V poměru 10:1 má dobu zpracování 17 – 24 minut a dosahuje 75 % celkové pevnosti za 35 – 40 minut. Plexus MA422 nachází široké uplatnění při lepení kompozitů v oblasti dopravních prostředků a loďařství, protože nevyžaduje vlastně žádnou přípravu povrchu. Navíc poskytuje unikátní kombinaci vysoké pevnosti, skvělé únavové odolnosti, mimořádné odolnosti proti nárazům a maximální tuhost. Mezi jeho největší přednosti patří:

- žádná příprava povrchu,
- vysoká tuhost,
- 100% reaktivita a nestékavost,

- vysoká chemická odolnost proti uhlovodíkům, kyselinám a zásadám.

Hodí se převážně pro lepení ABS, akrylových hmot, polyesterů, PVC, styrenů a esterů vinylů. [16]

Tab. 11. Fyzikální a mechanické vlastnosti (při 23 °C) lepidla Plexus MA422. [16]

Vlastnost	LEPIDLO	AKTIVÁTOR
Barva	bělavá	modrá
Směsný poměr objemový	10	1
Směsný poměr váhový	9	1
Hustota [kgm^{-3}]	960	1060
Pevnost v tahu [MPa]	13,7 – 17,2	
Deformace k selhání [%]	75 – 100	
Kohezní pevnost [MPa]	10,3 – 12,4	

7.2.4 Lepidlo Plexus MA832

Plexus MA832 je pokročilé dvousložkové methakrylátové lepidlo vyvinuté pro strukturální lepení termoplastů, kovů a kompozitů. V poměru 10:1 má dobu zpracování přibližně 14 minut a dosahuje 75 % celkové pevnosti za 50 – 55 minut. Plexus MA832 nabízí jedinečnou kombinaci skvělé pevnosti, výborné únavové odolnosti, vynikající odolnosti proti nárazům a vysoké houževnatosti. Mezi jeho největší výhody patří:

- vysoká houževnatost,
- vysoká pevnost,
- vynikající chemická odolnost proti uhlovodíkům, kyselinám, zásadám a solným roztokům.

Hodí se převážně pro lepení kovů, PVC, ABS, akrylových hmot, styrenů, polyesterů a epoxidů. [17]

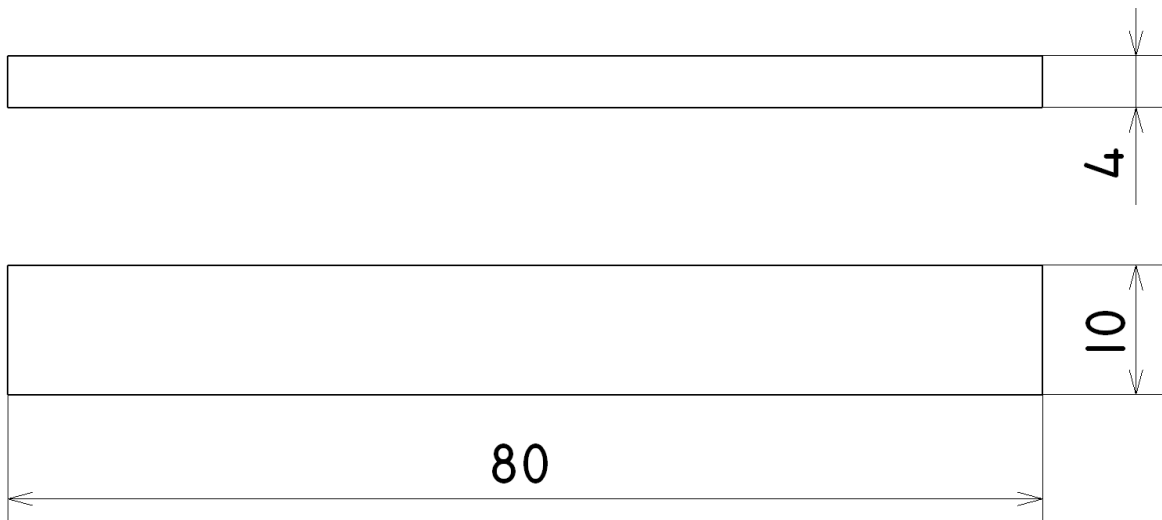
Tab. 12. Fyzikální a mechanické vlastnosti (při 23 °C) lepidla Plexus MA832. [17]

Vlastnost	LEPIDLO	AKTIVÁTOR
Barva	bílá	šedá
Směsný poměr objemový	10	1
Směsný poměr váhový	8,86	1
Hustota [kgm^{-3}]	970	1110
Pevnost v tahu [MPa]	24,1 – 27,6	
Deformace k selhání [%]	80	
Kohezní pevnost [MPa]	15,9 – 19,3	

8 VÝROBA A MĚŘENÍ PEVNOSTI LEPENÝCH SPOJŮ

8.1 Výroba zkušebních vzorků

Zkušební vzorky byly vyrobeny vstříkáním, v dílnách Ústavu výrobního inženýrství, na vstříkovací stroji Arburg 420C Advanced. Tvar a rozměry vzorků jsou shodné s rozměry uvedenými v normě ČSN EN ISO 527 – 2 (Obr. 16). Z materiálů PS, PA-6 (plněný a neplněný), LDPE, PP a PC bylo zhotoveno vždy 30 zkušebních vzorků a obdélníkových pásků pro přeplátování (Obr. 15) pro každý materiál (celkem 180 zkušebních vzorků a 180 pásků) a z materiálu HDPE bylo zhotoveno 210 vzorků a pásků. Celkem tedy bylo vyrobeno 390 zkušebních vzorků a pásků pro přeplátování, díky kterým byla zjišťována pevnost lepených spojů.



Obr. 15. Tvar a rozměry pásku pro přeplátování.



Obr. 16. Zkušební vzorek a pásek pro přeplátování.

8.1.1 Vstříkovací stroj Arburg 420C Advanced

U vstříkovacího stroje Arburg 420C Advanced (Obr. 17) se spojuje nejosvědčenější technika s inovačním 32-bitovým multiprocesorovým řídicím systémem Selogica. Tato výkonná kombinace je robustní, má dlouhou životnost a díky své flexibilitě a modulární konstrukci je předurčena pro univerzální řešení všech úkolů v oblasti vstříkování.

Modulární koncepce umožňuje velké množství různých, individuálně konfigurovatelných kombinací. Řídicí systém, hydraulika, rozměry upínacích desek, uzavírací síly i vstříkovací jednotky jsou k dispozici ve formě modulů v montážních stupních, vyhovujících požadavkům praxe. [10]



Obr. 17. Vstříkovací stroj Arburg 420C Advanced. [18]

Tab. 13. Technická data vstříkovacího stroje Arburg 420 C. [18]

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
Vstříkovací rychlost	max. 182 cm ³ /s
Krouticí moment šneku	max. 430 Nm
Přítlačná síla trysky	max. 60 kN

8.2 Příprava zkušebních vzorků

Bezprostředně po vystříknutí byly zkušební vzorky a pásky pro přelátování z materiálu HDPE převezeny do firmy BGS Beta-Gama-Service GmbH & Co. KG, kde byly následně ozářeny ionizačním beta zářením o dávkách 33, 66, 99, 132, 165 a 198 kGy.

Před vlastní konstrukcí lepených spojů byly zkušební vzorky a pásky rozstříhány v polovině své délky (Obr. 18) a poté byly zbaveny prachu a mastnoty.



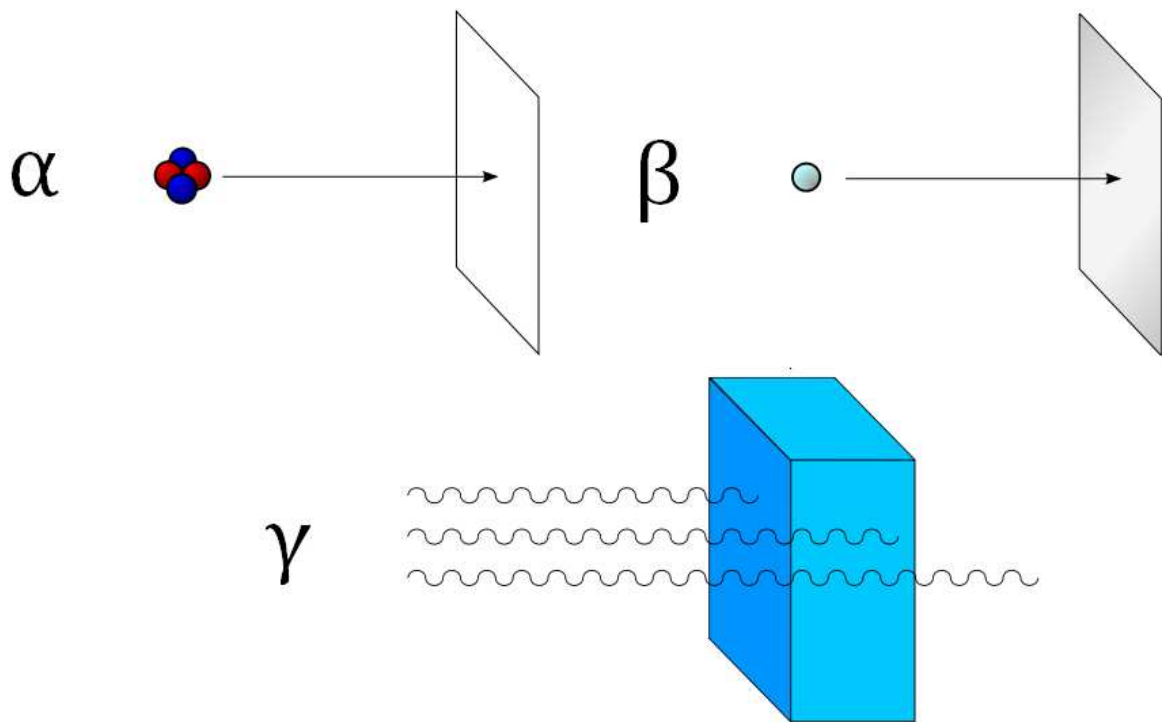
Obr. 18. Příprava zkušebních vzorků.

8.2.1 Ionizační záření

U ionizačního záření mají kvanta natolik vysokou energii, že jsou schopna vyrážet elektrony z atomového obalu a tím látku ionizovat. Vyskytuje se ve formě korpuskulárního nebo elektromagnetického záření. Korpuskulární záření je druh částicového záření představující proud částic o uspořádaném pohybu s nenulovou klidovou hmotností, pohybující se rychlostí menší než rychlost světla. Elektromagnetické záření je záření ve tvaru příčné vlny charakterizované dvěma na sebe navzájem kolmými vektory. Kvanta tohoto záření nemají klidovou hmotnost a pohybují se rychlostí světla.

Mezi základní druhy ionizačního záření patří záření alfa, beta a gama (Obr. 19). Jak již bylo zmíněno, tak pro ozáření zkušebních vzorků bylo použito ionizační beta záření. Beta částice mají stejnou hmotnost jako elektrony, ale mohou být buď negativně nebo pozitivně

nabité. Díky svým malým rozměrům a náboji proniknou snadněji materiálem než alfa částice, ale jsou snadněji odchýlitelné. Jejich vysoká rychlost, obvykle blíží se rychlosti světla, znamená, že jsou lehce ionizující. Beta záření může pronikat materiály s nízkou hustotou nebo malou tloušťkou. K jejich zastavení stačí vrstva vzduchu silná jeden metr nebo kovu o šířce jeden milimetr. [14, 19]



Obr. 19. Záření alfa, beta a gama. [20]

Beta záření má výrazně vyšší prostup materiálem než alfa částice, ale vzhledem k nepravidelné trase elektronu v materiálu nelze jejich hloubku průniku přesně definovat. Maximální hloubku však lze odhadnout a její hodnota se liší podle typu polymeru a kompozitu a to především v závislosti na hustotě materiálu. [14]

Polymery se ozařují převážně ze dvou hlavních důvodů. Prvním důvodem je, aby došlo k jisté modifikaci materiálu a tím ke zlepšení jeho vlastností a druhým důvodem je sterilizace materiálu od nežádoucích látek. Ionizační beta záření způsobuje zlepšení následující vlastností:

- zlepšení mechanických vlastností (nárůst Youngova modulu pružnosti, zvýšení pevnosti, snížení poměrného prodloužení při přetržení, zlepšení meze únavy, zvýšení pevnosti studených spojů, nárůst tvrdosti, zlepšení oděruvzdornosti a zlepšení chování při dlouhodobém zatížení vnitřním přetlakem),

- zlepšení tepelných vlastností (zlepšení tvarové stálosti za tepla, zlepšení trvalé deformace při zatížení tlakem, zvýšení tepelné odolnosti a odolnosti proti stárnutí),
- zlepšení chemických vlastností (zvýšení rozpustnosti, zlepšení odolnosti proti bobtnání, zvýšení odolnosti proti trhlinám způsobeným pnutí, zlepšení odolnosti proti hydrolýze a zvýšení olejuvzdornosti).

Tyto zlepšení jsou však závislé na typu ozářovaného polymeru a dávce ozáření. Každý polymerní materiál se po ozáření chová jinak a nelze čekat, že dojde ke zlepšení ve všech oblastech. [14]

8.3 Lepení zkušebních vzorků

8.3.1 Příprava lepidel

Sekundové lepidlo nevyžadovalo před samotnou konstrukcí spoje žádnou významnou přípravu. Naopak pro aplikaci dvousložkových methakrylátových lepidel firmy ITW Plexus bylo nutné použít vytačovací pistole (Obr. 20 a 21) a statické mixéry, které sloužily ke smísení jednotlivých složek a dosažení dokonale homogenní směsi.



Obr. 20. Vytačovací pistole pro lepidlo Plexus MA310.



Obr. 21. Vytačovací pistole pro lepidla Plexus MA422 a MA832.

8.3.2 Konstrukce lepeného spoje

Pro lepení zkušebních vzorků byl z hlediska dostatečné pevnosti zvolen čelní spoj se dvěma příložkami (Obr. 22).



Obr. 22. Čelní spoj se dvěma příložkami.

Vlastní lepení probíhalo v dílnách Ústavu výrobního inženýrství. Nastřihané zkušební vzorky (ozářené i neozářené) byly vloženy do předem zhotovených přípravků (Obr. 23). Přípravky sloužily k dodržení kvality a přesnosti lepených spojů. Byly vyrobeny frézováním a každý z nich sloužil k zajištění pěti zkušebních vzorků. Celkem bylo zhotoveno osm přípravků.



Obr. 23. Přípravek pro lepení.

Lepidlo bylo nanášeno v dostatečně silné vrstvě na jednu stranu pásku, určeného pro přeplátování, a ten byl následně přiložen na lepený vzorek. Vrstva lepidla se pohybovala v rozmezí jednoho až čtyř milimetrů. Po uplynutí doby, která byla potřeba pro vytvoření dostatečně pevného spoje, byly vzorky otočeny a následovalo přeplátování druhé strany, které probíhalo naprosto totožně. Doba vytvrzování byla u všech lepených vzorků minimálně 72 hodin.



Obr. 24. Výsledný spoj.

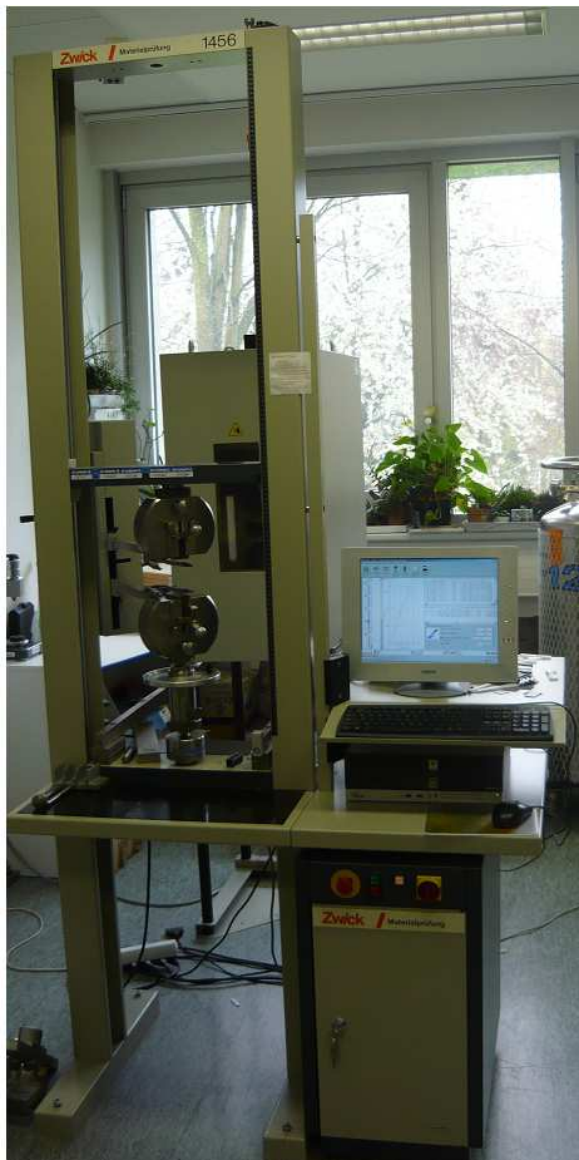
8.4 Měření pevnosti lepených spojů

Pevnost lepených spojů byla zjišťována tahovou zkouškou na trhacím stroji Zwick 1456 (Obr. 25), v dílnách Ústavu výrobního inženýrství. Naměřené hodnoty byly vyhodnoceny softwarem TestExpert, který je součástí trhacího stroje.

Zkoušky pevnosti lepených spojů probíhaly ve dvou etapách. Nejprve byla zjišťována pevnost lepených spojů u neozářených polymerů a poté u polymerů (HDPE), které byly ozářeny ionizačním beta zářením o dávkách 33, 66, 99, 132, 165 a 198 kGy. Zkušební vzorky byly zatěžovány na trhacím stroji Zwick jednoosým tahem při teplotě okolí 23 °C. Naměřené hodnoty byly vyneseny do tabulek a následně byl stanoven aritmetický průměr (Rov. 1) a střední kvadratická chyba (Rov. 2). Poté byly ze získaných hodnot sestaveny grafy.

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

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



Obr. 25. Trhací stroj Zwick a způsob upnutí zkušebního tělesa.

Tab. 14. Technické údaje trhacího stroje Zwick 1456.

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

9 PEVNOST LEPENÝCH SPOJŮ U NEOZÁŘENÝCH POLYMERŮ

Nejdříve byly porovnány pevnosti lepených spojů u neozářených polymerů, lepených stejnými lepidly a poté následovalo porovnání pevnosti lepených spojů se základním materiálem.

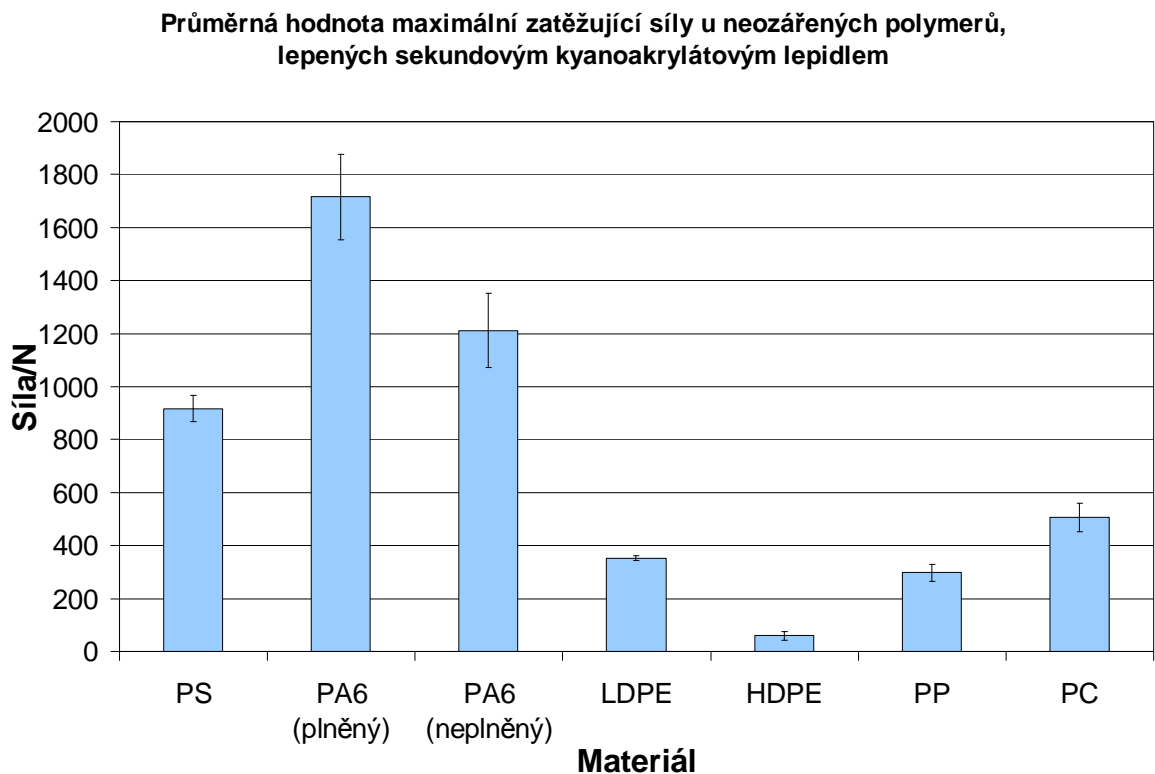
9.1 Polymery lepené stejným lepidlem

9.1.1 Sekundové kyanoakrylátové lepidlo Sheron

Tab. 15. Maximální zatěžující síla u neozářených polymerů, lepených sekundovým kyanoakrylátovým lepidlem.

SEKUNDOVÉ KYANOAKRYLÁTOVÉ LEPIDLO							
č. m.	PS (Fm [N])	PA6 plněný (Fm [N])	PA6 neplněný (Fm [N])	LDPE (Fm [N])	HDPE (Fm [N])	PP (Fm [N])	PC (Fm [N])
1	940,44	1689,06	938,01	361,38	89,08	222,81	622,23
2	1058,91	2052,12	1661,55	366,23	92,82	202,05	511,15
3	1003,84	1074,69	1249,56	316,49	17,54	346,97	416,96
4	769,58	2066,84	1422,24	355,07	84,34	343,88	648,39
5	808,90	1696,06	790,37	363,41	14,21	372,24	333,55
\bar{x}	916,33	1715,75	1212,35	352,52	59,60	297,59	506,46
δ	49,66	161,05	141,50	8,22	16,02	31,54	53,47

Při zkoušení pevnosti lepených spojů, u neozářených polymerů, lepených sekundovým kyanoakrylátovým lepidlem bylo zjištěno, že nejvyšší pevnost vykazuje materiál PA6 (plněný) a nejnižší pevnost vykazuje materiál HDPE. U materiálu PA6 (plněný) byla zjištěna průměrná maximální zatěžující síla $F_m = (1715,75 \pm 161,05)N$ a u materiálu HDPE byla zjištěna průměrná maximální zatěžující síla $F_m = (59,60 \pm 16,02)N$ (Tab. 15, Obr. 26).



Obr. 26. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného sekundovým kyanoakrylátovým lepidlem, na druhu lepeného materiálu.

Z následující tabulky (Tab. 16) je patrné, že s výjimkou materiálu PS došlo během zkoušky, u většiny zkušebních vzorků, k poruše přímo v lepeném spoji. Z toho vyplývá, že u většiny lepených vzorků nedosahuje pevnost lepených spojů pevnosti základního materiálu. Naproti tomu u materiálu PS došlo u všech vzorků k poruše mimo lepený spoj, a proto lze tyto lepené spoje považovat za kvalitní.

Tab. 16. Typ porušení lepených vzorků lepených sekundovým lepidlem.

SEKUNDOVÉ KYANOAKRYLÁTOVÉ LEPIDLO – TYP PORUŠENÍ VZORKŮ							
č. m.	PS	PA6 plněný	PA6 neplněný	LDPE	HDPE	PP	PC
1	mimo spoj	ve spoji	ve spoji	mimo spoj	ve spoji	ve spoji	ve spoji
2	mimo spoj	ve spoji	mimo spoj	ve spoji	ve spoji	ve spoji	ve spoji
3	mimo spoj	ve spoji	ve spoji	ve spoji	ve spoji	ve spoji	ve spoji
4	mimo spoj	ve spoji	mimo spoj	ve spoji	ve spoji	ve spoji	ve spoji
5	mimo spoj	ve spoji	ve spoji	mimo spoj	ve spoji	ve spoji	ve spoji



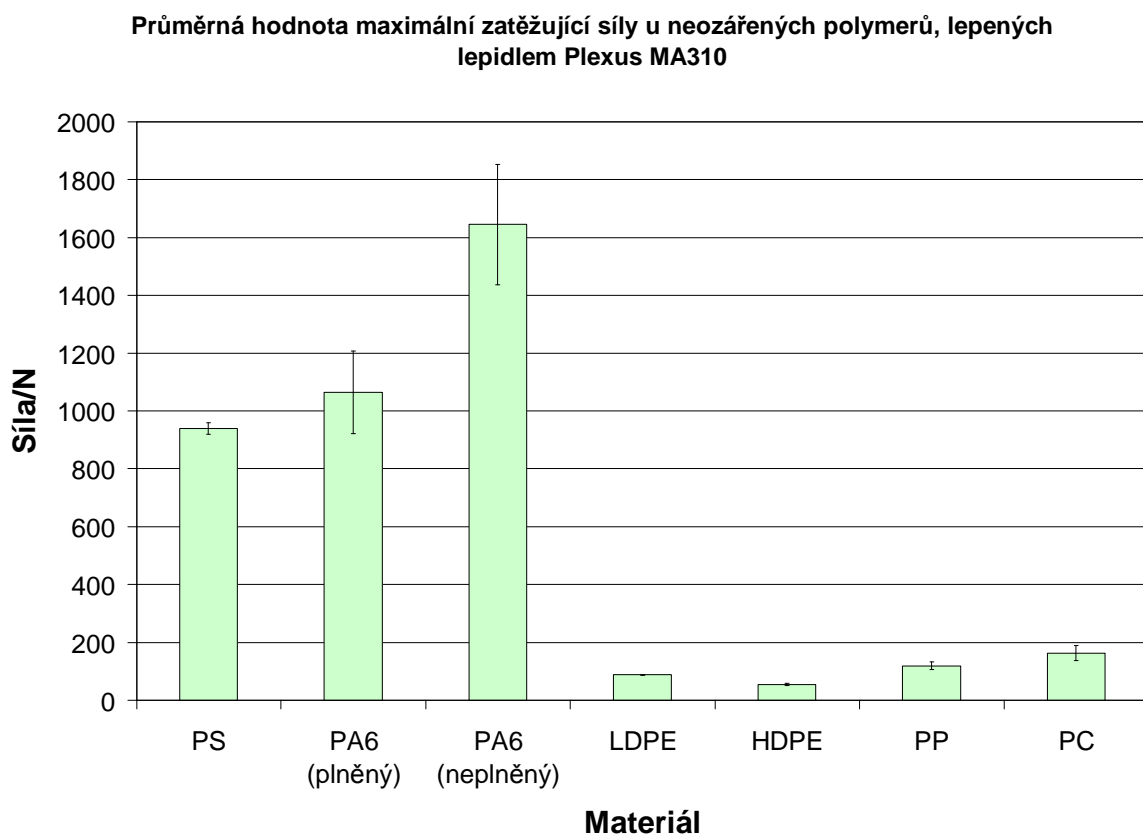
Obr. 27. Porušení spoje, u materiálu PA6 (plněný), lepeného sekundovým kyanoakrylátovým lepidlem.

9.1.2 Lepidlo Plexus MA310

Tab. 17. Maximální zatěžující síla u neozářených polymerů, lepených lepidlem Plexus MA310.

LEPIDLO PLEXUS MA310							
č. m.	PS (Fm [N])	PA6 plněný (Fm [N])	PA6 neplněný (Fm [N])	LDPE (Fm [N])	HDPE (Fm [N])	PP (Fm [N])	PC (Fm [N])
1	971,61	803,07	2225,00	90,79	48,91	114,38	181,96
2	987,64	1112,04	1152,95	84,58	41,30	111,42	159,24
3	967,94	1504,94	1273,34	90,79	56,02	174,14	181,96
4	876,70	1285,87	1382,25	86,54	54,39	86,78	232,66
5	895,58	619,32	2190,98	87,70	70,68	109,57	58,32
\bar{x}	939,89	1065,05	1644,90	88,08	54,26	119,26	162,83
δ	20,03	143,08	208,21	1,09	4,33	13,03	25,72

Při zkoušení pevnosti lepených spojů, u neozářených polymerů, lepených lepidlem Plexus MA310 bylo zjištěno, že nejvyšší pevnost vykazuje materiál PA6 (neplněný) a nejnižší pevnost vykazuje materiál HDPE. U materiálu PA6 (neplněný) byla zjištěna průměrná maximální zatěžující síla $F_m = (1644,90 \pm 208,21)N$ a u materiálu HDPE byla zjištěna průměrná maximální zatěžující síla $F_m = (54,26 \pm 4,33)N$ (Tab. 17, Obr. 28).

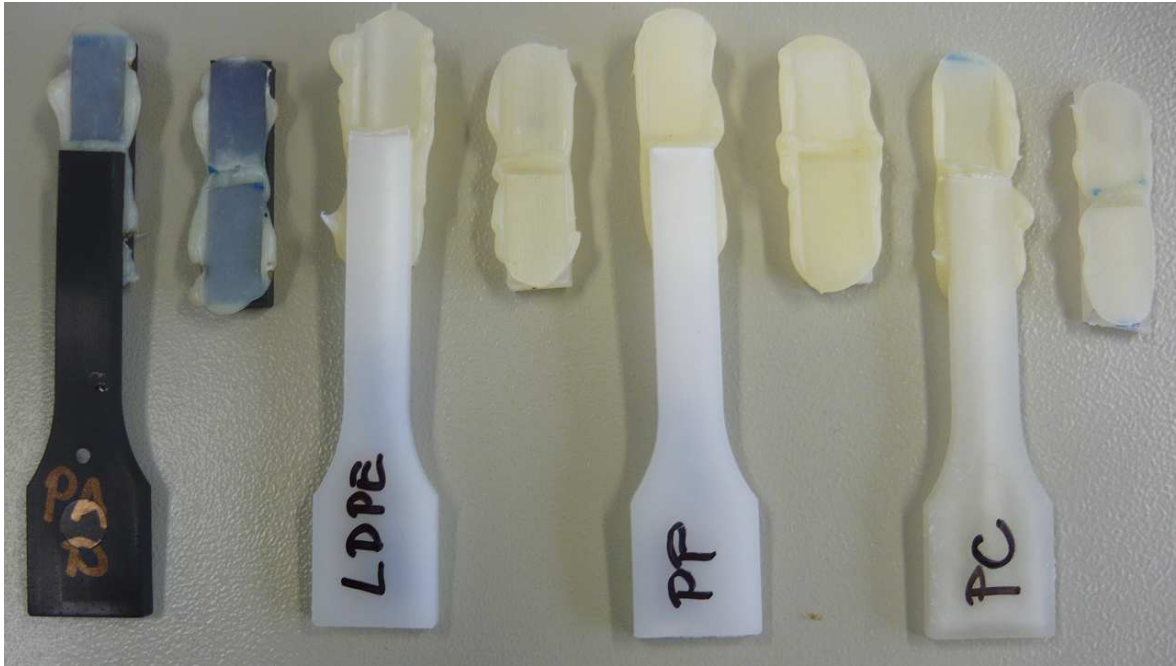


Obr. 28. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného lepidlem Plexus MA310, na druhu lepeného materiálu.

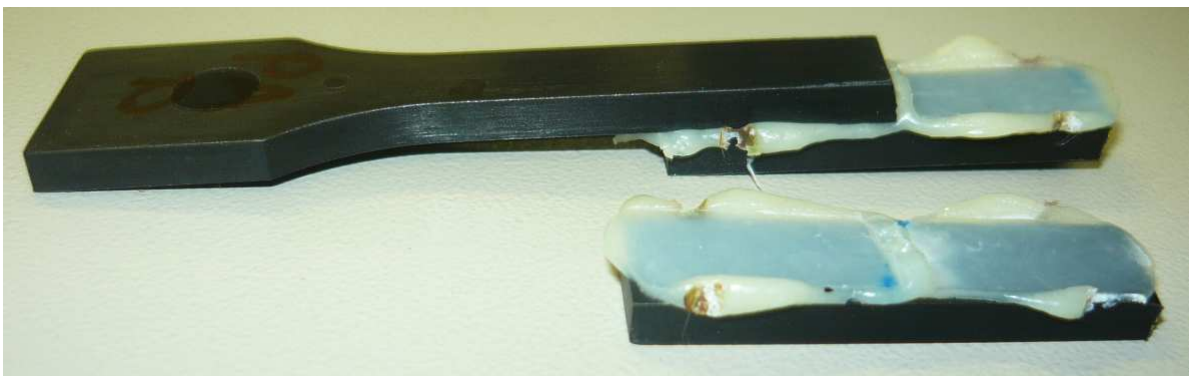
Z následující tabulky (Tab. 18) je patrné, že s výjimkou materiálů PS a PA6 (neplněný) došlo během zkoušky, u většiny zkušebních vzorků, k poruše přímo v lepeném spoji. Z toho vyplývá, že u většiny lepených vzorků nedosahuje pevnost lepených spojů pevnosti základního materiálu. Naproti tomu u materiálů PS a PA6 (neplněný) došlo u všech vzorků k poruše mimo lepený spoj, a proto lze tyto lepené spoje považovat za kvalitní.

Tab. 18. Typ porušení lepených vzorků lepených lepidlem Plexus MA310.

LEPIDLO PLEXUS MA310 – TYP PORUŠENÍ VZORKŮ							
č. m.	PS	PA6 plněný	PA6 neplněný	LDPE	HDPE	PP	PC
1	mimo spoj	ve spoji	mimo spoj	ve spoji	ve spoji	ve spoji	ve spoji
2	mimo spoj	ve spoji	mimo spoj	ve spoji	ve spoji	ve spoji	ve spoji
3	mimo spoj	ve spoji	mimo spoj	ve spoji	ve spoji	ve spoji	ve spoji
4	mimo spoj	ve spoji	mimo spoj	ve spoji	ve spoji	ve spoji	ve spoji
5	mimo spoj	ve spoji	mimo spoj	ve spoji	ve spoji	ve spoji	ve spoji



Obr. 29. Porušení spojů, u neozářených polymerů, lepených lepidlem Plexus MA310.



Obr. 30. Porušení spoje, u materiálu PA6 (plněný), lepeného lepidlem Plexus MA310.

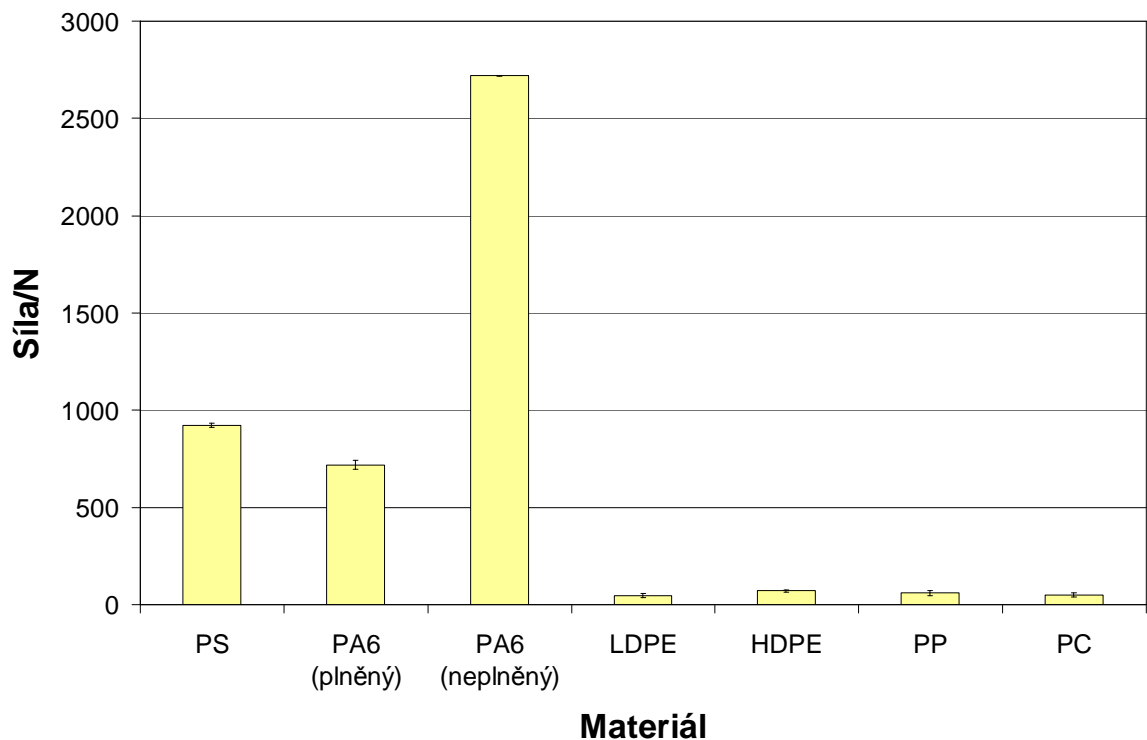
9.1.3 Lepidlo Plexus MA422

Při zkoušení pevnosti lepených spojů, u neozářených polymerů, lepených lepidlem Plexus MA422 bylo zjištěno, že nejvyšší pevnost vykazuje materiál PA6 (neplněný) a nejnižší pevnost vykazuje materiál LDPE. U materiálu PA6 (neplněný) byla zjištěna průměrná maximální zatěžující síla $F_m = (2719,49 \pm 1,47)N$ a u materiálu LDPE byla zjištěna průměrná maximální zatěžující síla $F_m = (45,88 \pm 10,76)N$ (Tab. 19, Obr. 31).

Tab. 19. Maximální zatěžující síla u neozářených polymerů, lepených lepidlem Plexus MA422.

LEPIDLO PLEXUS MA422							
č. m.	PS (Fm [N])	PA6 plněný (Fm [N])	PA6 neplněný (Fm [N])	LDPE (Fm [N])	HDPE (Fm [N])	PP (Fm [N])	PC (Fm [N])
1	921,80	739,53	2717,48	70,23	80,54	36,36	37,39
2	937,83	643,72	2722,05	13,25	72,88	16,96	49,54
3	908,96	763,21	2713,98	75,52	82,26	56,34	63,92
4	961,00	665,07	2722,49	43,26	63,79	93,86	85,38
5	883,77	785,22	2721,43	27,15	54,73	92,76	15,31
\bar{x}	922,67	719,35	2719,49	45,88	70,84	59,26	50,31
δ	11,66	24,77	1,47	10,76	4,64	13,63	10,60

Průměrná hodnota maximální zatěžující síly u neozářených polymerů, lepených lepidlem Plexus MA422

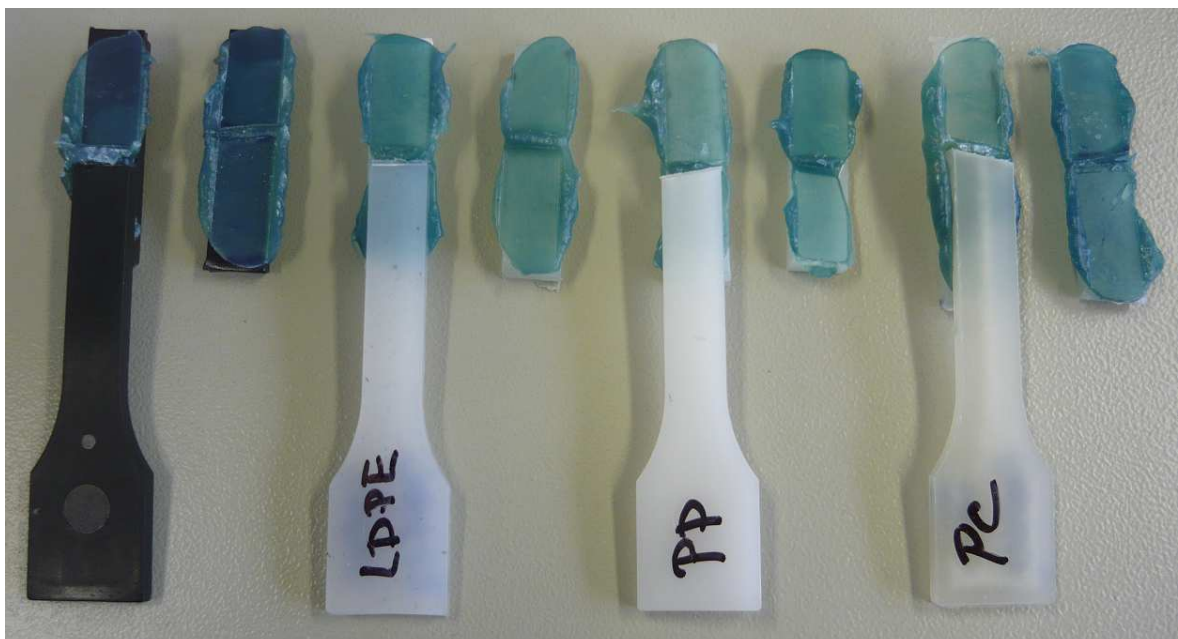


Obr. 31. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného lepidlem Plexus MA422, na druhu lepeného materiálu.

Z následující tabulky (Tab. 20) je patrné, že s výjimkou materiálů PS a PA6 (neplněný) došlo během zkoušky, u většiny zkušebních vzorků, k poruše přímo v lepeném spoji. Z toho vyplývá, že u většiny lepených vzorků nedosahuje pevnost lepených spojů pevnosti základního materiálu. Naproti tomu u materiálů PS a PA6 (neplněný) došlo u všech vzorků k poruše mimo lepený spoj, a proto lze tyto lepené spoje považovat za kvalitní.

Tab. 20. Typ porušení lepených vzorků lepených lepidlem Plexus MA422.

LEPIDLO PLEXUS MA422 – TYP PORUŠENÍ VZORKŮ							
č. m.	PS	PA6 plněný	PA6 neplněný	LDPE	HDPE	PP	PC
1	mimo spoj	ve spoji	mimo spoj	ve spoji	ve spoji	ve spoji	ve spoji
2	mimo spoj	ve spoji	mimo spoj	ve spoji	ve spoji	ve spoji	ve spoji
3	mimo spoj	ve spoji	mimo spoj	ve spoji	ve spoji	ve spoji	ve spoji
4	mimo spoj	ve spoji	mimo spoj	ve spoji	ve spoji	ve spoji	ve spoji
5	mimo spoj	ve spoji	mimo spoj	ve spoji	ve spoji	ve spoji	ve spoji



Obr. 32. Porušení spojů, u neozářených polymerů, lepených lepidlem Plexus MA422.



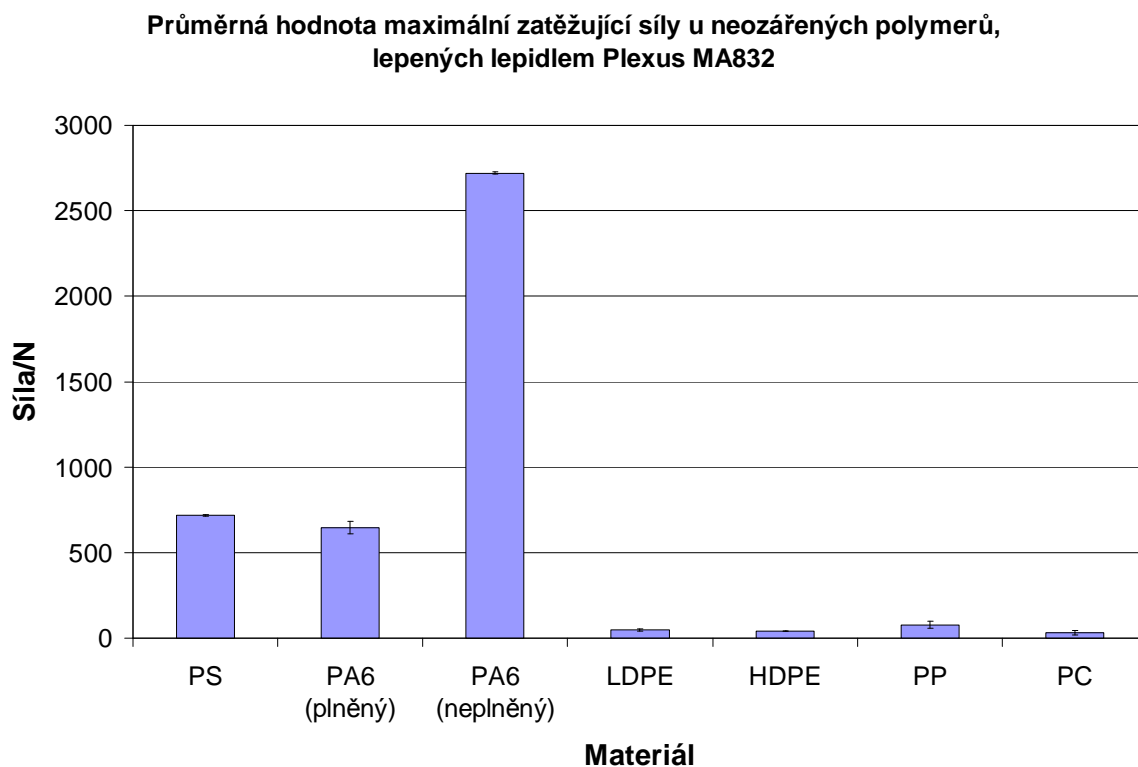
Obr. 33. Porušení spoje, u materiálu PA6 (plněný), lepeného lepidlem Plexus MA422.

9.1.4 Lepidlo Plexus MA832

Tab. 21. Maximální zatěžující síla u neozářených polymerů, lepených lepidlem Plexus MA832.

LEPIDLO PLEXUS MA832							
č. m.	PS (Fm [N])	PA6 plněný (Fm [N])	PA6 neplněný (Fm [N])	LDPE (Fm [N])	HDPE (Fm [N])	PP (Fm [N])	PC (Fm [N])
1	710,53	645,75	2720,59	59,39	40,78	145,90	85,58
2	720,17	650,93	2737,28	37,80	38,28	18,26	15,79
3	734,94	659,58	2687,54	66,56	41,88	92,69	15,89
4	703,87	516,05	2735,32	37,38	41,54	88,53	15,91
5	726,15	757,35	2724,71	36,79	41,38	37,31	16,78
\bar{x}	719,13	645,93	2721,09	47,58	40,77	76,54	29,99
δ	4,93	34,35	8,01	5,71	0,58	20,15	12,43

Při zkoušení pevnosti lepených spojů, u neozářených polymerů, lepených lepidlem Plexus MA832 bylo zjištěno, že nejvyšší pevnost vykazuje materiál PA6 (neplněný) a nejnižší pevnost vykazuje materiál PC. U materiálu PA6 (neplněný) byla zjištěna průměrná maximální zatěžující síla $F_m = (2721,09 \pm 8,01)N$ a u materiálu PC byla zjištěna průměrná maximální zatěžující síla $F_m = (29,99 \pm 12,43)N$ (Tab. 21, Obr. 34).

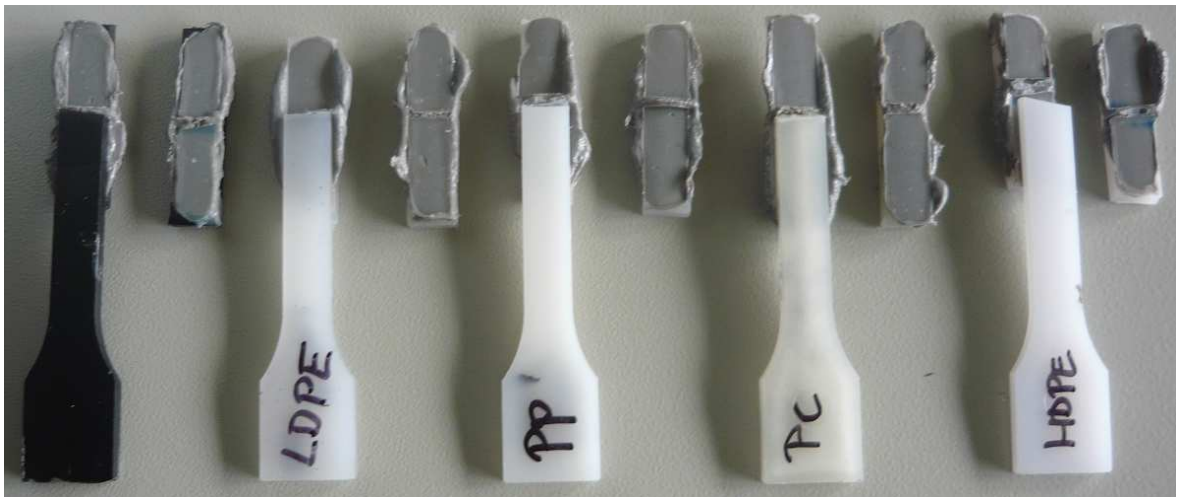


Obr. 34. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného lepidlem Plexus MA832, na druhu lepeného materiálu.

Z následující tabulky (Tab. 22) je patrné, že s výjimkou materiálů PS a PA6 (neplněný) došlo během zkoušky, u většiny zkušebních vzorků, k poruše přímo v lepeném spoji. Z toho vyplývá, že u většiny lepených vzorků nedosahuje pevnost lepených spojů pevnosti základního materiálu. Naproti tomu u materiálů PS a PA6 (neplněný) došlo u všech vzorků k poruše mimo lepený spoj, a proto lze tyto lepené spoje považovat za kvalitní.

Tab. 22. Typ porušení lepených vzorků lepených lepidlem Plexus MA832.

LEPIDLO PLEXUS MA832 – TYP PORUŠENÍ VZORKŮ							
č. m.	PS	PA6 plněný	PA6 neplněný	LDPE	HDPE	PP	PC
1	mimo spoj	ve spoji	mimo spoj	ve spoji	ve spoji	ve spoji	ve spoji
2	mimo spoj	ve spoji	mimo spoj	ve spoji	ve spoji	ve spoji	ve spoji
3	mimo spoj	ve spoji	mimo spoj	ve spoji	ve spoji	ve spoji	ve spoji
4	mimo spoj	ve spoji	mimo spoj	ve spoji	ve spoji	ve spoji	ve spoji
5	mimo spoj	ve spoji	mimo spoj	ve spoji	ve spoji	ve spoji	ve spoji

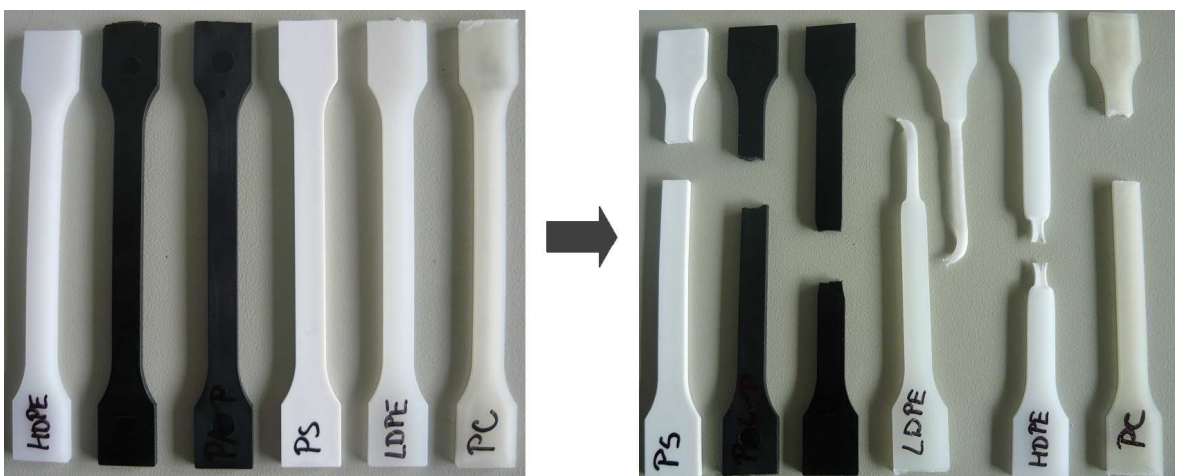


Obr. 35. Porušení spojů, u neozářených polymerů, lepených lepidlem Plexus MA832.



Obr. 36. Porušení spoje, u materiálu PA6 (plněný), lepeného lepidlem Plexus MA832.

9.2 Porovnání pevnosti lepených spojů se základním materiálem



Obr. 37. Základní materiály neozářených polymerů před zkouškou a po zkoušce.

9.2.1 Materiál PS

Tab. 23. Velikost maximální zatěžující síly u základního materiálu PS.

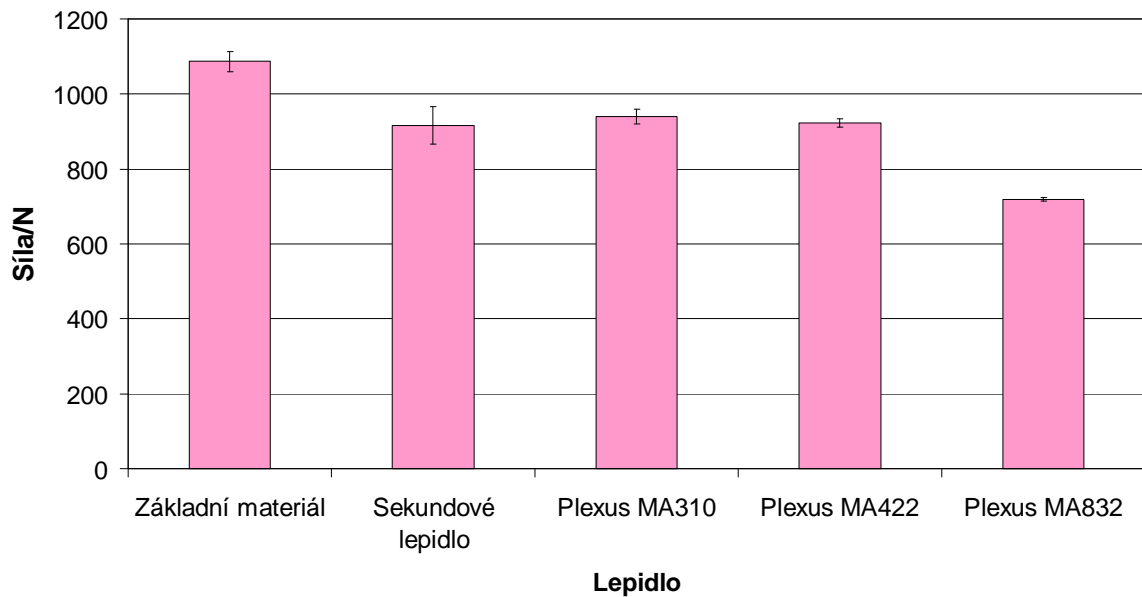
Základní materiál PS			
č. měření	Fm [N]	č. měření	Fm [N]
1	986,75	6	1187,47
2	995,43	7	1133,40
3	1022,41	8	961,58
4	1189,42	9	1073,53
5	1168,24	10	1149,40
$\bar{x} \pm \delta$	1086,76±26,79		

Tab. 24. Velikost maximální zatěžující síly u materiálu PS, lepeného různými lepidly.

Materiál PS				
č. měření	Sekundové lepidlo (Fm [N])	Plexus MA310 (Fm [N])	Plexus MA422 (Fm [N])	Plexus MA832 (Fm [N])
1	940,44	971,61	921,80	710,53
2	1058,91	987,64	937,83	720,17
3	1003,84	967,94	908,96	734,94
4	769,58	876,70	961,00	703,87
5	808,90	895,58	883,77	726,15
$\bar{x} \pm \delta$	916,334±49,66	939,894±20,03	922,672±11,66	719,132±4,93

Nejvyšší pevnosti lepených spojů z materiálu PS bylo dosaženo použitím lepidla Plexus MA310, u kterého průměrná pevnost lepeného spoje dosáhla 87 % průměrné pevnosti základního materiálu. Nejnižší pevnosti bylo dosaženo použitím lepidla Plexus MA832, u kterého průměrná pevnost lepeného spoje dosáhla 66 % průměrné pevnosti základního materiálu (Tab. 23, Tab. 24, Obr. 38). Z výsledků je patrné, že z použitých lepidel se jeví jako nejvhodnější, pro lepení materiálu PS, lepidlo Plexus MA310.

Závislost maximální zatěžující síly, u lepených spojů PS, na použitém lepidle



Obr. 38. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u materiálu PS, na použitém lepidle.

9.2.2 Materiál PA6 (plněný)

Tab. 25. Velikost maximální zatěžující síly u základního materiálu PA6 (plněný).

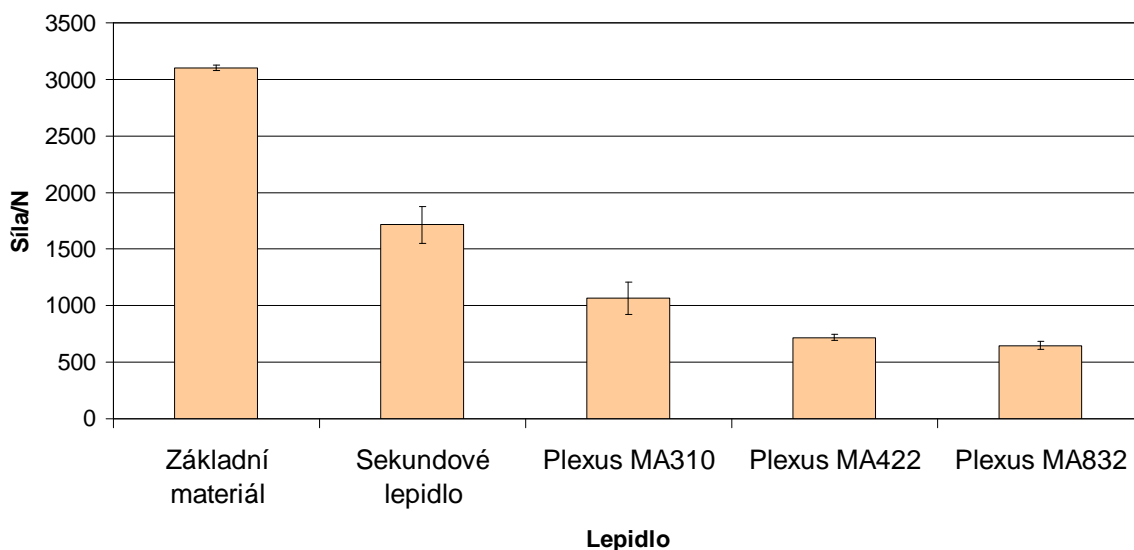
Základní materiál PA6 (plněný)	
č. měření	Fm [N]
1	3082,24
2	3097,52
3	3025,39
4	3156,18
5	3159,72
$\bar{x} \pm \delta$	3104,21±22,38

Tab. 26. Velikost maximální zatěžující síly u materiálu PA6 (plněný), lepeného různými lepidly.

Materiál PA6 (plněný)				
č. měření	Sekundové lepidlo (Fm [N])	Plexus MA310 (Fm [N])	Plexus MA422 (Fm [N])	Plexus MA832 (Fm [N])
1	1689,06	803,07	739,53	645,75
2	2052,12	1112,04	643,72	650,93
3	1074,69	1504,94	763,21	659,58
4	2066,84	1285,87	665,07	516,05
5	1696,06	619,32	785,22	757,35
$\bar{x} \pm \delta$	1715,75±161,05	1065,05±143,08	719,35±24,77	645,93±34,35

Nejvyšší pevnosti lepených spojů z materiálu PA6 (plněný) bylo dosaženo použitím sekundového kyanoakrylátového lepidla, u kterého průměrná pevnost lepeného spoje dosáhla 55 % průměrné pevnosti základního materiálu. Nejnižší pevnosti bylo dosaženo použitím lepidla Plexus MA832, u kterého průměrná pevnost lepeného spoje dosáhla pouze 21 % průměrné pevnosti základního materiálu (Tab. 25, Tab. 26, Obr. 39). Z výsledků je patrné, že z použitých lepidel se jeví jako nejvhodnější, pro lepení materiálu PA6 (plněný), sekundové kyanoakrylátové lepidlo.

Závislost maximální zatěžující síly, u lepených spojů PA6 (plněný), na použitém lepidle



Obr. 39. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u materiálu PA6 (plněný), na použitém lepidle.

9.2.3 Materiál PA6 (neplněný)

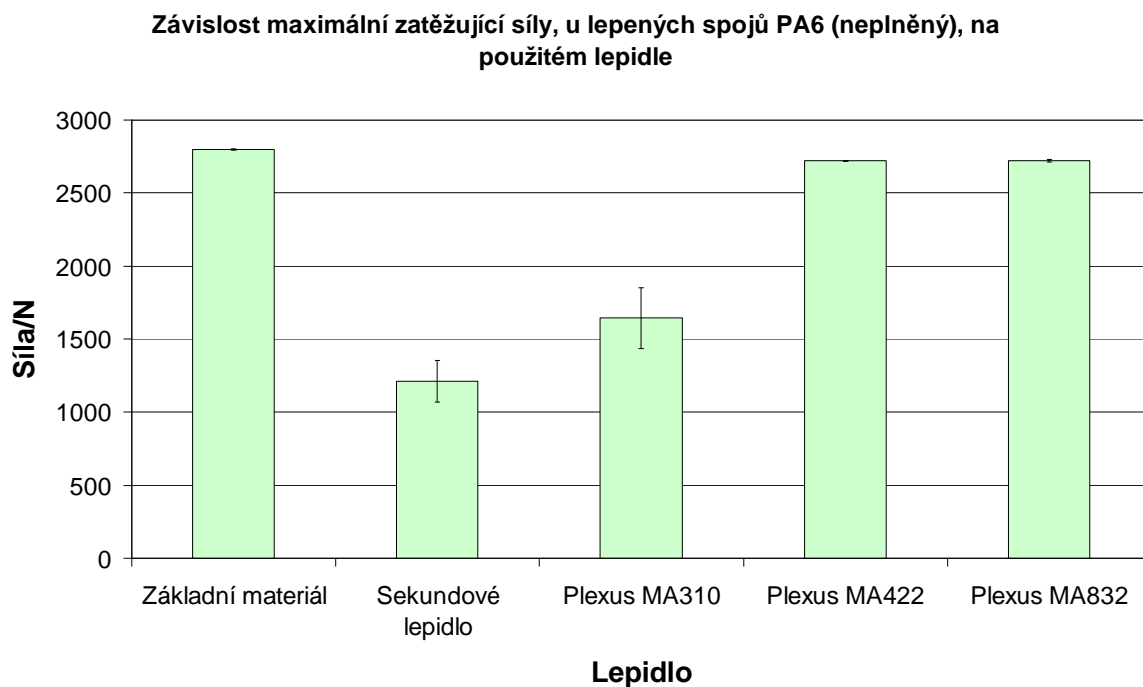
Tab. 27. Velikost maximální zatěžující síly u základního materiálu PA6 (neplněný).

Základní materiál PA6 (neplněný)			
č. měření	Fm [N]	č. měření	Fm [N]
1	2761,99	6	2803,04
2	2805,82	7	2802,67
3	2802,91	8	2800,57
4	2802,63	9	2792,64
5	2800,26	10	2801,26
$\bar{x} \pm \delta$	2797,38±3,87		

Tab. 28. Velikost maximální zatěžující síly u materiálu PA6 (neplněný), lepeného různými lepidly.

Materiál PA6 (neplněný)				
č. měření	Sekundové lepidlo (Fm [N])	Plexus MA310 (Fm [N])	Plexus MA422 (Fm [N])	Plexus MA832 (Fm [N])
1	938,01	2225,00	2717,48	2720,59
2	1661,55	1152,95	2722,05	2737,28
3	1249,56	1273,34	2713,98	2687,54
4	1422,24	1382,25	2722,49	2735,32
5	790,37	2190,98	2721,43	2724,71
$\bar{x} \pm \delta$	1212,35±141,50	1644,90±208,21	2719,49±1,47	2721,09±8,01

Nejvyšších pevností lepených spojů z materiálu PA6 (neplněný) bylo dosaženo použitím lepidel Plexus MA422 a MA832, u kterých průměrná pevnost lepeného poje dosáhla u obou lepidel 97 % průměrné pevnosti základního materiálu. Naopak nejnižších pevností bylo dosaženo použitím sekundového lepidla a lepidla Plexus MA310, u kterých průměrná pevnost lepeného spoje dosáhla 43 a 59 % průměrné pevnosti základního materiálu. (Tab. 27, Tab. 28, Obr. 40). Z výsledků je patrné, že z použitých lepidel se jeví jako nejvhodnější, pro lepení materiálu PA6 (neplněný), lepidla Plexus MA422 a MA832.



Obr. 40. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u materiálu PA6 (neplněný), na použitém lepidle.

9.2.4 Materiál LDPE

Tab. 29. Velikost maximální zatěžující síly u základního materiálu LDPE.

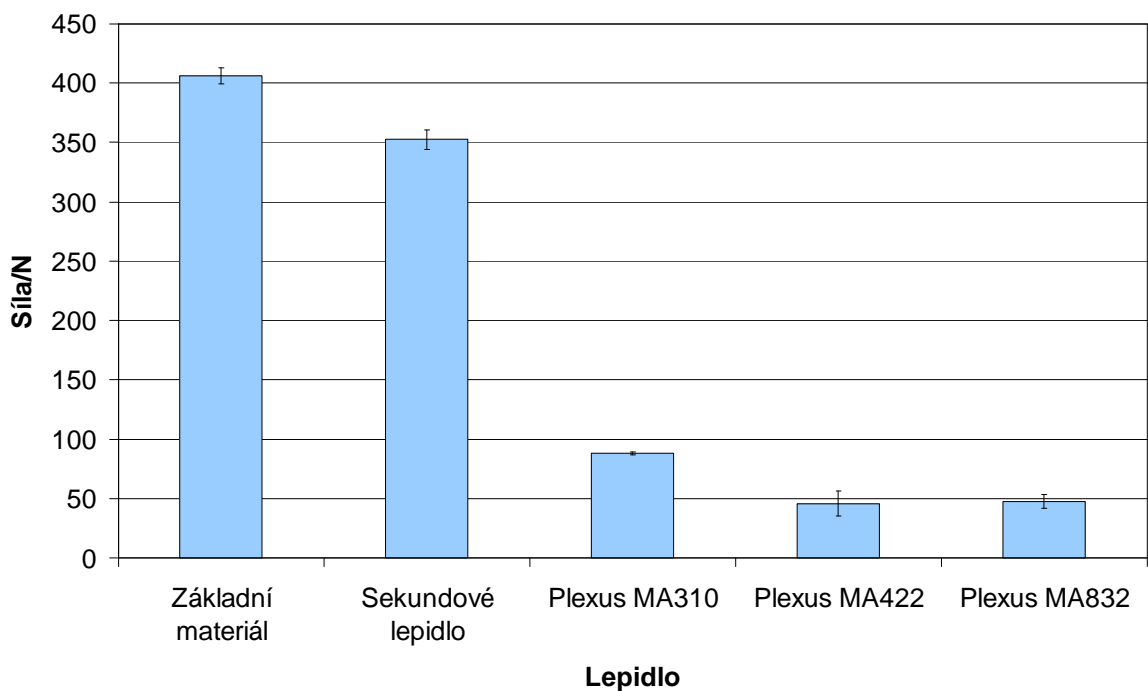
Základní materiál LDPE	
č. měření	Fm [N]
1	377,62
2	414,76
3	405,90
4	419,84
5	412,05
$\bar{x} \pm \delta$	406,03±6,66

Tab. 30. Velikost maximální zatěžující síly u materiálu LDPE, lepeného různými lepidly.

Materiál LDPE				
č. měření	Sekundové lepidlo (Fm [N])	Plexus MA310 (Fm [N])	Plexus MA422 (Fm [N])	Plexus MA832 (Fm [N])
1	361,38	90,79	70,23	59,39
2	366,23	84,58	13,25	37,80
3	316,49	90,79	75,52	66,56
4	355,07	86,54	43,26	37,38
5	363,41	87,70	27,15	36,79
$\bar{x} \pm \delta$	352,52±8,22	88,08±1,09	45,88±10,76	47,58±5,71

Nejvyšší pevnosti lepených spojů z materiálu LDPE bylo dosaženo použitím sekundového kyanoakrylátového lepidla, u kterého průměrná pevnost lepeného spoje dosáhla 87 % průměrné pevnosti základního materiálu. Naopak nejnižších pevností bylo dosaženo použitím lepidel Plexus MA422 a MA832, u kterých průměrná pevnost lepeného spoje dosáhla pouze 11 a 12 % průměrné pevnosti základního materiálu. (Tab. 29, Tab. 30, Obr. 41)

Závislost maximální zatěžující síly, u lepených spojů LDPE, na použitém lepidle



Obr. 41. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u materiálu LDPE, na použitém lepidle.

Z výsledků je patrné, že z použitých lepidel se jeví jako nejvhodnější, pro lepení materiálu LDPE, sekundové kyanoakrylátové lepidlo.

9.2.5 Materiál HDPE

Tab. 31. Velikost maximální zatěžující síly u základního materiálu HDPE.

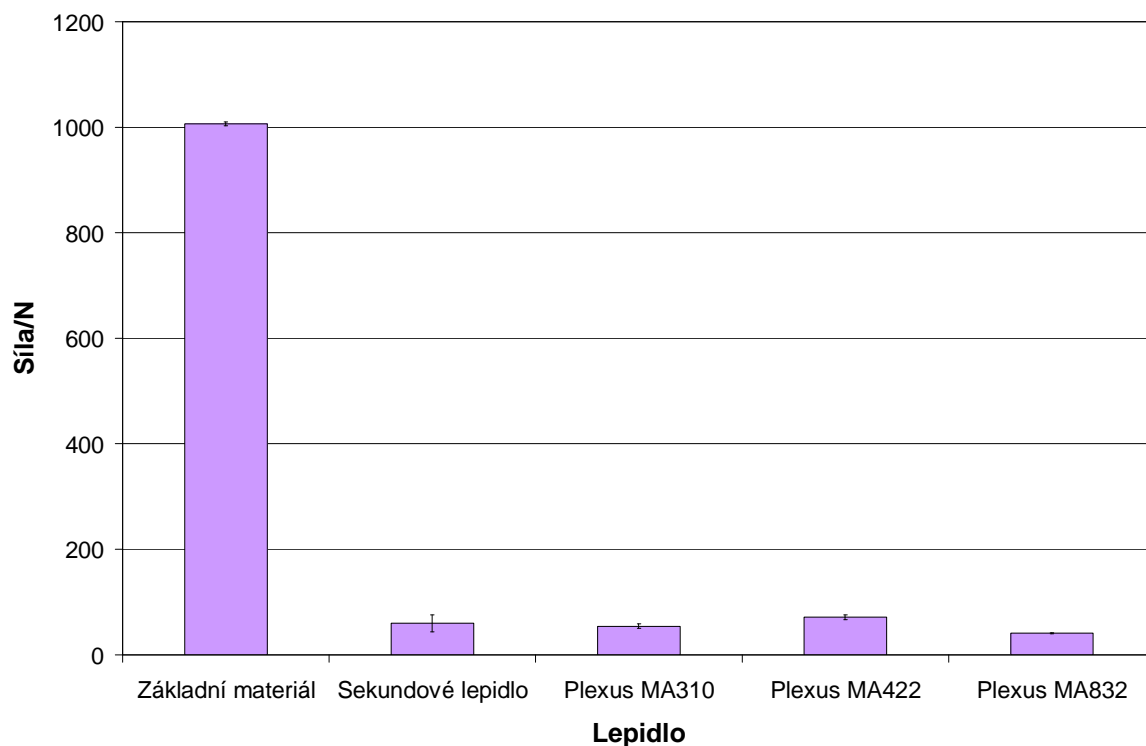
Základní materiál HDPE			
č. měření	Fm [N]	č. měření	Fm [N]
1	994,77	6	1010,56
2	1018,77	7	979,87
3	1020,96	8	1003,15
4	1014,55	9	994,60
5	1021,55	10	1006,92
$\bar{x} \pm \delta$	1006,57±4,08		

Tab. 32. Velikost maximální zatěžující síly u materiálu HDPE, lepeného různými lepidly.

Materiál HDPE				
č. měření	Sekundové lepidlo (Fm [N])	Plexus MA310 (Fm [N])	Plexus MA422 (Fm [N])	Plexus MA832 (Fm [N])
1	89,08	48,91	80,54	40,78
2	92,82	41,30	72,88	38,28
3	17,54	56,02	82,26	41,88
4	84,34	54,39	63,79	41,54
5	14,21	70,68	54,73	41,38
$\bar{x} \pm \delta$	59,60±16,02	54,26±4,33	70,84±4,64	40,77±0,58

U všech použitých lepidel dosahovala průměrná pevnost lepených spojů maximálně 7 % průměrné pevnosti základního materiálu (Tab. 31, Tab. 32, Obr. 42). Z výsledků je patrné, že ani jedno z použitých lepidel není vhodné pro lepení materiálu HDPE.

Závislost maximální zatěžující síly, u lepených spojů HDPE, na použitém lepidle



Obr. 42. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u materiálu HDPE, na použitém lepidle.

9.2.6 Materiál PC

Tab. 33. Velikost maximální zatěžující síly u základního materiálu PC.

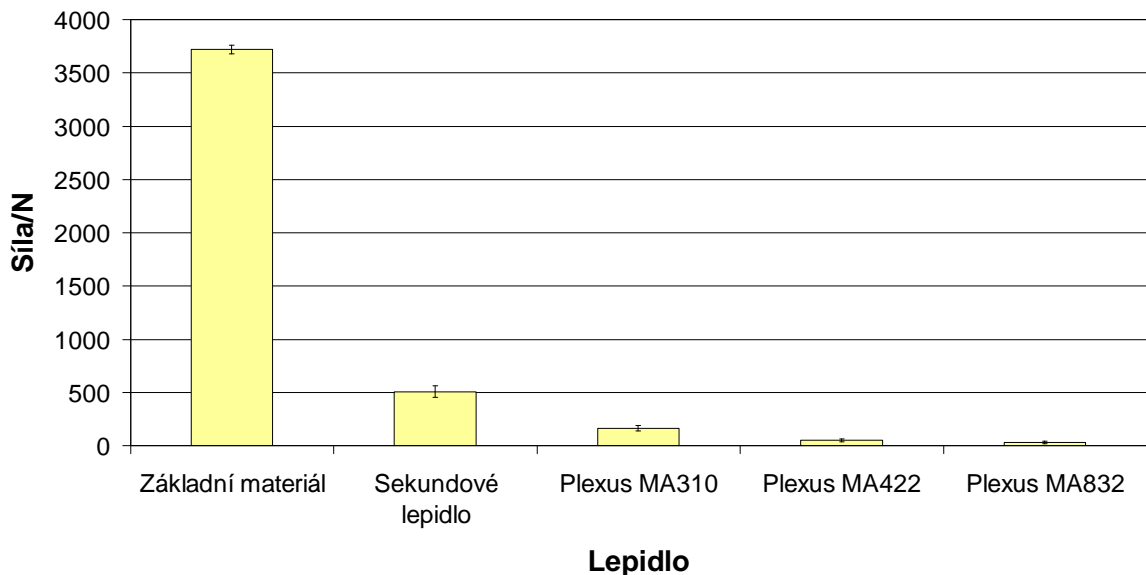
Základní materiál PC	
č. měření	F _m [N]
1	3828,87
2	3841,29
3	3640,30
4	3645,04
5	3650,70
$\bar{x} \pm \delta$	3721,24±41,63

Tab. 34. Velikost maximální zatěžující síly u materiálu PC, lepeného různými lepidly.

Materiál PC				
č. měření	Sekundové lepidlo (Fm [N])	Plexus MA310 (Fm [N])	Plexus MA422 (Fm [N])	Plexus MA832 (Fm [N])
1	622,23	181,96	37,39	85,58
2	511,15	159,24	49,54	15,79
3	416,96	181,96	63,92	15,89
4	648,39	232,66	85,38	15,91
5	333,55	58,32	15,31	16,78
$\bar{x} \pm \delta$	506,46±53,47	162,83±25,72	50,31±10,60	29,99±12,43

U všech použitých lepidel dosahovala průměrná pevnost lepených spojů maximálně 14 % průměrné pevnosti základního materiálu (Tab. 33, Tab. 34, Obr. 43). Z výsledků je patrné, že ani jedno z použitých lepidel není vhodné pro lepení materiálu PC.

**Závislost maximální zatěžující síly, u lepených spojů PC, na
použitém lepidle**



Obr. 43. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u materiálu PC, na použitém lepidle.

9.2.7 Materiál PP

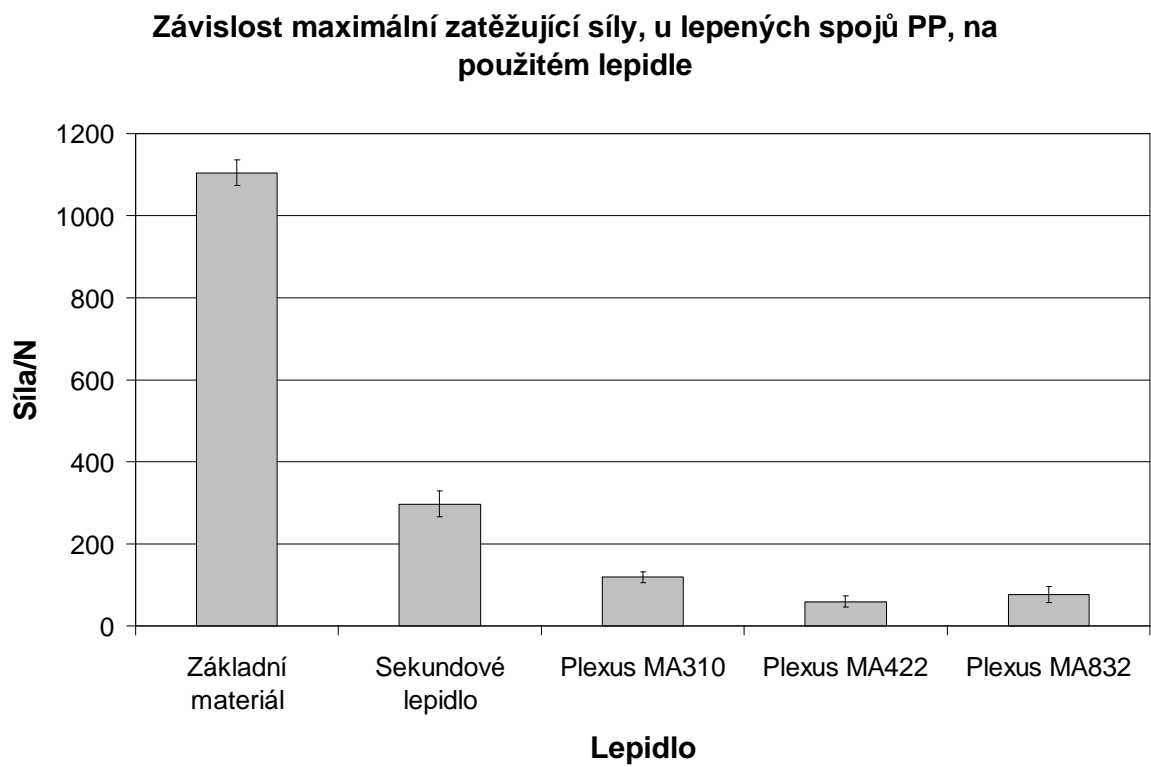
Tab. 35. Velikost maximální zatěžující síly u základního materiálu PP.

Základní materiál PP	
č. měření	Fm [N]
1	1141,65
2	1137,98
3	962,80
4	1148,83
5	1127,98
$\bar{x} \pm \delta$	1103,85±31,68

Tab. 36. Velikost maximální zatěžující síly u materiálu PP, lepeného různými lepidly.

Materiál PP				
č. měření	Sekundové lepidlo (Fm [N])	Plexus MA310 (Fm [N])	Plexus MA422 (Fm [N])	Plexus MA832 (Fm [N])
1	222,81	114,38	36,36	145,90
2	202,05	111,42	16,96	18,26
3	346,97	174,14	56,34	92,69
4	343,88	86,78	93,86	88,53
5	372,24	109,57	92,76	37,31
$\bar{x} \pm \delta$	297,59±31,54	119,26±13,03	59,26±13,63	76,54±20,15

U všech použitých lepidel dosahovala průměrná pevnost lepených spojů maximálně 27 % průměrné pevnosti základního materiálu (Tab. 35, Tab. 36, Obr. 44). Z výsledků je patrné, že ani jedno z použitých lepidel není vhodné pro lepení materiálu PP.



Obr. 44. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u materiálu PP, na použitém lepidle.

10 PEVNOST LEPENÝCH SPOJŮ U OZÁŘENÝCH POLYMERŮ

V této části experimentu byl zkoumán vliv ozáření, u materiálu HDPE, na pevnost spoje. Jak již bylo uvedeno dříve, tak materiál HDPE byl ozářen ionizačním beta zářením o dávkách 33, 66, 99, 132, 165 a 198 kGy. V první části byly porovnány pevnosti lepených spojů u polymerů lepených stejnými lepidly a ve druhé části následovalo porovnání pevnosti lepených spojů se základním materiálem.

10.1 Polymery lepené stejným lepidlem

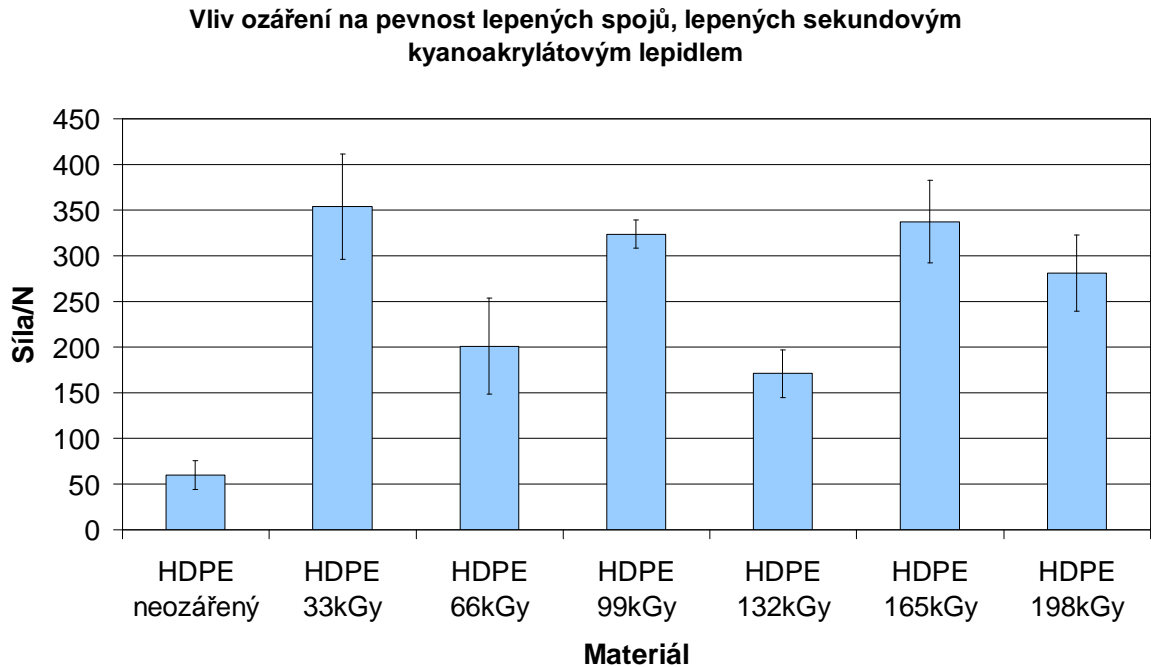
10.1.1 Sekundové kyanoakrylátové lepidlo Sheron

Tab. 37. Maximální zatěžující síla u materiálu HDPE, ozářeného různými dávkami záření, lepeného sekundovým kyanoakrylátovým lepidlem.

SEKUNDOVÉ KYANOAKRYLÁTOVÉ LEPIDLO							
č. m.	HDPE neozářený (Fm [N])	HDPE 33 kGy (Fm [N])	HDPE 66 kGy (Fm [N])	HDPE 99 kGy (Fm [N])	HDPE 132 kGy (Fm [N])	HDPE 165 kGy (Fm [N])	HDPE 198 kGy (Fm [N])
1	89,08	437,21	124,84	319,75	181,93	353,49	215,33
2	92,82	342,34	300,12	385,07	192,19	206,54	378,14
3	17,54	423,04	383,05	321,71	261,77	360,50	169,78
4	84,34	457,67	95,56	313,23	126,97	504,39	404,98
5	14,21	108,20	101,71	279,07	92,34	262,53	237,85
\bar{x}	59,60	353,69	201,06	323,77	171,04	337,49	281,22
δ	16,02	57,62	52,82	15,35	26,03	45,35	41,64

Z výsledků měření je patrné, že při porovnání pevnosti lepených spojů u ozářeného a neozářeného materiálu HDPE, dochází u lepených spojů ozářeného HDPE, lepeného sekundovým kyanoakrylátovým lepidlem, k nárůstu jejich pevnosti. Nejvyššího nárůstu pevnosti lepených spojů bylo dosaženo ozářením zkušebních vzorků dávkami 33, 99 a 165 kGy, u

kterých byla zjištěna průměrná maximální zatěžující síla $F_m = (353,69 \pm 57,62)N$, $F_m = (323,77 \pm 15,35)N$ a $F_m = (337,49 \pm 45,35)N$ (Tab. 37, Obr. 45).



Obr. 45. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného sekundovým kyanoakrylátovým lepidlem, na velikosti dávky ozáření.

Z naměřených hodnot je zřejmé, že ionizační beta záření zvyšuje pevnost lepených spojů u materiálu HDPE, lepeného sekundovým kyanoakrylátovým lepidlem. U vzorků, které byly ozářeny dávkou 33 kGy, se pevnost lepených spojů zvýšila téměř šestkrát (Tab. 37, Obr. 45). K poruše zkušebních vzorků došlo ve všech případech v lepeném spoji (Obr. 46).



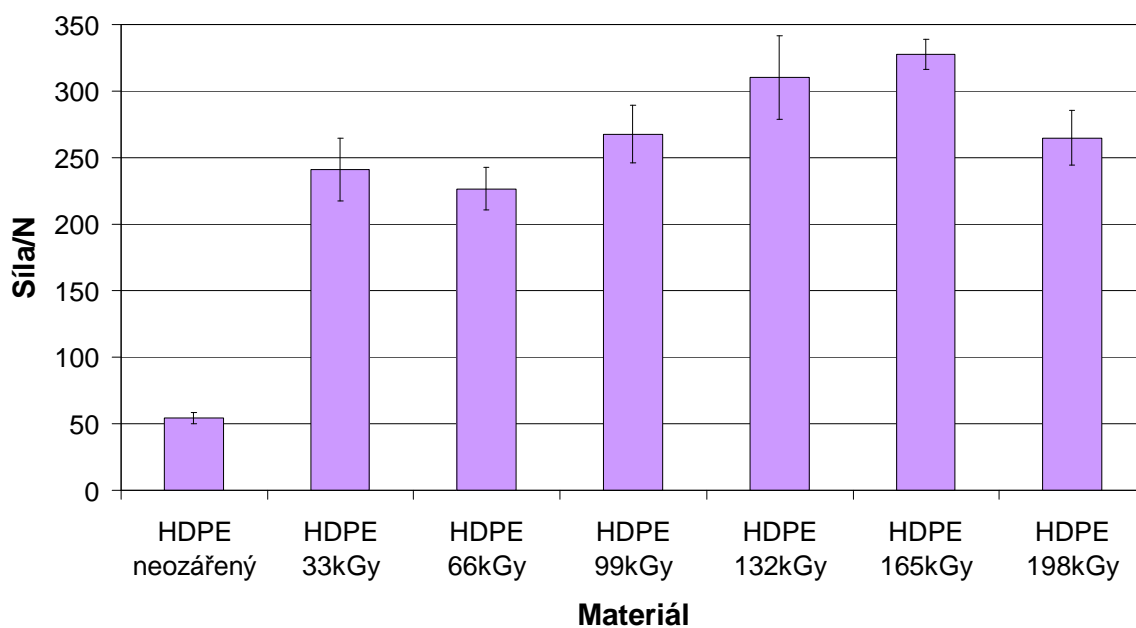
Obr. 46. Porušení spoje, u materiálu HDPE, lepeného sekundovým lepidlem.

10.1.2 Lepidlo Plexus MA310

Tab. 38. Maximální zatěžující síla u materiálu HDPE, ozářeného různými dávkami záření, lepeného lepidlem Plexus MA310.

LEPIDLO PLEXUS MA310							
č. m.	HDPE neozářený (Fm [N])	HDPE 33 kGy (Fm [N])	HDPE 66 kGy (Fm [N])	HDPE 99 kGy (Fm [N])	HDPE 132 kGy (Fm [N])	HDPE 165 kGy (Fm [N])	HDPE 198 kGy (Fm [N])
1	48,91	227,48	245,26	286,08	246,19	299,02	338,59
2	41,30	243,24	218,73	222,40	399,70	374,77	280,45
3	56,02	228,41	286,52	244,33	231,15	320,81	272,48
4	54,39	171,94	195,63	354,14	387,27	323,73	212,28
5	70,68	334,99	186,91	231,36	286,90	320,44	220,11
\bar{x}	54,26	241,21	226,61	267,66	310,24	327,75	264,78
δ	4,33	23,62	16,17	21,66	31,52	11,23	20,50

Vliv ozáření na pevnost lepených spojů, lepených lepidlem Plexus MA310



Obr. 47. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného lepidlem Plexus MA310, na velikosti dávky ozáření.

Z výsledků měření je patrné, že při porovnání pevnosti lepených spojů u ozářeného a neo-
zářeného materiálu HDPE, dochází u lepených spojů ozářeného HDPE, lepeného lepidlem
Plexus MA310, k nárůstu jejich pevnosti. Nejvyššího nárůstu pevnosti lepených spojů bylo
dosaženo ozářením zkušebních vzorků dávkami 132 a 165 kGy, u kterých byla zjištěna
průměrná maximální zatěžující síla $F_m = (310,24 \pm 31,52)N$ a $F_m = (327,75 \pm 11,23)N$ (Tab.
38, Obr. 47).



Obr. 48. Porušení spoje, u materiálu HDPE, lepeného lepidlem Plexus MA310.

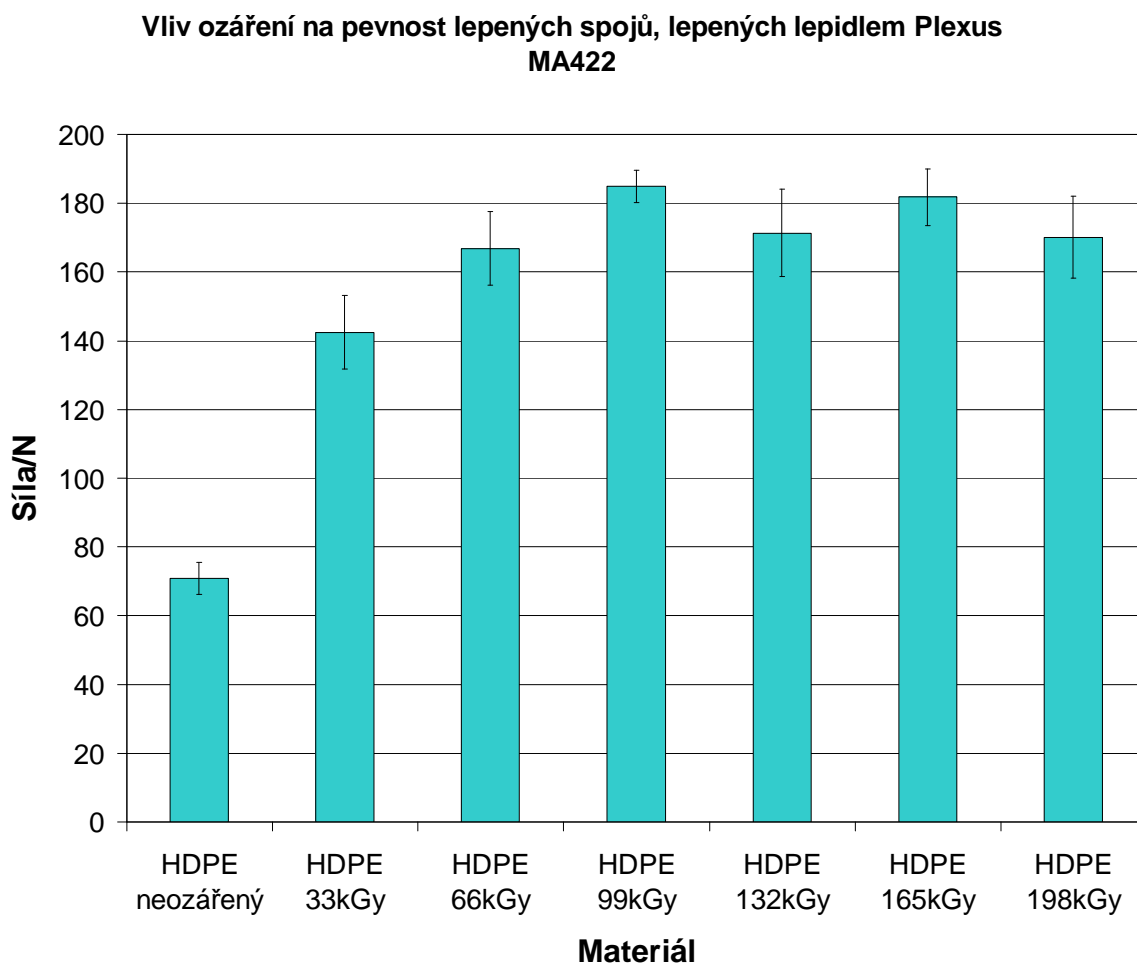
Z naměřených hodnot je zřejmé, že ionizační beta záření zvyšuje pevnost lepených spojů u
materiálu HDPE, lepeného lepidlem Plexus MA310. U vzorků, které byly ozářeny dávkou
165 kGy, se pevnost lepených spojů zvýšila šestkrát (Tab. 38, Obr. 47). K poruše zkušeb-
ních vzorků došlo ve všech případech v lepeném spoji (Obr. 48).

10.1.3 Lepidlo Plexus MA422

Tab. 39. Maximální zatěžující síla u materiálu HDPE, ozářeného různými dávkami záření,
lepeného lepidlem Plexus MA422.

LEPIDLO PLEXUS MA422							
č. m.	HDPE neozářený (Fm [N])	HDPE 33 kGy (Fm [N])	HDPE 66 kGy (Fm [N])	HDPE 99 kGy (Fm [N])	HDPE 132 kGy (Fm [N])	HDPE 165 kGy (Fm [N])	HDPE 198 kGy (Fm [N])
1	80,54	135,91	193,58	187,06	196,67	185,99	200,28
2	72,88	142,98	130,27	192,96	151,21	196,77	191,49
3	82,26	112,91	153,58	164,43	184,00	198,11	176,45
4	63,79	134,50	166,05	191,04	125,95	180,46	156,30
5	54,73	185,93	191,00	188,87	199,07	147,58	125,95
\bar{x}	70,84	142,45	166,90	184,87	171,38	181,78	170,09
δ	4,64	10,71	10,61	4,66	12,71	8,20	11,91

Z výsledků měření je patrné, že při porovnání pevnosti lepených spojů u ozářeného a neo-
zářeného materiálu HDPE, dochází u lepených spojů ozářeného HDPE, lepeného lepidlem
Plexus MA422, k nárůstu jejich pevnosti. Nejvyššího nárůstu pevnosti lepených spojů bylo
dosaženo ozářením zkušebních vzorků dávkami 99 a 165 kGy, u kterých byla zjištěna průměrná maximální zatěžující síla $F_m = (184,87 \pm 4,66)N$ a $F_m = (181,78 \pm 8,20)N$ (Tab. 39, Obr. 49).



Obr. 49. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného lepidlem Plexus MA422, na velikosti dávky ozáření.

Z naměřených hodnot je zřejmé, že ionizační beta záření zvyšuje pevnost lepených spojů u materiálu HDPE, lepeného lepidlem Plexus MA422. U vzorků, které byly ozářeny dávkou 99 a 165 kGy, se pevnost lepených spojů zvýšila téměř třikrát (Tab. 39, Obr. 49). K poruše zkušebních vzorků došlo ve všech případech v lepeném spoji (Obr. 50).



Obr. 50. Porušení spoje, u materiálu HDPE, lepeného lepidlem Plexus MA422.

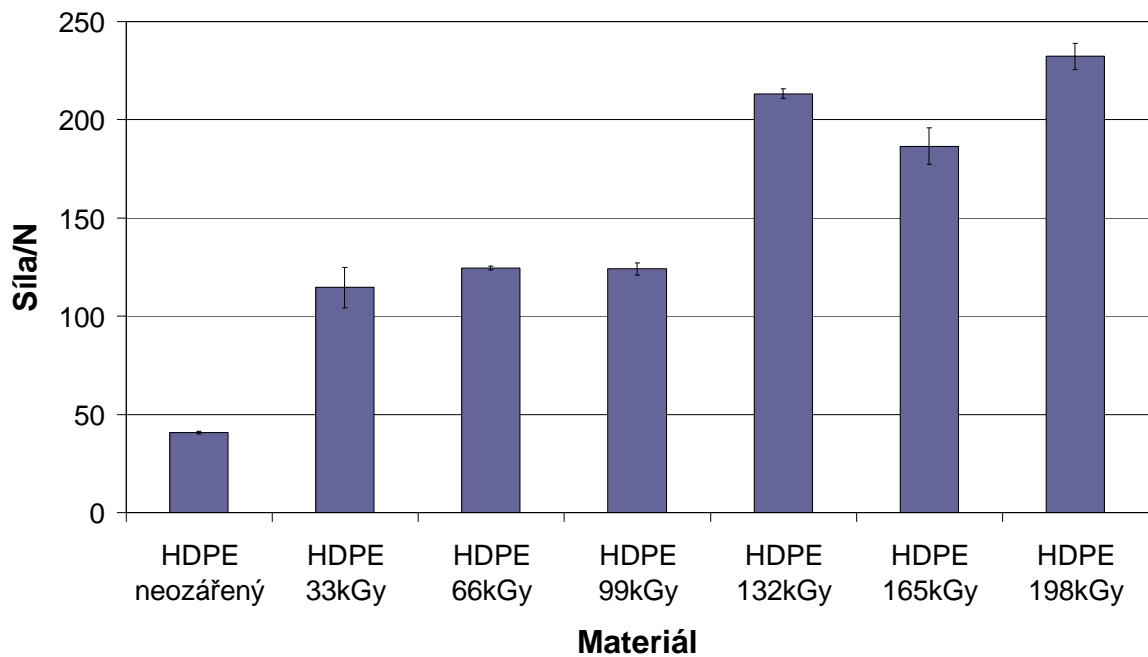
10.1.4 Lepidlo Plexus MA832

Tab. 40. Maximální zatěžující síla u materiálu HDPE, ozářeného různými dávkami záření, lepeného lepidlem Plexus MA832.

LEPIDLO PLEXUS MA832							
č. m.	HDPE neozářený (Fm [N])	HDPE 33 kGy (Fm [N])	HDPE 66 kGy (Fm [N])	HDPE 99 kGy (Fm [N])	HDPE 132 kGy (Fm [N])	HDPE 165 kGy (Fm [N])	HDPE 198 kGy (Fm [N])
1	40,78	93,62	122,94	130,94	209,20	180,95	230,34
2	38,28	131,93	128,60	120,74	217,09	212,73	239,44
3	41,88	129,43	122,29	120,71	204,08	149,78	243,15
4	41,54	80,89	123,86	115,21	217,47	193,17	203,74
5	41,38	137,08	124,50	132,76	218,64	196,29	244,59
\bar{x}	40,77	114,59	124,44	124,07	213,30	186,58	232,25
δ	0,58	10,20	0,99	2,99	2,55	9,40	6,75

Z výsledků měření je patrné, že při porovnání pevnosti lepených spojů u ozářeného a neo-zářeného materiálu HDPE, dochází u lepených spojů ozářeného HDPE, lepeného lepidlem Plexus MA832, k nárůstu jejich pevnosti. Nejvyššího nárůstu pevnosti lepených spojů bylo dosaženo ozářením zkušebních vzorků dávkou 198 kGy, u kterých byla zjištěna průměrná maximální zatěžující síla $F_m = (232,25 \pm 6,75)N$ (Tab. 40, Obr. 51).

Vliv ozáření na pevnost lepených spojů, lepených lepidlem Plexus MA832



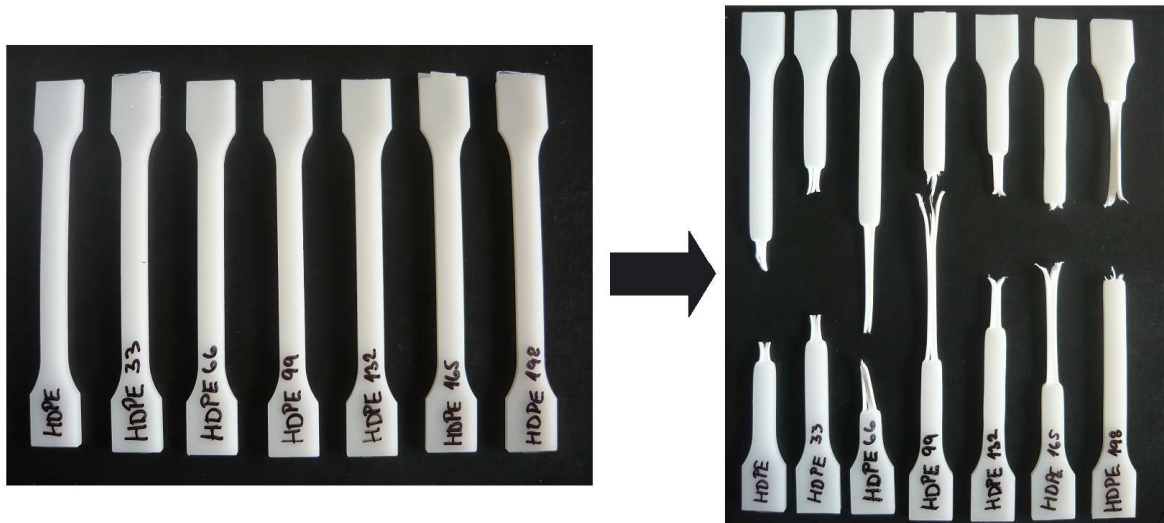
Obr. 51. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného lepidlem Plexus MA832, na velikosti dávky ozáření.

Z naměřených hodnot je zřejmé, že ionizační beta záření zvyšuje pevnost lepených spojů u materiálu HDPE, lepeného lepidlem Plexus MA832. U vzorků, které byly ozářeny dávkou 198 kGy, se pevnost lepených spojů zvýšila téměř šestkrát (Tab. 40, Obr. 51). K poruše zkušebních vzorků došlo ve všech případech v lepeném spoji (Obr. 52).



Obr. 52. Porušení spoje, u materiálu HDPE, lepeného lepidlem Plexus MA832.

10.2 Porovnání pevnosti lepených spojů se základním materiálem



Obr. 53. Základní materiály ozářených polymerů před zkouškou a po zkoušce.

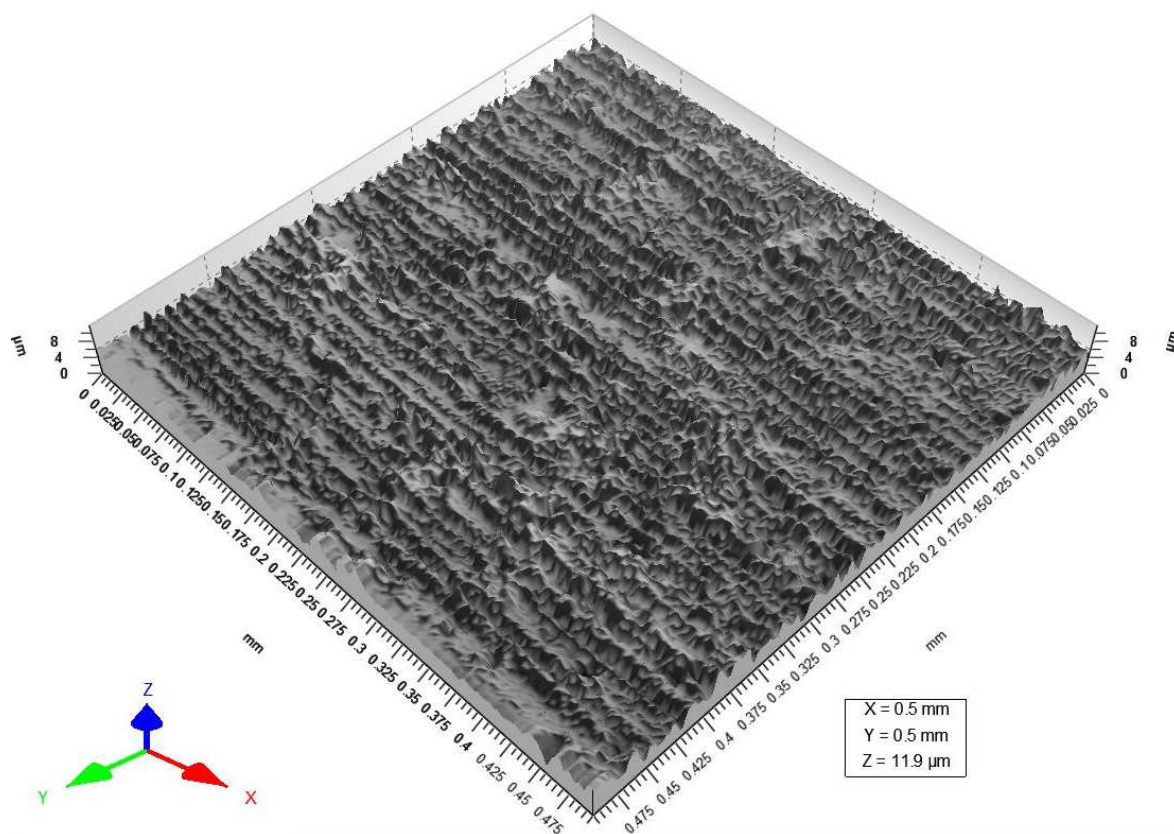
V poslední části experimentu byly porovnány pevnosti lepených spojů, u ozářeného a neozařeného materiálu HDPE, se základním materiálem. V následujících tabulkách je uvedena pevnost lepených spojů (Tab. 41) a základního materiálu (Tab. 42) neozařeného HDPE a na následujícím obrázku (Obr. 54) je zobrazen jeho mikropovrch.

Tab. 41. Velikost maximální zatěžující síly u neozařeného materiálu HDPE, lepeného různými lepidly.

Materiál HDPE (neozařený)				
č. měření	Sekundové lepidlo (Fm [N])	Plexus MA310 (Fm [N])	Plexus MA422 (Fm [N])	Plexus MA832 (Fm [N])
1	89,08	48,91	80,54	40,78
2	92,82	41,30	72,88	38,28
3	17,54	56,02	82,26	41,88
4	84,34	54,39	63,79	41,54
5	14,21	70,68	54,73	41,38
$\bar{x} \pm \delta$	59,60±16,02	54,26±4,33	70,84±4,64	40,77±0,58

Tab. 42. Velikost maximální zatěžující síly u základního materiálu HDPE (neozářený).

Základní materiál HDPE (neozářený)			
č. měření	Fm [N]	č. měření	Fm [N]
1	994,77	6	1010,56
2	1018,77	7	979,87
3	1020,96	8	1003,15
4	1014,55	9	994,60
5	1021,55	10	1006,92
$\bar{x} \pm \delta$	1006,57±4,08		



Obr. 54. Mikropovrch neozářeného materiálu HDPE.

10.2.1 Materiál HDPE ozářený dávkou 33 kGy

Tab. 43. Velikost maximální zatěžující síly u základního materiálu HDPE, ozářeného dávkou 33 kGy.

Základní materiál HDPE ozářený dávkou 33 kGy			
č. měření	Fm [N]	č. měření	Fm [N]
1	1029,58	6	1038,64
2	1040,70	7	1038,30
3	1038,58	8	1027,66
4	1031,61	9	1041,94
5	1031,64	10	1043,96
$\bar{x} \pm \delta$	1036,26±1,70		

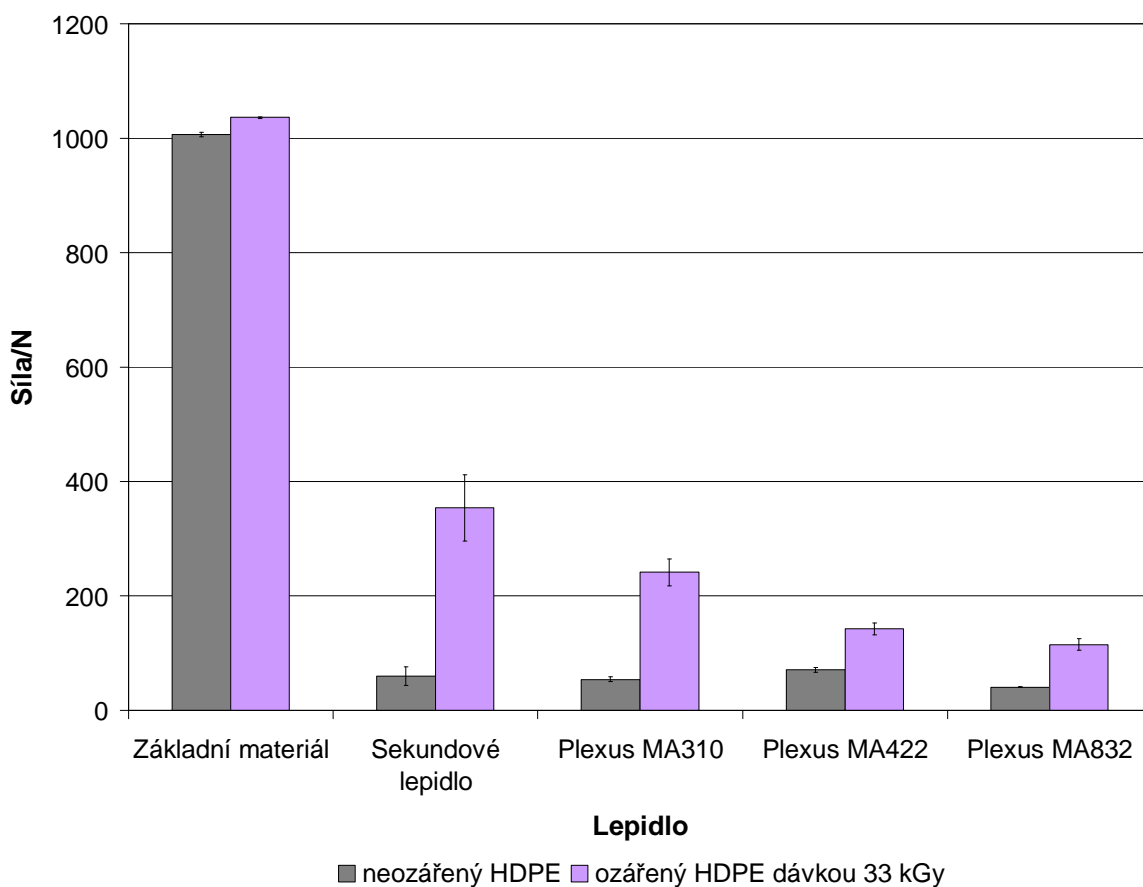
Tab. 44. Velikost maximální zatěžující síly u materiálu HDPE, ozářeného dávkou 33 kGy, lepeného různými lepidly.

Materiál HDPE ozářený dávkou 33 kGy				
č. měření	Sekundové lepidlo (Fm [N])	Plexus MA310 (Fm [N])	Plexus MA422 (Fm [N])	Plexus MA832 (Fm [N])
1	437,21	227,48	135,91	93,62
2	342,34	243,24	142,98	131,93
3	423,04	228,41	112,91	129,43
4	457,67	171,94	134,50	80,89
5	108,20	334,99	185,93	137,08
$\bar{x} \pm \delta$	353,69±57,62	241,21±23,62	142,45±10,71	114,59±10,20

Nejvyšší pevnosti lepených spojů z materiálu HDPE, ozářeného dávkou 33 kGy, bylo dosaženo použitím sekundového kyanoakrylátového lepidla, u kterého průměrná pevnost lepeného spoje dosáhla 34 % průměrné pevnosti základního materiálu. Nejnižší pevnosti bylo dosaženo použitím lepidla Plexus MA832, u kterého průměrná pevnost lepeného spoje dosáhla 11 % průměrné pevnosti základního materiálu (Tab. 43, Tab. 44, Obr. 55).

Při porovnání pevnosti lepených spojů u neozářených vzorků a vzorků, které byly ozářeny dávkou 33 kGy, je patrný nárůst pevnosti lepených spojů u všech použitých lepidel, především u sekundového kyanoakrylátového lepidla, u kterého je nárůst pevnosti nejvyšší. Při porovnání pevností základních materiálů bylo zjištěno, že při ozáření materiálu HDPE dávkou 33 kGy, se zvýší jeho pevnost, oproti neozářenému HDPE, přibližně o 3 % (Tab. 41, Tab. 42, Tab. 43, Tab. 44, Obr. 55).

Závislost maximální zatěžující síly, u lepených spojů ozářeného HDPE dávkou 33 kGy, na použitém lepidle



Obr. 55. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u materiálu HDPE, ozářeného dávkou 33 kGy, na použitém lepidle.

10.2.2 Materiál HDPE ozářený dávkou 66 kGy

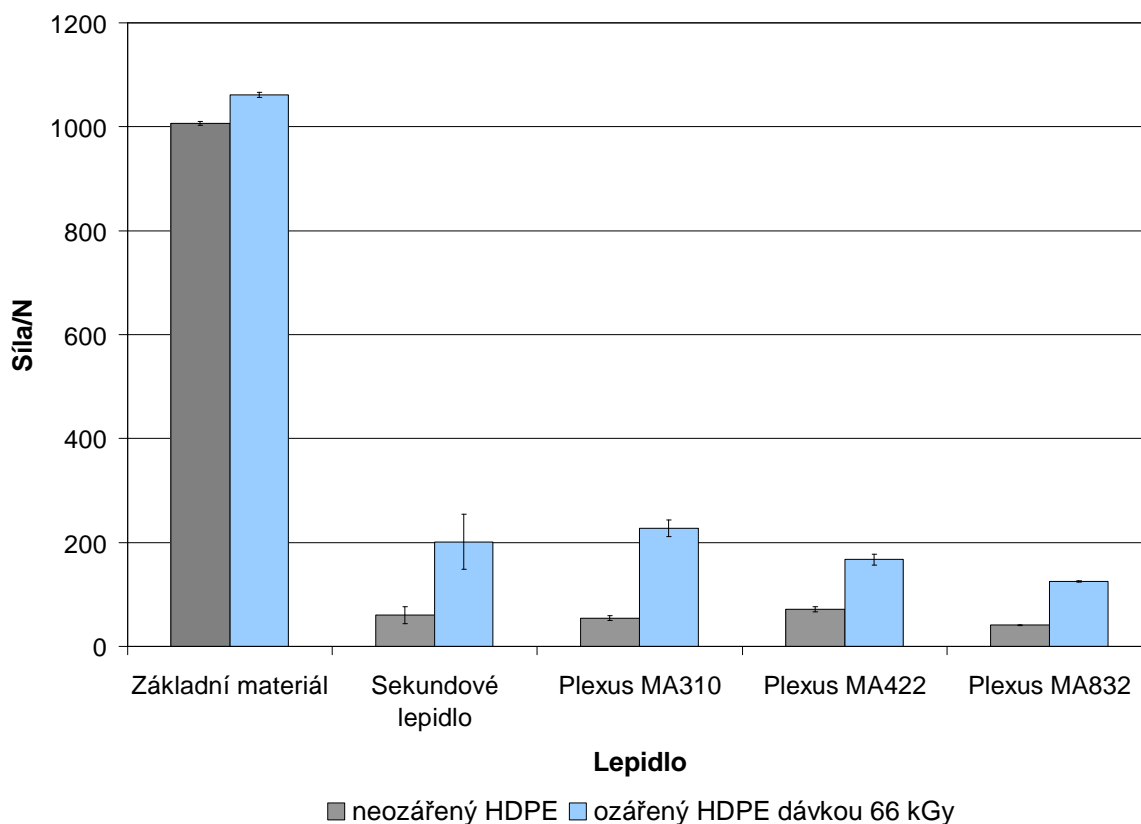
Tab. 45. Velikost maximální zatěžující síly u základního materiálu HDPE, ozářeného dávkou 66 kGy.

Základní materiál HDPE ozářený dávkou 66 kGy	
č. měření	Fm [N]
1	1043,35
2	1059,89
3	1075,75
4	1067,48
5	1059,17
$\bar{x} \pm \delta$	1061,13±4,80

Tab. 46. Velikost maximální zatěžující síly u materiálu HDPE, ozářeného dávkou 66 kGy, lepeného různými lepidly.

Materiál HDPE ozářený dávkou 66 kGy				
č. měření	Sekundové lepidlo (Fm [N])	Plexus MA310 (Fm [N])	Plexus MA422 (Fm [N])	Plexus MA832 (Fm [N])
1	124,84	245,26	193,58	122,94
2	300,12	218,73	130,27	128,60
3	383,05	286,52	153,58	122,29
4	95,56	195,63	166,05	123,86
5	101,71	186,91	191,00	124,50
$\bar{x} \pm \delta$	201,06±52,82	226,61±16,17	166,90±10,61	124,44±0,99

Závislost maximální zatěžující síly, u lepených spojů ozářeného HDPE dávkou 66 kGy, na použitém lepidle



Obr. 56. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u materiálu HDPE, ozářeného dávkou 66 kGy, na použitém lepidle.

Nejvyšší pevnosti lepených spojů z materiálu HDPE, ozářeného dávkou 66 kGy, bylo dosaženo použitím lepidla Plexus MA310, u kterého průměrná pevnost lepeného spoje dosáhla 21 % průměrné pevnosti základního materiálu. Nejnižší pevnosti bylo dosaženo použitím lepidla Plexus MA832, u kterého průměrná pevnost lepeného spoje dosáhla 12 % průměrné pevnosti základního materiálu (Tab. 45, Tab. 46, Obr. 56).

Při porovnání pevnosti lepených spojů u neozářených vzorků a vzorků, které byly ozářeny dávkou 66 kGy, je patrný nárůst pevnosti lepených spojů u všech použitých lepidel, především u lepidla Plexus MA310, u kterého je nárůst pevnosti nejvyšší. Při porovnání pevností základních materiálů bylo zjištěno, že při ozáření materiálu HDPE dávkou 66 kGy, se zvýší jeho pevnost, oproti neozářenému HDPE, přibližně o 5 % (Tab. 41, Tab. 42, Tab. 45, Tab. 46, Obr. 56).

10.2.3 Materiál HDPE ozářený dávkou 99 kGy

Tab. 47. Velikost maximální zatěžující síly u základního materiálu HDPE, ozářeného dávkou 99 kGy.

Základní materiál HDPE ozářený dávkou 99 kGy			
č. měření	Fm [N]	č. měření	Fm [N]
1	1048,74	6	1084,06
2	1080,15	7	1080,35
3	1083,61	8	1078,36
4	1085,12	9	1081,28
5	1083,20	10	1083,50
$\bar{x} \pm \delta$	1078,84±3,23		

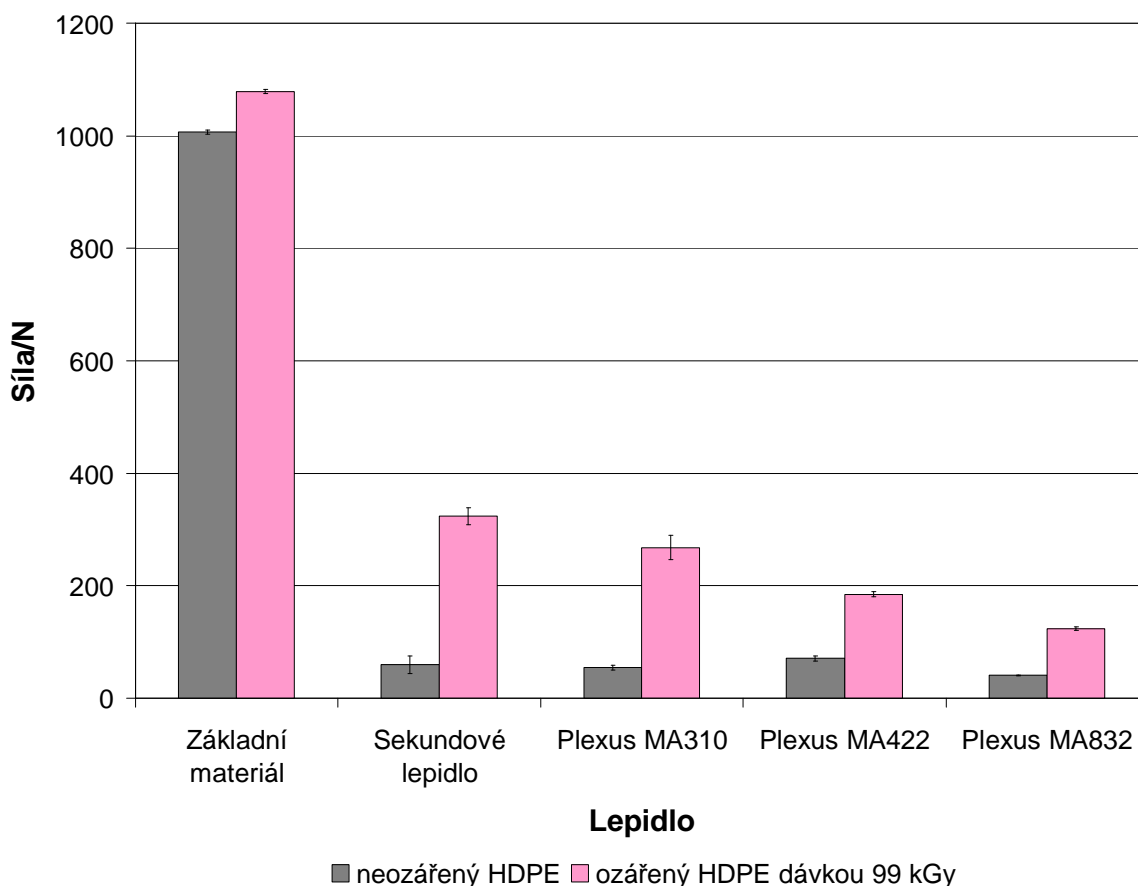
Tab. 48. Velikost maximální zatěžující síly u materiálu HDPE, ozářeného dávkou 99 kGy, lepeného různými lepidly.

Materiál HDPE ozářený dávkou 99 kGy				
č. měření	Sekundové lepidlo (Fm [N])	Plexus MA310 (Fm [N])	Plexus MA422 (Fm [N])	Plexus MA832 (Fm [N])
1	319,75	286,08	187,06	130,94
2	385,07	222,40	192,96	120,74
3	321,71	244,33	164,43	120,71
4	313,23	354,14	191,04	115,21
5	279,07	231,36	188,87	132,76
$\bar{x} \pm \delta$	323,77±15,35	267,66±21,66	184,87±4,66	124,07±2,99

Nejvyšší pevnosti lepených spojů z materiálu HDPE, ozářeného dávkou 99 kGy, bylo dosaženo použitím sekundového kyanoakrylátového lepidla, u kterého průměrná pevnost lepeného spoje dosáhla 30 % průměrné pevnosti základního materiálu. Nejnižší pevnosti bylo dosaženo použitím lepidla Plexus MA832, u kterého průměrná pevnost lepeného spoje dosáhla 12 % průměrné pevnosti základního materiálu (Tab. 47, Tab. 48, Obr. 57).

Při porovnání pevnosti lepených spojů u neozářených vzorků a vzorků, které byly ozářeny dávkou 99 kGy, je patrný nárůst pevnosti lepených spojů u všech použitých lepidel, především u sekundového kyanoakrylátového lepidla, u kterého je nárůst pevnosti nejvyšší. Při porovnání pevností základních materiálů bylo zjištěno, že při ozáření materiálu HDPE dávkou 99 kGy, se zvýší jeho pevnost, oproti neozářenému HDPE, přibližně o 7 % (Tab. 41, Tab. 42, Tab. 47, Tab. 48, Obr. 57).

Závislost maximální zatěžující síly, u lepených spojů ozářeného HDPE dávkou 99 kGy, na použitém lepidle



Obr. 57. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u materiálu HDPE, ozářeného dávkou 99 kGy, na použitém lepidle.

10.2.4 Materiál HDPE ozářený dávkou 132 kGy

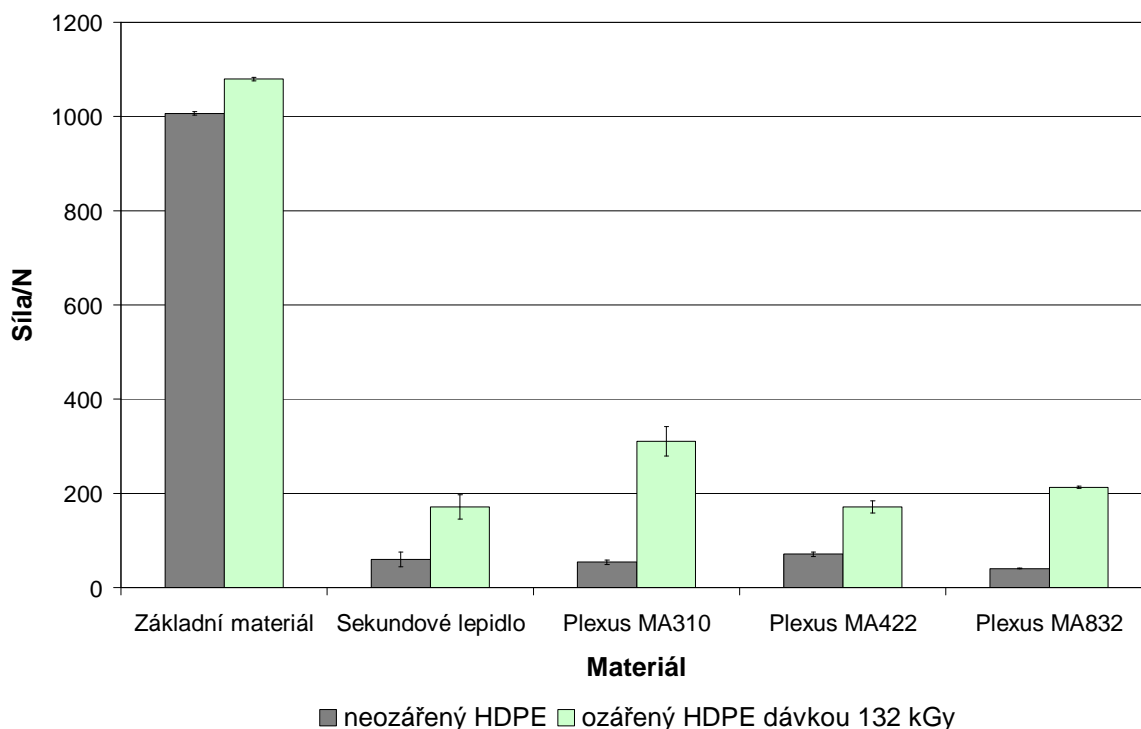
Tab. 49. Velikost maximální zatěžující síly u základního materiálu HDPE, ozářeného dávkou 132 kGy.

Základní materiál HDPE ozářený dávkou 132 kGy			
č. měření	Fm [N]	č. měření	Fm [N]
1	1057,66	6	1082,07
2	1090,34	7	1078,33
3	1089,35	8	1076,99
4	1085,36	9	1057,57
5	1089,45	10	1089,24
$\bar{x} \pm \delta$	1079,64±3,76		

Tab. 50. Velikost maximální zatěžující síly u materiálu HDPE, ozářeného dávkou 132 kGy, lepeného různými lepidly.

Materiál HDPE ozářený dávkou 132 kGy				
č. měření	Sekundové lepidlo (Fm [N])	Plexus MA310 (Fm [N])	Plexus MA422 (Fm [N])	Plexus MA832 (Fm [N])
1	181,93	246,19	196,67	209,20
2	192,19	399,70	151,21	217,09
3	261,77	231,15	184,00	204,08
4	126,97	387,27	125,95	217,47
5	92,34	286,90	199,07	218,64
$\bar{x} \pm \delta$	171,04±26,03	310,24±31,52	171,38±12,71	213,30±2,55

Závislost maximální zatěžující síly, u lepených spojů ozářeného HDPE dávkou 132 kGy, na použitém lepidle



Obr. 58. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u materiálu HDPE, ozářeného dávkou 132 kGy, na použitém lepidle.

Nejvyšší pevnosti lepených spojů z materiálu HDPE, ozářeného dávkou 132 kGy, bylo dosaženo použitím lepidla Plexus MA310, u kterého průměrná pevnost lepeného spoje dosáhla 29 % průměrné pevnosti základního materiálu. Nejnižší pevnosti bylo dosaženo použitím sekundového kyanoakrylátového lepidla a lepidla Plexus MA422, u kterých průměrná pevnost lepeného spoje dosáhla 16 % průměrné pevnosti základního materiálu (Tab. 49, Tab. 50, Obr. 58).

Při porovnání pevnosti lepených spojů u neozářených vzorků a vzorků, které byly ozářeny dávkou 132 kGy, je patrný nárůst pevnosti lepených spojů u všech použitých lepidel, především u lepidla Plexus MA310, u kterého je nárůst pevnosti nejvyšší. Při porovnání pevností základních materiálů bylo zjištěno, že při ozáření materiálu HDPE dávkou 132 kGy, se zvýší jeho pevnost, oproti neozářenému HDPE, přibližně o 7 % (Tab. 41, Tab. 42, Tab. 49, Tab. 50, Obr. 58).

10.2.5 Materiál HDPE ozářená dávkou 165 kGy

Tab. 51. Velikost maximální zatěžující síly u základního materiálu HDPE, ozářeného dávkou 165 kGy.

Základní materiál HDPE ozářený dávkou 165 kGy			
č. měření	Fm [N]	č. měření	Fm [N]
1	1064,53	6	1101,02
2	1064,46	7	1107,64
3	1102,22	8	1106,48
4	1097,21	9	1101,81
5	1110,39	10	1064,41
$\bar{x} \pm \delta$	1092,02±5,81		

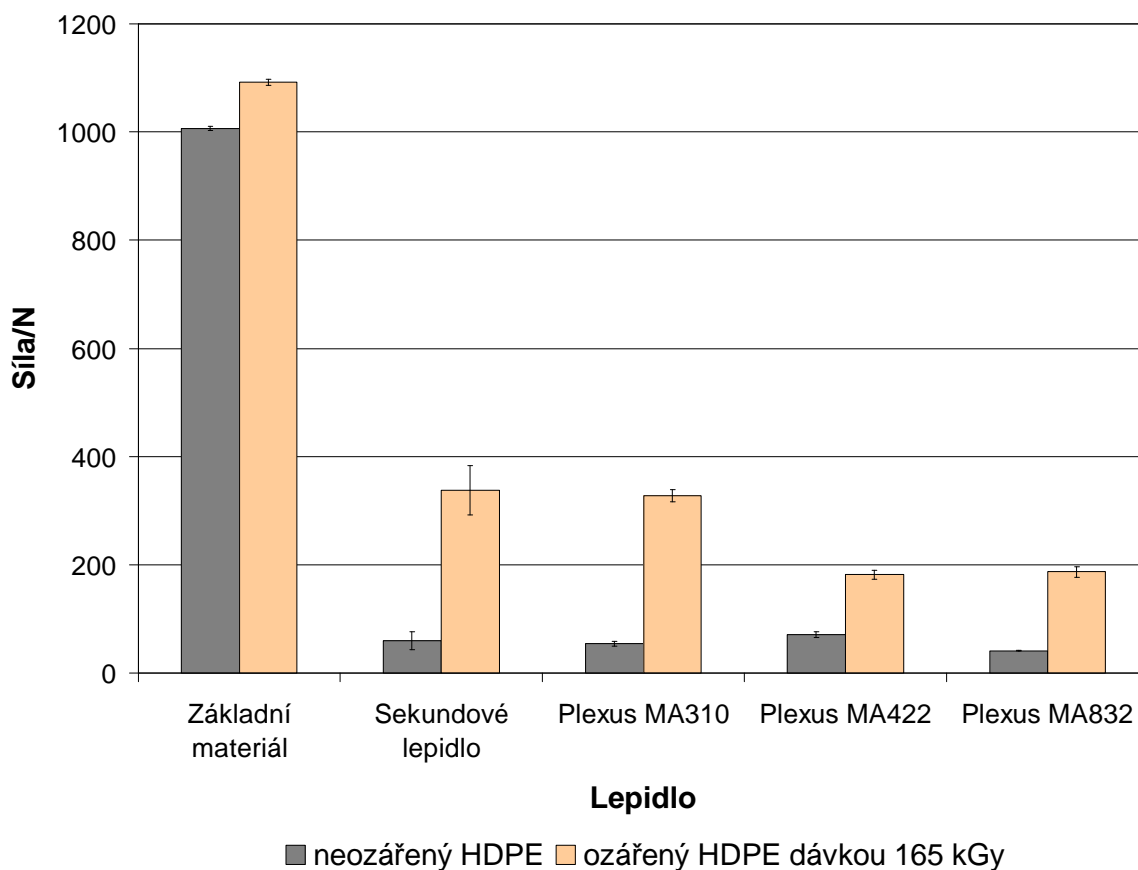
Tab. 52. Velikost maximální zatěžující síly u materiálu HDPE, ozářeného dávkou 165 kGy, lepeného různými lepidly.

Materiál HDPE ozářený dávkou 165 kGy				
č. měření	Sekundové lepidlo (Fm [N])	Plexus MA310 (Fm [N])	Plexus MA422 (Fm [N])	Plexus MA832 (Fm [N])
1	353,49	299,02	185,99	180,95
2	206,54	374,77	196,77	212,73
3	360,50	320,81	198,11	149,78
4	504,39	323,73	180,46	193,17
5	262,53	320,44	147,58	196,29
$\bar{x} \pm \delta$	337,49±45,35	327,75±11,23	181,78±8,20	186,58±9,40

Nejvyšší pevnosti lepených spojů z materiálu HDPE, ozářeného dávkou 165 kGy, bylo dosaženo použitím sekundového kyanoakrylátového lepidla, u kterého průměrná pevnost lepeného spoje dosáhla 31 % průměrné pevnosti základního materiálu. Nejnižší pevnosti bylo dosaženo použitím lepidla Plexus MA422, u kterého průměrná pevnost lepeného spoje dosáhla 17 % průměrné pevnosti základního materiálu (Tab. 51, Tab. 52, Obr. 59).

Při porovnání pevnosti lepených spojů u neozářených vzorků a vzorků, které byly ozářeny dávkou 165 kGy, je patrný nárůst pevnosti lepených spojů u všech použitých lepidel, především u sekundového kyanoakrylátového lepidla, u kterého je nárůst pevnosti nejvyšší. Při porovnání pevností základních materiálů bylo zjištěno, že při ozáření materiálu HDPE dávkou 165 kGy, se zvýší jeho pevnost, oproti neozářenému HDPE, přibližně o 8 % (Tab. 41, Tab. 42, Tab. 51, Tab. 52, Obr. 59).

Závislost maximální zatěžující síly, u lepených spojů ozářeného HDPE dávkou 165 kGy, na použitém lepidle



Obr. 59. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u materiálu HDPE, ozářeného dávkou 165 kGy, na použitém lepidle.

10.2.6 Materiál HDPE ozářený dávkou 198 kGy

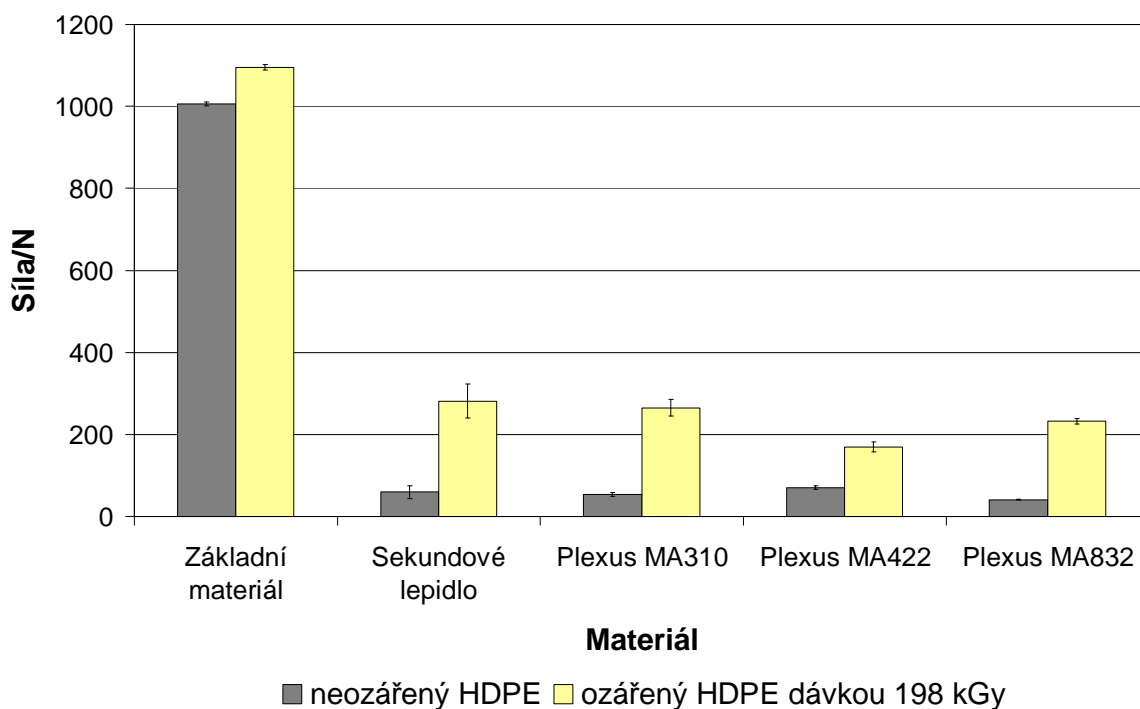
Tab. 53. Velikost maximální zatěžující síly u základního materiálu HDPE, ozářeného dávkou 198 kGy.

Základní materiál HDPE ozářený dávkou 198 kGy			
č. měření	Fm [N]	č. měření	Fm [N]
1	1063,26	6	1112,62
2	1067,00	7	1109,46
3	1106,68	8	1114,06
4	1101,71	9	1065,62
5	1111,18	10	1104,11
$\bar{x} \pm \delta$	1095,57±6,37		

Tab. 54. Velikost maximální zatěžující síly u materiálu HDPE, ozářeného dávkou 198 kGy, lepeného různými lepidly.

Materiál HDPE ozářený dávkou 198 kGy				
č. měření	Sekundové lepidlo (Fm [N])	Plexus MA310 (Fm [N])	Plexus MA422 (Fm [N])	Plexus MA832 (Fm [N])
1	215,33	338,59	200,28	230,34
2	378,14	280,45	191,49	239,44
3	169,78	272,48	176,45	243,15
4	404,98	212,28	156,30	203,74
5	237,85	220,11	125,95	244,59
$\bar{x} \pm \delta$	281,22±41,64	264,78±20,50	170,09±11,91	232,25±6,75

Závislost maximální zatěžující síly, u lepených spojů ozářeného HDPE dávkou 198 kGy, na použitém lepidle



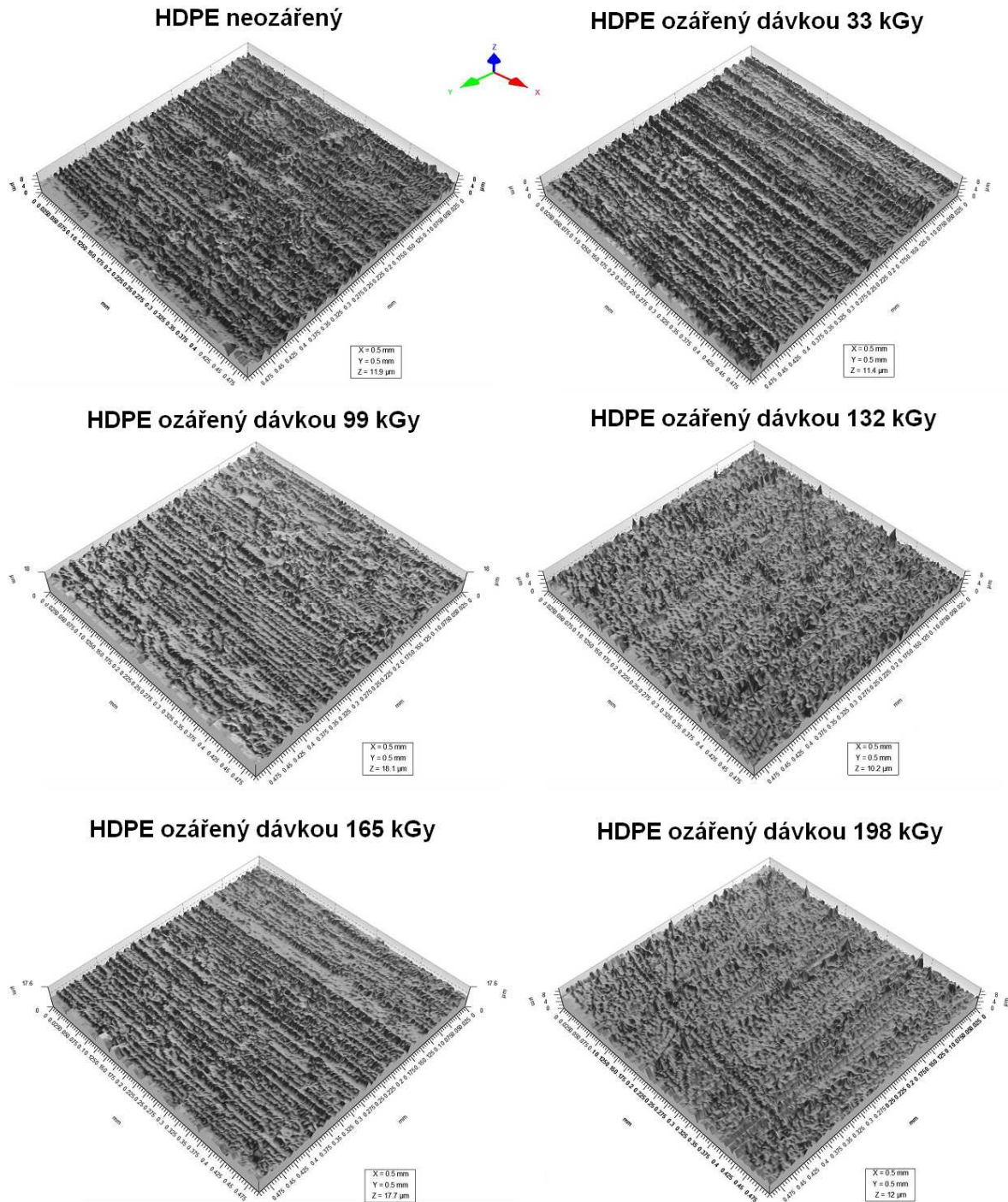
Obr. 60. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u materiálu HDPE, ozářeného dávkou 198 kGy, na použitém lepidle.

Nejvyšší pevnosti lepených spojů z materiálu HDPE, ozářeného dávkou 198 kGy, bylo dosaženo použitím sekundového kyanoakrylátového lepidla, u kterého průměrná pevnost lepeného spoje dosáhla 26 % průměrné pevnosti základního materiálu. Nejnižší pevnosti bylo dosaženo použitím lepidla Plexus MA422, u kterého průměrná pevnost lepeného spoje dosáhla 16 % průměrné pevnosti základního materiálu (Tab. 53, Tab. 54, Obr. 60).

Při porovnání pevnosti lepených spojů u neozářených vzorků a vzorků, které byly ozářeny dávkou 198 kGy, je patrný nárůst pevnosti lepených spojů u všech použitých lepidel, především u sekundového kyanoakrylátového lepidla, u kterého je nárůst pevnosti nejvyšší. Při porovnání pevností základních materiálů bylo zjištěno, že při ozáření materiálu HDPE dávkou 198 kGy, se zvýší jeho pevnost, oproti neozářenému HDPE, přibližně o 9 % (Tab. 41, Tab. 42, Tab. 53, Tab. 54, Obr. 60).

10.3 Porovnání mikropovrchů u ozářeného a neozařeného HDPE

Na následujícím obrázku (Obr. 61) jsou znázorněny mikropovrchy ozářeného a neozařeného HDPE. Z výsledků měření je patrné, že se mikropovrch s dávkou ozáření výrazně mění. Tato změna mikropovrchu má značný vliv na nárůst pevnosti lepených spojů.



Obr. 61. Mikropovrchy u ozářeného a neozařeného HDPE.

DISKUSE VÝSLEDKŮ

Diplomová práce se zabývá měřením pevnosti lepených spojů. Ke zkouškám pevnosti lepených spojů byly vybrány různé typy polymerních materiálů, které se běžně využívají v průmyslu (PS, PA6, PP, PC, LDPE a HDPE), a čtyři typy lepidel (sekundové kyanoakrylátové lepidlo a lepidla Plexus MA310, MA422 a MA832). Pevnost lepených spojů byla zjišťována tahovou zkouškou na trhacím stroji Zwick 1456.

V první části experimentu byla zjišťována pevnost lepených spojů u neozářených polymerů. Z naměřených hodnot vyplývá, že nejvhodnějším lepidlem, pro lepení materiálu PS, je lepidlo Plexus MA310, u kterého průměrná pevnost lepeného spoje dosáhla 87 % průměrné pevnosti základního materiálu. Naopak nejnižší pevnosti lepených spojů, u materiálu PS, bylo dosaženo použitím lepidla Plexus MA832, u kterého průměrná pevnost lepeného spoje dosáhla 66 % průměrné pevnosti základního materiálu (Tab. 23, Tab. 24, Obr. 38). Nejvhodnějším lepidlem, pro lepení materiálu PA6 (plněný) je sekundové kyanoakrylátové lepidlo, u kterého průměrná pevnost lepeného spoje dosáhla 55 % průměrné pevnosti základního materiálu. Nejnižší pevnosti lepených spojů, u materiál PA6 (plněný), bylo dosaženo použitím lepidla Plexus MA832, u kterého průměrná pevnost lepeného spoje dosáhla pouze 21 % průměrné pevnosti základního materiálu (Tab. 25, Tab. 26, Obr. 39). Pro lepení materiálu PA6 (neplněný) se jako nejvhodnější jeví lepidla Plexus MA422 a MA832, u kterých průměrná pevnost lepených spojů dosáhla 97 % průměrné pevnosti základního materiálu. Naopak nejnižší pevnost lepených spojů, u materiálu PA6 (neplněný), vykazuje sekundové kyanoakrylátové lepidlo, u kterého průměrná pevnost lepeného spoje dosáhla 43 % průměrné pevnosti základního materiálu (Tab. 27, Tab. 28, Obr. 40). Při porovnání materiálů PA6 (neplněný) a PA6 (plněný) je zřejmé, že u plněného PA6 se zvýšila průměrná pevnost základního materiálu, oproti neplněnému PA6, o 11 %. Naopak průměrná pevnost lepeného spoje, u ozářeného PA6, klesla oproti neozářenému PA6 o 37 % (Tab. 25, Tab. 26, Tab. 27, Tab. 28, Obr. 39, Obr. 40). Z výsledků měření vyplývá, že plněním materiálu PA6 se zvyšuje pevnost základního materiálu, ale pevnost lepených spojů naopak klesá. Důkazem toho, že u materiálu PA6 (neplněný) vznikly kvalitní spoje je i to, že téměř u všech lepených vzorků došlo k poruše mimo lepený spoj (Tab. 16, Tab. 18, Tab. 20, Tab. 22). Nejvhodnějším lepidlem, pro lepení materiálu LDPE je sekundové kyanoakrylátové lepidlo, u kterého průměrná pevnost lepeného spoje dosáhla 87 % průměrné pevnosti základního materiálu. Naopak nejnižší pevnosti lepených spojů, u materiálu LDPE, bylo do-

saženo použitím lepidla Plexus MA422, u kterého průměrná pevnost lepeného spoje dosáhla pouze 11 % průměrné pevnosti základního materiálu (Tab. 29, Tab. 30, Obr. 41). U všech použitých lepidel, při lepení materiálu HDPE, dosahovala průměrná pevnost lepených spojů maximálně 7 % průměrné pevnosti základního materiálu. Z naměřených hodnot vyplývá, že ani jedno z použitých lepidel není vhodné pro lepení materiálu HDPE (Tab. 31, Tab. 32, Obr. 42). U materiálů PC a PP dosahovaly průměrné pevnosti lepených spojů, u všech použitých lepidel, maximálně 27 % průměrné pevnosti základních materiálů. Z výsledků měření je patrné, že ani jedno z použitých lepidel, není vhodné pro lepení materiálů PC a PP (Tab. 33, Tab. 34, Tab. 35, Tab. 36, Obr. 43, Obr. 44).

Ve druhé části experimentu byl zkoumán vliv ozáření, u materiálu HDPE, na pevnost lepených spojů. Materiál HDPE byl ozářen ionizačním beta zářením o dávkách 33, 66, 99, 132, 165 a 198 kGy. Při použití sekundového kyanoakrylátového lepidla byl zjištěn nejvyšší nárůst pevnosti lepených spojů u vzorků, které byly ozářeny dávkou 33 kGy. U takto ozářených vzorků se pevnost lepených spojů, oproti neozářenému HDPE, zvýšila téměř šestkrát. Naopak nejnižšího nárůstu pevnosti lepených spojů bylo dosaženo ozářením o dávce 132 kGy, kdy se pevnost lepených spojů zvýšila třikrát (Tab. 37, Obr. 45). Při použití lepidla Plexus MA310 byl zjištěn nejvyšší nárůst pevnosti lepených spojů u vzorků, které byly ozářeny dávkou 165 kGy. U takto ozářených vzorků se pevnost lepených spojů, oproti neozářenému HDPE, zvýšila šestkrát. Naopak nejnižšího nárůstu pevnosti lepených spojů bylo dosaženo ozářením o dávce 66 kGy, kdy se pevnost lepených spojů zvýšila čtyřikrát (Tab. 38, Obr. 47). Při použití lepidla Plexus MA422 byl zjištěn nejvyšší nárůst pevnosti lepených spojů u vzorků, které byly ozářeny dávkou 99 kGy. U takto ozářených vzorků se pevnost lepených spojů, oproti neozářenému HDPE, zvýšila téměř třikrát. Naopak nejnižšího nárůstu pevnosti lepených spojů bylo dosaženo ozářením o dávce 33 kGy, kdy se pevnost lepených spojů zvýšila dvakrát (Tab. 39, Obr. 49). Při použití lepidla Plexus MA832 byl zjištěn nejvyšší nárůst pevnosti lepených spojů u vzorků, které byly ozářeny dávkou 198 kGy. U takto ozářených vzorků se pevnost lepených spojů, oproti neozářenému HDPE, zvýšila téměř šestkrát. Naopak nejnižšího nárůstu pevnosti lepených spojů bylo dosaženo ozářením o dávce 33 kGy, kdy se pevnost lepených spojů zvýšila třikrát (Tab. 40, Obr. 51). Z výsledků měření je zřejmé, že ionizační beta záření zvyšuje pevnost lepených spojů u všech použitých lepidel. Tento nárůst pevnosti lepených spojů je dán především změnou mikropovrchu spojovaného materiálu, který se s dávkou ozáření výrazně mění (Obr. 61).

Se zvyšující se dávkou ozáření mírně roste i pevnost základních materiálů. Nejvyšší pevnosti je tedy dosaženo ozářením o dávce 198 kGy, kdy pevnost základního materiálu vzrostla oproti neozářenému HDPE přibližně o 9 % (Tab. 42, Tab. 43, Tab. 45, Tab. 47, Tab. 49, Tab. 51, Tab. 53).

ZÁVĚR

Diplomová práce řeší problém pevnosti lepených spojů polymerů. Součástí praktické části je volba adherendů, výroba a příprava zkušebních vzorků, volba lepidel, zhotovení lepených spojů a měření jejich pevnosti. Samotné měření pevnosti lepených spojů bylo provedeno u neozářených a ozářených polymerů. Z výsledků experimentů vyplývá, že každý lepený polymerní materiál vyžaduje individuální přístup a je nutné ke každému lepenému polymernímu materiálu najít takový typ lepidla, který zajistí kvalitní lepený spoj.

Pro lepení neozářených polymerů byly použity čtyři různé typy lepidel (jeden typ sekundového a tři typy dvousložkového lepidla). Sekundové kyanoakrylátové lepidlo dosáhlo nejlepších výsledků u materiálů LDPE a PA6 (plněný) a lepidlo Plexus MA310 u materiálu PS. Lepidla Plexus MA422 a MA832 dosáhla vynikajících výsledků u materiálu PA6 (neplněný). Materiály HDPE, PP a PC, které byly lepeny všemi typy lepidel, dosáhly nejhorších výsledků. U těchto typů materiálů je nutné zvolit speciální typy lepidel, které jsou určeny výhradně pro tyto aplikace.

Měření pevnosti lepených spojů u ozářeného materiálu HDPE ukázaly, že ionizačním beta zářením, kterým byly ozářeny zkušební vzorky, se zvyšuje pevnost lepených spojů. U sekundového kyanoakrylátového lepidla bylo dosaženo nejvyššího nárůstu pevnosti lepených spojů ozářením o dávkách 33 a 165 kGy a u lepidla Plexus MA310 ozářením o dávkách 132 a 165 kGy. U lepidel Plexus MA422 a MA832 bylo dosaženo vynikajících výsledků ozářením o dávkách 132, 165 a 198 kGy. Pevnost lepeného spoje se ozářením zvýšila až šestinásobně. Z výsledků měření je patrné, že pro získání co nejvyšší pevnosti lepeného spoje je nutné zvolit optimální dávku ozáření, v závislosti na použitém lepidle.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Monografie:

- [1] OSTEN, Miloš. *Lepení plastických hmot. 2.*, opr. vyd. Praha : SNTL - Státní nakladatelství technické literatury, 1974. 150 s.
- [2] FREJDIN, Anatolij Semenovič. *Pevnosť a životnosť lepených spojov. 1.* vyd. Bratislava : Alfa, 1988. 282 s.
- [3] ČADA, Oldřich. *Lepení plastických hmot a pryže. Gottwaldov : VÚGPT, 1964.* 60 s.
- [4] PETERKA, Jindřich. *Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství. 1.* vyd. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1980. 788 s.
- [5] KOVAČIČ, Ludomír. *Lepenie kovov a plastov. 1.* vyd. Bratislava : Alfa, 1980. 389 s.
- [6] OSTEN, Miloš. *Práce s lepidly a tmely. 2.*, přeprac. vyd. Praha : SNTL, 1982. 283 s.
- [7] KUTA, Antonín. *Technologie a zařízení pro zpracování kaučuků a plastů. 1.* vyd. Praha : VŠCHT Praha, 2007. 203 s
- [8] LANGMAIER, Ferdinand. *Adhese a adhesiva. 1.* vyd. Zlín : FT VUT, 1999. 106 s. ISBN 8021413735.
- [9] KOLEKTIV AUTORŮ. *Loctite, Worlwide Design Handbook. 2.* vyd. Mainz : Erasmusdruck GmbH, 1998. 452 s. ISBN 0-9645590-0-5.
- [10] BEDNAŘÍK, Martin. *Vlastnosti lepených spojů - polymery. Zlín, 2009. 74 s.* Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [11] MLEZIVA, Josef. *Polymery : výroba, struktura, vlastnosti a použití. Vyd. 1.* Praha : Sobotáles, 1993. 525 s. ISBN 8090157041.
- [12] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery-výroba, vlastnosti, zpracování, použití. 2.* vyd. Praha : VŠCHT Praha, 2006. 280 s.
- [13] TOBOLSKY, Arthur Victor; STARÝ, Miroslav. *Vlastnosti a struktura polymerů. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1963. 319 s.*

- [14] MACOUREK, Jiří. *Vliv ozáření na mechanické a termomechanické vlastnosti LDPE a HDPE*. Zlín, 2010. 125 s. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.

Internetové zdroje:

- [15] *The Adhesive and Sealant Council, Inc.* [online]. 2009 [cit. 2011-03-22]. History of Bonding. Dostupné z WWW:
<<http://www.adhesives.org/AdhesivesSealants/HistoryofBonding.aspx>>.
- [16] *Hortrade* [online]. 2003 [cit. 2011-03-30]. Plexus. Dostupné z WWW:
<<http://www.hortrade.cz/main.php?lang=cs&sound=&a=79>>.
- [17] *Curbell Plastics* [online]. 2008 [cit. 2011-04-01]. Technical Data Sheet Plexus MA832. Dostupné z WWW:
<<http://www.curbellplastics.com/technical-resources/pdf/adhesives-plexus-ma832.pdf>>.
- [18] *Arburg* [online]. 2006 [cit. 2011-04-08]. Maschinen. Dostupné z WWW:
<<http://www.arburg.com/com/COM/de/products/machines/index.jsp>>.
- [19] ŠVEC, Jiří. *Radioaktivita a ionizující záření* [online]. 1. vydání. Ostrava : Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství v Ostravě, 2005 [cit. 2011-04-11]. Dostupné z WWW:
<<http://www.fbi.vsb.cz/miranda2/export/sites-root/fbi/050/cs/sys/resource/PDF/studijni-materialy/zareni.pdf>>. ISBN 80-86634-62-0.
- [20] Beta particle. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 3 August 2001, last modified on 5 April 2011 [cit. 2011-04-11]. Dostupné z WWW:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Beta_particle>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

\bar{x}	Aritmetický průměr
δ	Střední kvadratická chyba
ABS	Terpolymer akrylonitrilu, butadienu a styrenu
ČSN	Česká technická norma
F _p	Maximální zatěžující síla
HDPE	Polyethylen o vysoké hustotě
kGy	Kilogray (jednotka dávky ozáření)
LDPE	Polyethylen o nízké hustotě
Obr.	Obrázek
PA	Polyamid
PA-6	Polyamid 6
PA-610	Polyamid 610
PA-66	Polyamid 66
PC	Polykarbonát
PE	Polyethylen
PP	Polypropylen
PS	Polystyren
PTFE	Polytetrafluorethylen
PVC	Polyvinylchlorid
Tab.	Tabulka

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Adheze a koheze ve spoji	15
Obr. 2. Struktura lepeného spoje.....	17
Obr. 3. Smáčení povrchu	18
Obr. 4. Tvar nerovností mikropovrchu	20
Obr. 5. Typy plniv	25
Obr. 6. Přehled konstrukčních možností plochých spojů	26
Obr. 7. Možnosti provedení koutových spojů.....	27
Obr. 8. Schéma zařízení pro nanášení lepidla.....	28
Obr. 9. Namáhání lepeného spoje	40
Obr. 10. Vzorek pro zkoušky pevnosti ve smyku podle ČSN 66 8510	41
Obr. 11. Vzorek a uspořádání zkoušky lámavosti podle ČSN 66 8511	41
Obr. 12. Vzorek pro zkoušky pevnosti v odlupování podle ČSN 66 8516.....	42
Obr. 13. Druhy poruch lepeného spoje	42
Obr. 14. Vzorek a jeho uložení pro zkoušky rázové pevnosti podle ČSN 66 8512.....	43
Obr. 15. Tvar a rozměry pásku pro přeplátování	56
Obr. 16. Zkušební vzorek a pásek pro přeplátování	56
Obr. 17. Vstříkovací stroj Arburg 420C Advanced	57
Obr. 18. Příprava zkušebních vzorků.....	58
Obr. 19. Záření alfa, beta a gama.....	59
Obr. 20. Vytlačovací pistole pro lepidlo Plexus MA310.....	60
Obr. 21. Vytlačovací pistole pro lepidla Plexus MA422 a MA832.....	60
Obr. 22. Čelní spoj se dvěma příložkami.....	61
Obr. 23. Přípravek pro lepení.....	61
Obr. 24. Výsledný spoj	62
Obr. 25. Trhací stroj Zwick a způsob upnutí zkušebního tělesa.....	63
Obr. 26. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného sekundovým kyanoakrylátovým lepidlem, na druhu lepeného materiálu	65
Obr. 27. Porušení spoje, u materiálu PA6 (plněný), lepeného sekundovým kyanoakrylátovým lepidlem	66
Obr. 28. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného lepidlem Plexus MA310, na druhu lepeného materiálu	67

Obr. 29. Porušení spojů, u neozářených polymerů, lepených lepidlem Plexus MA310.....	68
Obr. 30. Porušení spoje, u materiálu PA6 (plněný), lepeného lepidlem Plexus MA310.....	68
Obr. 31. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného lepidlem Plexus MA422, na druhu lepeného materiálu	69
Obr. 32. Porušení spojů, u neozářených polymerů, lepených lepidlem Plexus MA422.....	70
Obr. 33. Porušení spoje, u materiálu PA6 (plněný), lepeného lepidlem Plexus MA422.....	71
Obr. 34. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného lepidlem Plexus MA832, na druhu lepeného materiálu	72
Obr. 35. Porušení spojů, u neozářených polymerů, lepených lepidlem Plexus MA832.....	73
Obr. 36. Porušení spoje, u materiálu PA6 (plněný), lepeného lepidlem Plexus MA832.....	73
Obr. 37. Základní materiály neozářených polymerů před zkouškou a po zkoušce.....	73
Obr. 38. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u materiálu PS, na použitém lepidle	75
Obr. 39. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u materiálu PA6 (plněný), na použitém lepidle	76
Obr. 40. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u materiálu PA6 (neplněný), na použitém lepidle	78
Obr. 41. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u materiálu LDPE, na použitém lepidle	79
Obr. 42. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u materiálu HDPE, na použitém lepidle	81
Obr. 43. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u materiálu PC, na použitém lepidle	82
Obr. 44. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u materiálu PP, na použitém lepidle	84
Obr. 45. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného sekundovým kyanoakrylátovým lepidlem, na velikosti dávky ozáření.....	86
Obr. 46. Porušení spoje, u materiálu HDPE, lepeného sekundovým lepidlem.....	86
Obr. 47. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného lepidlem Plexus MA310, na velikosti dávky ozáření.....	87
Obr. 48. Porušení spoje, u materiálu HDPE, lepeného lepidlem Plexus MA310.....	88
Obr. 49. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného lepidlem Plexus MA422, na velikosti dávky ozáření.....	89

Obr. 50. Porušení spoje, u materiálu HDPE, lepeného lepidlem Plexus MA422.....	90
Obr. 51. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly, u spoje lepeného lepidlem Plexus MA832, na velikosti dávky ozáření.....	91
Obr. 52. Porušení spoje, u materiálu HDPE, lepeného lepidlem Plexus MA832.....	91
Obr. 53. Základní materiály ozářených polymerů před zkouškou a po zkoušce.....	92
Obr. 54. Mikropovrch neozářeného materiálu HDPE	93
Obr. 55. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u materiálu HDPE, ozářeného dávkou 33 kGy, na použitém lepidle.....	95
Obr. 56. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u materiálu HDPE, ozářeného dávkou 66 kGy, na použitém lepidle.....	97
Obr. 57. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u materiálu HDPE, ozářeného dávkou 99 kGy, na použitém lepidle.....	99
Obr. 58. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u materiálu HDPE, ozářeného dávkou 132 kGy, na použitém lepidle.....	101
Obr. 59. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u materiálu HDPE, ozářeného dávkou 165 kGy, na použitém lepidle.....	103
Obr. 60. Závislost průměrné hodnoty maximální zatěžující síly u materiálu HDPE, ozářeného dávkou 198 kGy, na použitém lepidle.....	105
Obr. 61. Mikropovrchy u ozářeného a neozářeného HDPE.....	106

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Délková roztaživost teplem u různých materiálů	23
Tab. 2. Základní rozdělení lepidel	30
Tab. 3. Charakteristické vlastnosti standardního a houževnatého polystyrenu	48
Tab. 4. Srovnání některých fyzikálních vlastností polyamidů	49
Tab. 5. Charakteristické vlastnosti HDPE a LDPE.....	49
Tab. 6. Zpracování polyethylenu ve světě (v procentech)	50
Tab. 7. Fyzikální vlastnosti polypropylenu.....	50
Tab. 8. Zpracování polypropylenu v Evropě.....	51
Tab. 9. Základní vlastnosti polykarbonátu.....	52
Tab. 10. Fyzikální a mechanické vlastnosti (při 23 °C) lepidla Plexus MA310.....	53
Tab. 11. Fyzikální a mechanické vlastnosti (při 23 °C) lepidla Plexus MA422.....	54
Tab. 12. Fyzikální a mechanické vlastnosti (při 23 °C) lepidla Plexus MA832.....	55
Tab. 13. Technická data vstřikovacího stroje Arburg 420 C	57
Tab. 14. Technické údaje trhacího stroje Zwick 1456.....	63
Tab. 15. Maximální zatěžující síla u neozářených polymerů, lepených sekundovým kyanoakrylátovým lepidlem	64
Tab. 16. Typ porušení lepených vzorků lepených sekundovým lepidlem	65
Tab. 17. Maximální zatěžující síla u neozářených polymerů, lepených lepidlem Plexus MA310.....	66
Tab. 18. Typ porušení lepených vzorků lepených lepidlem Plexus MA310.	67
Tab. 19. Maximální zatěžující síla u neozářených polymerů, lepených lepidlem Plexus MA422.....	69
Tab. 20. Typ porušení lepených vzorků lepených lepidlem Plexus MA422	70
Tab. 21. Maximální zatěžující síla u neozářených polymerů, lepených lepidlem Plexus MA832	71
Tab. 22. Typ porušení lepených vzorků lepených lepidlem Plexus MA832	72
Tab. 23. Velikost maximální zatěžující síly u základního materiálu PS	74
Tab. 24. Velikost maximální zatěžující síly u materiálu PS, lepeného různými lepidly.....	74
Tab. 25. Velikost maximální zatěžující síly u základního materiálu PA6 (plněný).....	75

Tab. 26. Velikost maximální zatěžující síly u materiálu PA6 (plněný), lepeného různými lepidly.....	76
Tab. 27. Velikost maximální zatěžující síly u základního materiálu PA6 (neplněný).....	77
Tab. 28. Velikost maximální zatěžující síly u materiálu PA6 (neplněný), lepeného různými lepidly.....	77
Tab. 29. Velikost maximální zatěžující síly u základního materiálu LDPE.....	78
Tab. 30. Velikost maximální zatěžující síly u materiálu LDPE, lepeného různými lepidly.....	79
Tab. 31. Velikost maximální zatěžující síly u základního materiálu HDPE	80
Tab. 32. Velikost maximální zatěžující síly u materiálu HDPE, lepeného různými lepidly.....	80
Tab. 33. Velikost maximální zatěžující síly u základního materiálu PC.....	81
Tab. 34. Velikost maximální zatěžující síly u materiálu PC, lepeného různými lepidly.....	82
Tab. 35. Velikost maximální zatěžující síly u základního materiálu PP	83
Tab. 36. Velikost maximální zatěžující síly u materiálu PP, lepeného různými lepidly.....	83
Tab. 37. Maximální zatěžující síla u materiálu HDPE, ozářeného různými dávkami záření, lepeného sekundovým kyanoakrylátovým lepidlem.....	85
Tab. 38. Maximální zatěžující síla u materiálu HDPE, ozářeného různými dávkami záření, lepeného lepidlem Plexus MA310.....	87
Tab. 39. Maximální zatěžující síla u materiálu HDPE, ozářeného různými dávkami záření, lepeného lepidlem Plexus MA422.....	88
Tab. 40. Maximální zatěžující síla u materiálu HDPE, ozářeného různými dávkami záření, lepeného lepidlem Plexus MA832.....	90
Tab. 41. Velikost maximální zatěžující síly u neozářeného materiálu HDPE, lepeného různými lepidly.....	92
Tab. 42. Velikost maximální zatěžující síly u základního materiálu HDPE (neozářený).....	93
Tab. 43. Velikost maximální zatěžující síly u základního materiálu HDPE, ozářeného dávkou 33 kGy	94
Tab. 44. Velikost maximální zatěžující síly u materiálu HDPE, ozářeného dávkou 33 kGy, lepeného různými lepidly.....	94

Tab. 45. Velikost maximální zatěžující síly u základního HDPE, ozářeného dávkou 66 kGy	96
Tab. 46. Velikost maximální zatěžující síly u materiálu HDPE, ozářeného dávkou 66 kGy, lepeného různými lepidly.....	96
Tab. 47. Velikost maximální zatěžující síly u základního materiálu HDPE, ozářeného dávkou 99 kGy	98
Tab. 48. Velikost maximální zatěžující síly u materiálu HDPE, ozářeného dávkou 99 kGy, lepeného různými lepidly.....	98
Tab. 49. Velikost maximální zatěžující síly u základního materiálu HDPE, ozářeného dávkou 132 kGy	100
Tab. 50. Velikost maximální zatěžující síly u materiálu HDPE, ozářeného dávkou 132 kGy, lepeného různými lepidly.....	100
Tab. 51. Velikost maximální zatěžující síly u základního materiálu HDPE, ozářeného dávkou 165 kGy	102
Tab. 52. Velikost maximální zatěžující síly u materiálu HDPE, ozářeného dávkou 165 kGy, lepeného různými lepidly.....	102
Tab. 53. Velikost maximální zatěžující síly u základního materiálu HDPE, ozářeného dávkou 198 kGy	104
Tab. 54. Velikost maximální zatěžující síly u materiálu HDPE, ozářeného dávkou 198 kGy, lepeného různými lepidly.....	104

SEZNAM PŘÍLOH

PI CD ROM