

VLASTNOSTI LEPENÝCH SPOJŮ

Bc. Radek Majzlík

Diplomová práce
2007



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Vložit oficiální zadání diplomové práce

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Davidu Maňasovi, Ph. D. za odborné vedení, ochotně poskytnuté rady, cenné připomínky a soustavnou pozornost a pomoc, kterou mi při vypracování diplomové práce věnoval. Velmi rád bych rovněž poděkoval firmě Mayer & Mayer za jejich podporu, cenné rady a připomínky.

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího diplomové práce a ředitele ústavu. V případě publikace budu uveden jako spoluautor.

Prohlašuji, že jsem na celé diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.

Ve Zlíně, 01. 06. 2007

.....

podpis diplomanta

ABSTRAKT

Anotace česky

V této diplomové práci jsou shrnuty poznatky o lepení plastů a kovů různými typy lepidel. Byl vyšetřován i vliv oplazmování lepených vzorků na pevnost spoje. Byly provedeny pevnostní zkoušky lepených spojů a výsledky byly vyhodnoceny.

ABSTRACT

Anotace ve světovém jazyce

In this diploma work are summary knowledge by glued plastics and metals different sorts adhesive. Is was examinace efect plasma by glued points for fortress joint. It was fulfilment bursting tests glued joint and results was evaluation.

OBSAH

I. TEORETICKÁ ČÁST.....	10
1 VÝCHOZÍ TEORETICKÉ POZNATKY.....	11
1.1 PŘEDNOSTI A NEDOSTATKY LEPENÝC SPOJŮ.....	11
1.2 PŘEDBĚŽNÉ ÚPRAVY POVRCHMATERIÁLU.....	11
1.2.1 Úprava rovinnosti a hladkosti.....	11
1.2.2 Odmašťování.....	11
1.2.3 Chemické moření.....	12
1.2.4. Odstraňování vnitřního pnutí temperací.....	12
2 POUŽITÍ TECHNOLOGIE.....	13
2.1 PODSTATA LEPÍCÍHO PROCESU.....	13
2.2 LEPIDLA A JEJICH ZÁKLADNOROZDĚLENÍ.....	15
2.3 DRUHY LEPIDEL.....	18
2.3.1 Metakrylátová lepidla typu SS1500.....	18
2.3.2 Metakrylátová lepidla typu SS300.....	18
2.3.3 Kaučuková lepidla.....	18
2.3.4 Disperzní lepidla.....	18
2.3.5 Dvousložková konstrukční lepidla.....	19
2.3.6 Lepidla ve spreji.....	21
2.3.7 Rozpouštědlová lepidla.....	23
2.3.8 Polystyrenová lepidla.....	24
2.3.9 Kyanoakrylátová lepidla.....	24
2.3.10 Akrylová tvrzená lepidla.....	25
2.3.11 Tavná lepidla.....	26
2.3.12 Vteřinová lepidla.....	28
2.3.13 Anaerobní lepidla.....	28

2.4 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI A DRUHY EPOXIDOVÝCHLEPIDEL.....	29
2.4.1 Epoxy 1200.....	29
2.4.2 Epoxy 1001.....	30
2.4.3 Epoxy 2004.....	31
2.5 LEPENÍ Z HLEDISKA KONSTRUKCE A PEVNOSTISPOJE.....	31
2.5.1 Vliv tloušťky adhezní vrstvy.....	31
2.5.2 Stanovení optimální délky přelevu.....	32
2.6 ZKOUŠENÍ LEPENÝCSPOJŮ.....	33
2.6.1 Pevnost ve smyku podle ČSN 66 8510.....	33
2.6.2 Pevnost lámavosti podle ČSN 66 8511.....	33
2.6.3 Pevnost v odlupování podle Wintera ČSN 66 8516.....	34
2.6.4 Rázová zkouška podle ČSN 66 8512.....	35
2.6.5 Pevnost ve smyku při dlouhodobém staticky působícím zatížení.....	35
II. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	36
3 MATERIÁLY A JEJICH CHARAKTERISTIKA.....	37
3.1 Polykarbonát.....	37
3.2 Polyamid.....	37
3.3 Polypropylen.....	37
3.4 Polystyren.....	38
3.5 Polyetylentereftalát.....	38
4 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES.....	39
4.1 Příprava kovových zkušebních tělísek.....	42
4.2 Příprava zkušebních tělísek z polymerů.....	43
4.3 Aplikace lepidel.....	51
5 ZKOUŠKA TAHEM.....	55
5.1 Zkouška tahem - pevnost lepeného spoje kovových materiálů.....	57
5.2 Zkouška tahem - pevnost lepeného spoje polymerních materiálů.....	60
6 DISKUSE VÝSLEDKŮ TAHOVÉ ZKOUŠKY.....	70
7 SEZNAM OBRÁZKŮ.....	83
8 SEZNAM TABULEK.....	85

9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....86**ÚVOD**

Nárůst požadavků na technickou úroveň konstrukcí se projevuje v poslední době intenzivně i v oblasti spojování materiálu, kde lepení je často jedinou spojovací metodou, která nenarušuje vlastnosti citlivých materiálů, poskytuje nové kombinační schopnosti a dovoluje získat takové tvary a vlastnosti, které nejsou jiným způsobem dosažitelné. K tomu, aby nám lepené spoje dobře sloužily, je důležité znát nejen vlastnosti lepidel a lepených materiálů, ale i způsob, jakým budou lepené materiály namáhány. Má-li mít lepený spoj dlouhou životnost musí být konstruován jako lepený spoj. Pokud lepidlo použijeme jen proto, že použití vhodnější technologie je pro nás nedostupné, a nebo jako poslední záchranu, když ostatní technologie nevyhověli, pak máme malou naději na úspěch.

Lepení se velmi rozšířilo nejen v průmyslových oborech, ale i při individuálních pracích, neboť lepidla umožňují spojování materiálů bez nároku na vybavení dílny. I když lze některými typy lepidel lepit širokou škálu materiálů, nelze je přesto považovat za univerzální. Universální lepidla neexistují. Jen s určitými druhy lepidel, na konkrétních materiálech a za určitých pracovních podmínkách je možné získat spoje s optimálními vlastnostmi v určitém směru.

Jednou z hlavních výhod spojování lepením je možnost spojovat různé konstrukční materiály, především pak plasty a vyztužené plasty, jejichž význam jako konstrukčních materiálů stále roste. Lepidla dnes nacházejí uplatnění téměř v každém průmyslovém odvětví. Lze jmenovat stavbu lodí, vagónů, obráběcích strojů, stavebnictví, měřicí a regulační techniku a dokonce i zdravotnictví.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VÝCHOZÍ TEORETICKÉ POZNATKY

1.1 Přednosti a nedostatky lepených spojů

Lepení je důležitým doplňkem tradičních metod spojování. Lepení má řešit především ty případy, které nelze řešit jinými metodami spojování.

Přednosti lepení :

- Zvýšení bezpečnosti při poruše
- Snížení výrobních nákladů
- Těsnost spoje
- Možnost spojovat velké a velmi tenké plochy

Nedostatky lepení :

- Nutnost úpravy ploch před lepením
- Náchylnost ke creepu
- Malá odolnost proti zvýšení teploty a odlupování

1.2 Předběžné úpravy povrchu materiálu

1.2.1 Úprava rovinnosti a hladkosti

Úprava rovinnosti (egalizace) spojovaných dílců se týká především tuhých konstrukčních materiálů, např: dřeva, kovů a tvrdých plastických hmot. Egalizací se současně odstraní většina nečistot a nerovností povrchu. V průmyslu se plochy egalizují vesměs frézováním, strojním hoblováním nebo protahováním brusnými válci.

1.1.2 Odmašťování

U náročných spojů vyžadujících optimální předběžnou úpravu stykových ploch probíhá jako v pořadí druhá operace navazující na mechanické opracování a předcházející chemickému moření. Provádí se jednak těžkými organickými rozpouštědly a vodnými roztoky saponátů. Při úpravě jednotlivých spojů je možné menší plochy odmašťovat

vatovými tampóny smáčenými v rozpouštědle. Ve větším měřítku se odmašťování provádí rozpouštědly systémem dvou lázní (nečistě a oplachovací) nebo v parách vroucího rozpouštědla.

1.2.3 Chemické moření

Kovy, sklo, porcelán a některé druhy plastických hmot např : polyolefiny a polyamidy se vyznačují tím, že v původním stavu nejsou dobře lepivé. Z různých metod, které byla navrženy pro zlepšování adhezních vlastností spojovaných povrchů, se nejvíce osvědčily metody spočívající v aktivaci pomocí roztoků chemikálií, např. silných minerálních kyselin. Mořicí lázně musejí být přechovávány jen ve skleněných nebo kameninových nádobách, popř. v zásobnících se stěnami obloženými PVC. Lázně obsahující fluorovodíkovou kyselinu se uchovávají výhradně v nádobách z PVC nebo v nádobách teflonových.

1.2.4 Odstraňování vnitřního pnutí temperancí

V místech těsně přilehlých spoji se v krátkém čase objevují stříbřité vlasové trhlinky, které způsobí, že se spoj stane neprůhledný a celkově neestetický. Jde o uvolnění vnitřního pnutí hmoty, které je vyvoláno působením rozpouštědla obsaženého v lepidle. Příčinou vzniku vnitřního pnutí ve formě je buď výrobní proces (např. tokové vlivy u vstřikovaných výrobků), nebo tlak a teplota vyvozené nástrojem při opracování lepených ploch.

Dlouhodobá temperance dílců při vyšší teplotě se provádí v teplovzdušné sušárně s citlivou regulací teploty a tepelným zdrojem umístěným mimo komoru. Předpokladem dobrých výsledků je velmi pomalé zchlazování dílců na běžnou teplotu. Tzv. druhá temperance se provádí někdy až po úplném dokončení lepeného předmětu nebo po jeho kompletaci s kovovými dílci. Jejím účelem je nejen odstranit vnitřní pnutí, ale také zbavit spáru posledních zbytků rozpouštědel a vlhkosti.

2 POUŽITÍ TECHNOLOGIE

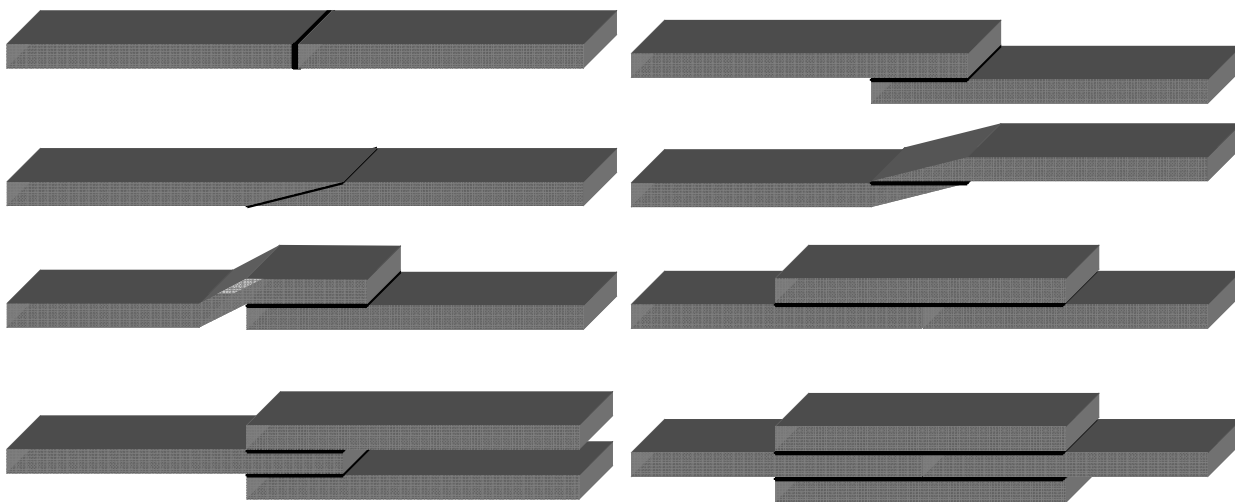
2.1 Podstata lepicího procesu

Lepení je jednou z velmi důležitých spojovacích technik kompozitních materiálů. Tato metoda často nahrazuje šroubování tam, kde není vhodné použití kovových materiálů, nebo kde jde o minimální hmotnost výsledného výrobku. Navrhování lepeného spoje může být v jistém případě velmi jednoduché – určí se tvar spoje, přičemž se předpokládá, že lepidlo (**adhesivum**) utvoří dostatečný spoj a že substrát (**adherend**) má čistý povrch. V opačném případě (např. při lepení křídel letadla, rotoru helikoptér a pod.) je třeba zohlednit silové poměry, geometrie spoje, vlastnosti konstrukčních materiálů a jejich chování v podmínkách pracovního zatížení.

Pro dosažení žádaného úspěchu je třeba respektovat tyto základní principy:

- největší pevnost spoje se musí orientovat ve směru maximálního namáhání
- vrstva adhesiva musí být maximálně rovnoměrná, souvislá a co nejtenčí

Při lepení tuhých materiálů je třeba vzít v úvahu především časové požadavky, způsob, velikost a směr působení zatížení. Protože většina konstrukčních lepidel má velmi dobrou pevnost ve smyku, ale jen malou pevnost v odlupování a štěpení, je třeba těmto namáháním při konstrukci spoje předcházet anebo je minimalizovat.

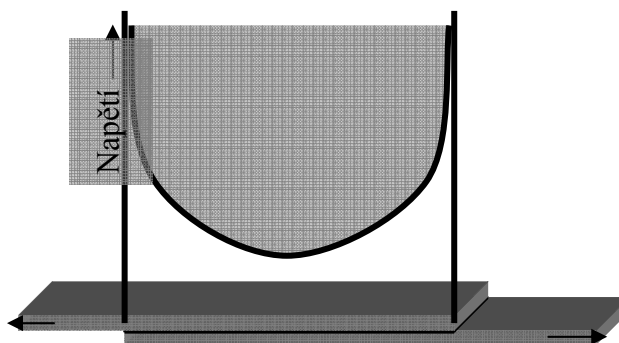


Obr.1. Způsoby lepení plošných těles

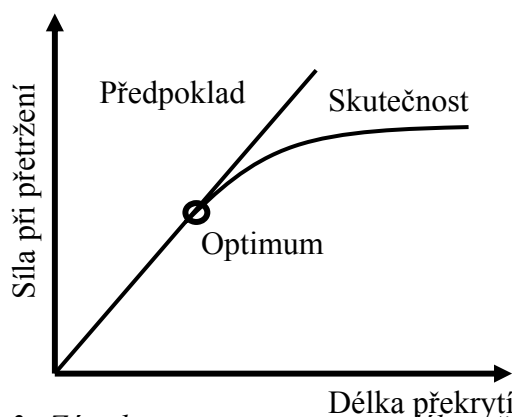
Pevnost lepeného spoje ve smyku P je definována jako poměr maximální síly F_{\max} a plochy spoje S počítanou jako součin překryvné délky a šířky adherendů.

$$P = \frac{F_{\max}}{S} \quad [\text{Pa}] \quad [1]$$

Lepené spoje mohou mít v případě lepení plošných těles tvary zobrazené v obrázku 1. Nejběžnějším spojem je jednoduchý překryvný spoj. Z obrázku 2 je vidět, že na hranách vzniká koncentrace napětí. To způsobuje, že napětí, při kterém se spoj porušuje, je podstatně nižší než skutečná smyková pevnost lepidla.



Obr. 2. Rozložení napětí v překryvném lepeném spoji



Obr. 3. Závislost pevnosti spoje na délce překrytí

Síla při přetržení spoje roste s velikostí překrytí, jak je zřejmé z obrázku č.3. Neroste však lineárně s délkou překrytí. Za hranicí lineární oblasti již síla roste pomaleji než lineárně rostoucí plocha spoje a proto je výsledná pevnost ve smyku od tohoto místa klesající. Proto je v místě ohybu křivky vyznačena optimální délka překrytí. Na rozdíl od toho síla při přetržení roste lineárně se šířkou spoje a pevnost lepeného spoje ve smyku tak zůstává konstantní (kolikrát je větší šířka, je větší i plocha S). Zvětšování plochy překrytí má tedy za následek nárůst síly při přetržení, ale smyková pevnost je do bodu „optima“ konstantní, nad ním pak klesající.

Síla při přetržení závisí při dostatečné adhezi také na tloušťce adherendu. S rostoucí tloušťkou roste i síla při přetržení. Na základě těchto závislostí byl odvozen tvarový faktor f .

$$f = \frac{\sqrt{s}}{l} [\text{mm}^{-\frac{1}{2}}] \quad [2]$$

kde

s tloušťka adherendu [mm]

l je délka překryvu [mm].

2.2 Lepidla a jejich základní rozdělení

Lepidla rozdělujeme na :

1. Organická - přírodní

rostlinná (mouky, škroby, celulosa, přírodní pryskyřice,...)

živočišná (glutinové klihy, kaseinové a albuminové klihy,..)

syntetická

reaktoplastická (fenolformaldehydová,

močovinoformaldehydová, epoxidová, polyesterová,
melaminoformaldehydová)

termoplastická (polyvinylchloridová, polyvinylacetátová,
polyakrylátová...)

2. Anorganická - vodní sklo, sádra, cementy

Rozdělení lepidel podle skupenství :

- tekutá
- pevná (prášková)
- fólie

Rozdělení podle odolnosti vůči vodě :

- vodovzdorná (odolávají horké vodě a páře) – fenolformaldehydová, melaminoformaldehydová
- středně vodovzdorná (odolávají studené vodě) – močovinoformaldehydová, kaseinová, epoxidová
- nevodovzdorná (glutinová, polyvinylacetátová...)

Rozdělení podle teploty vytvrzení :

1. Studená – vytvrzení při 20 až 30°C
2. Teplá – vytvrzení při 30 až 100°C
3. Horká – vytvrzení nad 100°C

Hlavní složkou lepidla je pojivo neboli adhezní základ zajišťující pevnost a odolnost spoje. Použití lepidla k lepení umožňuje většinou nosič, kterým může být voda nebo organické rozpouštědlo, ale i papír (samolepící etikety), textil (leukoplast, izolační a kobercové lepicí pásy) nebo polymerní fólie (např. tzv. izolepa). Reaktivní lepidla (např. epoxidová) obsahují dále vytvrzovací systém. Nejrůznější vlastnosti lepidla pak ovlivňují modifikátory. Jedná se např. o úpravu tokových vlastností ředidly a plnivy, zvětšení odolnosti vůči vnějším vlivům stabilizátory, ale i zlevnění lepidla nadouvadly. Vidíme tedy, že lepidla představují nejrůznější často složité polymerní směsi a lze je proto klasifikovat podle mnoha hledisek. Základní typy lepidel lze charakterizovat následovně :

Klížidlo je lepidlo, jehož pojivo je rozpustné ve vodě, je to roztokové lepidlo, jehož nosičem pojiva je voda.

Roztokové lepidlo je vyhrazeno pro roztoky pojiva v organických těkavých rozpouštědlech. Naproti tomu tzv. bezrozpouštělová neboli reaktivní lepidla těkavá rozpouštědla neobsahují. Jejich pojivy jsou reaktoplastické pryskyřice.

Tavné lepidlo je tvořeno termoplastickou hmotou, která se před použitím převede do plastického stavu zahřátím (roztaví se). Jsou dodávána v nejrůznějších formách, např. jako pelety, granule, prášky, pásy, dráty (navinuté na cívkách) apod. K přednostem tavných lepidel patří hlavně krátká doba lepení a možnost snadno spojovat porézní materiály. Nevýhodou je nutnost značně přesného udržování teploty taveniny adheziva během lepení.

Přilnavé lepidlo je stále lepivé. Lne prakticky ke všem materiálům. Často bývá nanášeno na podklad z papíru nebo jiného materiálu (samolepicí pásy, etikety atd.). Jejich působení je založeno na odporu vůči vzájemnému odtržení ploch spojených vrstvičkou adhesiva, který je vyvolán nuceným tokem adhesiva dovnitř spoje při oddalování ploch. Jako přilnavá lepidla se uplatňují látky, které si po celou dobu působení zachovávají charakter vysoce viskózní kapaliny.

Adhesiva na základě *eleastomerů*, resp. kaučuků jsou buď roztoky (roztočová) nebo latexy (disperzní) přírodního nebo syntetického kaučuků. Lepidla z přírodního kaučuku mají obvykle lepivost dostatečnou, kdežto lepivost syntetických kaučuků je třeba většinou zvyšovat přidáním pryskyřic.

Směsná lepidla založená na kombinaci kaučukových latexů s kaseinem, jsou hojně používána na výrobu vrstvených obalových materiálů, zejména typu hliníková fólie – papír.

Z kaučukových latexů přicházejí v úvahu hlavně butadienstyrenový a přírodní. Adhesiva na základě chloroprenových latexů se vyznačují malým, ale charakteristickým zápachem a mírnou toxicitou. Spojí však dobře odolávají jak vodě, tak oleji a zvýšeným teplotám.

2.3. Druhy lepidel

2.3.1 Metalokrylátová lepidla typu SS 1500

Jedná se o sérii dvoukomponentních metakrylátových lepidel pro lepení termoplastů, kovů a kompozitů. Produkty nabízejí unikátní kombinaci adheze k široké škále materiálů a vysokou smykovou pevnost. Výhodou je jednoduchá a výhodná aplikace, rychlé vytvrzování, vysoká pevnost a tuhost. Lepidla se dodávají buď v kartuších o obsahu 50 a 400 ml nebo v plechovkách o objemu 22,7 litrů a sudech 227 litrů.

Hlavní přednosti

- Mísící poměr není kritický
- Lepení kovů bez primeru
- Kombinace pevnosti a tuhosti
- Nestékající nános
- Výborná odolnost vůči opotřebení

Výhody

- Výběr typu podle aplikačních požadavků
- Vynikající účinnost při ručním nebo strojním míchání
- Není nutná úprava povrchů
- Vysoká pevnost slepu, odolává stříhu, odlupu a rázovému namáhání
- Snadná aplikace na svislé stěny
- Stabilní spoje i v drsných podmínkách

Vlastnosti spoje

Pevnost v tahu	27 – 34 MPa
Maximální protažení	80 %
Modul pružnosti v tahu	965 – 1172 MPa
Pevnost ve smyku	24 – 27 MPa
Provozní teplota	-55 až +121°C

Pro tyto lepidla jsou doporučeny tyto materiály : polyesterové a epoxidové lamináty, PVC, ABS, vinylesterové lamináty, povlakované kovy, hliník, ocel a další termoplasty.

Z kovových povrchů se před lepením musí odstranit prach, rez, olej, maziva. Pro dosažení maximální pevnosti by se měl obrousit povrch.

Spoje jsou odolné vůči teplo, vodě, vlhkosti, chemikáliím rozpustným ve vodě a většině uhlovodíkům, včetně benzínu, naftě a motorovým olejům.

Tab. I Vlastnosti serie SS1500 adhesiv při 24°C

PRODUKT	DOBA ZPRACOVÁNÍ (MINUTY)	DOBA FIXACE (MINUTY)
SS1505	4 – 7	> 15
SS1515	12 – 16	> 25
SS1530	27 – 35	> 45
SS1560	50 – 70	> 140

Při vytvrzovací reakci po smíchání komponent A a B (A – lepidlo , B – aktivátor) se uvolňuje teplo.

Doba zpracování je doba po smíchání komponent A a B , kdy lepidlo zůstává kapalné a použitelné k lepení.

Doba fixace je čas, který je zapotřebí po smíchání složek A a B k vytvoření dostatečně pevného spojení , aby byla možná manipulace s lepeným dílcem nebo vyjmutí z lepicího přípravku či formy. Dílec je připraven k provoznímu zatížení, pokud je dosaženo 80% konečné pevnosti. Čas dosažení 80% pevnosti je přibližně 2 – 3 násobek času fixace.

Zařízení pro nanášení :

Doporučuje se aplikace z kartuší, využívá se statických mixerů a speciální lepicí pistole.

Aplikace:

Před započítím nanášení lepidla je vždy nutné vytlačit zkušební dávku, abychom se ujistili, že lepidlo opouští mixer řádně promícháno. Při lepení je třeba dodržet nominální tloušťku filmu lepidla 0,4mm. Pro zajištění optimální mezery byly použity distanční vložky.

2.3.2 Metalokrylátová lepidla typu SS 300

Jedné se o sérii dvoukomponentních metakrylátových lepidel se směšovací poměrem 10:1 pro lepení kompozitů, kovů a plastových dílů. Většina termoplastů může být lepena bez úprav povrchu. Případné nečistoty lze odstranit etanolem. Kombinace minimální předúpravy povrchu činí z adhesiv SS300 série výrobky ideální pro různorodé operace spojování. Adhesiva SS300 jsou k dispozici buď v barvě šedobílé nebo černé v závislosti na volbě aktivátoru a dodávají se buď v kartuších o obsahu 490ml nebo v plechovkách o objemu 22,7 litrů a sudech 227 litrů pro aplikaci pomocí míchacích a dávkovacích zařízení. Typ SS316 o vysoké viskozitě je určen pro velkoobjemové aplikace.

Hlavní přednosti

- Snížené prorýsování spoje
- Výběr doby zpracování 5, 15 nebo 40 minut
- Nestekající nános
- Výborná odolnost vůči prostředí
- Trvalá tuhost

Výhody

- Zredukování dokončovacích operací
- Výběr typu podle aplikačních požadavků
- Pro většinu kovů není třeba upravovat povrch nebo užívat primer
- Snadná aplikace na svislé stěny
- Stabilní spoje v drsných podmínkách
- Vynikající odolnost vůči únavě a rázům

Vlastnosti spoje

Pevnost v tahu	14 – 15 MPa
Maximální protažení	100 – 125 %
Modul pružnosti v tahu	207– 276 MPa
Pevnost ve smyku	17 – 19 MPa
Provozní teplota	-55 až +121°C

Pro tyto lepidla jsou doporučeny tyto materiály : polyesterové a epoxidové lamináty, PVC, ABS, vinylesterové lamináty, povlakované kovy, hliník, ocel a další termoplasty.

Spoje jsou odolné vůči teplo, vodě, vlhkosti, chemikáliím rozpustným ve vodě a většině uhlovodíkům, včetně benzínu, naftě a motorovým olejům.

Tab. II Vlastnosti serie SS300 adhesiv při 24°C

PRODUKT	DOBA ZPRACOVÁNÍ (MINUTY)	DOBA FIXACE (MINUTY)
SS305A & SS605B	4 – 6	> 15
SS315A, SS316A & SS605B	14 – 17	> 30
SS340A & SS605B	35 – 45	> 80

2.3.3 Kaučuková lepidla

Rozdělení :

Kaučuková lepidla - nevulkanizační

Vulkanizační

samovulkanizační

vulkanizační za zvýšené teploty

Nevulkanizační kaučuková lepidla mají ve srovnání s vulkanizačními kaučukovými lepidly podstatně menší pevnosti spojů. Vulkanizační kaučuková lepidla obsahují vulkanizační přísady a vulkanizují obvykle v rozmezí teplot 140°C až 150°C.

U samovulkanizačních kaučukových lepidel jsou ještě kromě vulkanizačních přísad přidány aktivátory a urychlovače, umožňující vulkanizaci i za teploty 25°C až 30°C.

K výrobě kaučukových lepidel se používají kaučuky a kaučukové směsi, které se těsně před výrobou lepidla odbourávají válcováním, aby se zlepšila jejich lepivost a rozpustnost.

Rozvrh pracovních teplot: -30 až +80°C

2.3.4 Disperzní lepidla

Disperzní lepidlo je vodná disperze pojiva, jeho nosičem je také voda, ale pojivo v ní není rozpustné. Zde jsou uvedeny některé typy těchto lepidel.

Fastbond 2000 NF

Disperzní lepidlo nanášené pomocí vhodného rozprašovače. Mokrý lepicí film s vysokou okamžitou počáteční pevností umožňuje rychlé další zpracování. Vhodné pro: pěny s otevřenými buňkami, lamináty z umělé hmoty, překližky, desky z umělé pryskyřice, minerální vaty, kovy s antikorozi ochranou.

Fastbond 30

Kontaktní lepidlo pro zpracování laminátových desek z umělé hmoty, dřeva, kartonáží, papíru, tkanin, polyesterových fólií a magnetických pásků, všude tam, kde jsou rozpouštědla běžných lepidel nežádoucí. Nehořlavé, odolné proti vodě, světlu a teplotě, vysoký výkon.

Fastbond 40

Kontaktní lepidlo s vysokou hustotou pro lepení umělé hmoty, dřeva, kartonáží, papíru, tkanin, polyesterových fólií, všude tam, kde jsou rozpouštědla běžných lepidel nežádoucí. Nehořlavé, odolné proti vodě, světlu a teplotě, vysoký výkon.

Fastbond 49

Jednosložkové lepidlo na bázi vody s vysokým obsahem pevných látek. K lepení izolačních materiálů jako sklolaminátová izolace, plst, tkaniny – k sobě navzájem nebo jiným substrátům. Nanáší se na jeden povrch, není tedy kontaktní. je ekologicky šetrné.

2.3.5 Dvousložková konstrukční lepidla

Strukturální lepidla - Scotch-Weld

- Spojují různé druhy materiálů
- Lepí a utěsňují jemné opravy
- Spojením velkých ploch se sníží bodové namáhání

- Lepidla jsou k dispozici v dvoukasetovém balení, které je součástí systému 3M scotch-Weld EPX™

Scotch- Weld 9323 B/A, houževnatě pružné

Vhodné na hliník, ocel, mnoho druhů umělých hmot a na spojovací plasty jako succinyl – monocholin (SMC), GFK a uhlíkem tvrzené umělé hmoty (CFK).

Scotch-Weld DP 100

Nízká viskozita, vhodné k zalévání a lepení pro nižší namáhání.

Scotch-Weld DP 105

Nižší viskozita, velmi pružné, pro středně namáhané a pružné spoje.

Scotch-Weld DP 110

Rychle vytvrzující, pro střední namáhání

Scotch-Weld DP 190

Pomaleji vytvrzující, nižší viskozita, vysoká pevnost v odlupu

Scotch-Weld DP 270

Nízká viskozita, k zalévání elektrotechnických součástí a materiálů, nekoroduje běžné elektrotech.materiály.

Scotch-Weld DP 410

Špičkové konstrukční lepidlo s krátkou dobou vytvrzování, tixotropní

Scotch-Weld DP 460

Špičkové konstrukční lepidlo s delší dobou vytvrzování, střední viskozita

Scotch-Weld DP 490

Špičkové konstrukční lepidlo, tixotropní, prodloužená doba tuhnutí, zvýšená teplotní odolnost

Scotch-Weld DP 620 NS

Polyurethanové lepidlo, vyznačuje se vysokou pevností v tahu , vhodné pro lepení různorodých podkladů

Scotch-Weld DP 760

Vysoce teplotně odolné konstrukční lepidlo k lepení materiálů trvale vystaveným vysokým teplotám.

Scotch-Weld DP 8005

Unikátní lepidlo k lepení plastů s nízkou povrchovou energií - polyethylenu, polypropylenu a jiných, rovněž k lepení dalších materiálů - dřevo, sklo, kovy a beton.

Scotch-Weld DP 801

Na kovy, keramiku, plasty, dřevo

Scotch-Weld DP 8010

Unikátní lepidlo k lepení plastů s nízkou povrchovou energií - polyethylenu, polypropylenu a jiných, rovněž k lepení dalších materiálů - dřevo, sklo, kovy a beton.

Scotch-Weld DP 810

Téměř bez zápachu, dosažení pevného a pružného spoje, na kovy, keramiku, plasty, gumu, dřevo.

Scotch-Weld 7231 B/A, konstrukční

Vhodné zejména k lepení podlahových materiálů v dopravním průmyslu. Má také dobrou adhezi k plastům, kovům a sklu.

2.1.6 Lepidla ve spreji

Na ukázkou jsou uvedeny některé typy těchto lepidel.

DisplayMount

Pro trvalé spoje. Víceúčelové aerosolové lepidlo pro výstavní stánky, studiové a divadelní scény, propagační práce a další aplikace. Je čiré, rychleschnoucí a nedělá skvrny.

Lepí většinu porézních i neporézních materiálů, včetně plastů, látek, kovových fólií, pěny, papíru, kartonu, kobercoviny a pryže.

PhotoMount

Lepidlo pro trvalé připevnění fotografií, reprodukcí a ilustrací. Má vysokou adhezi, je čiré, neodbarvuje ani neprosvítá tiskem. Protože pomalu schne, ponechává čas pro přesné umístění před konečným přilepením.

Remont

Lepidlo umožňující opakované přemísťování. Předměty nastříkané lepidlem Remont drží bezpečně na místě, ale snadno se sejmou a znovu přilepí. Je čiré, nedělá skvrny a nesvrašťuje se. Hodí se k lepení lehkých materiálů, jako je papír, lepenka a latky na většinu hladkých povrchů.

Spray 75

Sprejové lepidlo s možností přemístění. Ideální pro dočasnou fixaci lehkých materiálů, lepí šablony na plastové materiály během stříhání. Umožňuje přemísťovat materiály bez dalšího nanášení lepidla, lepí okmažitě, neprosakuje a nezanechává skvrny.

Spray 77

Víceúčelové sprejové lepidlo. Vynikající pro řadu aplikací u výstavních expozic. Lze použít pro připevnění izolace na plechy. Vysoká krycí schopnost s malým prosakováním. Rychlá a agresivní přilnavost, která bezpečně zajistí většinu lehkých materiálů. Vhodné pro použití u polystyrenových pěn. Jedno - nebo dvoupovrchové aplikace.

Spray 90

Lepidlo s vysokou pevností. Lepí polyetylen, polypropylen na dřevo, kov a řadu dalších materiálů. Ideální pro lepení dekorativního laminátu ke stolům, skříňkám apod. Vysoce pevné, schne jednu minutu. Vysoká tepelná odolnost až do 71°C. Nerozprašuje se, přesná kontrola nástřiku.

SprayMount

Studiové lepidlo. Poskytuje rychlý a bezpečný spoj, přičemž opnechává dostatečný čas pro případné přemístění. Je čiré, nezanechává skvrny, nesvráští se a stářím nekřehne. Lepidlo ve spreji pro grafické úpravy a výtvarné práce i pro lepení a montáž mnoha druhů materiálů na téměř každý povrch.

2.3.7 Rozpouštědlová lepidla

Fastbond 10

Kontaktní lepidlo s vysokou tepelnou odolností pro univerzální použití. Na lepení laminátových desek, dřevovláknitých desek, překližky, dýh, plechů, gumy, kůže, textilií, možno na něj provádět nátěr i nástřik. Používá se bez přísad natvrdnutí.

1099 Scotch-Weld

Rychleschnoucí lepidlo s dobrou odolností proti migraci změkčovadel. Je velmi vhodné k lepení vinylových lisovaných profilů a desek. Lepí také tkaniny, pěnové materiály a pružné plasty.

1300L Scotch-Weld

Na lepení přírodního a umělého kaučuku, jako neoprénových, regeneračních, styren-butadienových pryží na kovy, dřevo a jiné materiály. Verze lepidla Scotch-Weld 1300 upravená pro aplikaci nástřikem. Vysoká počáteční pevnost, vynikající tepelná odolnost.

847 Scotch-Weld

Víceúčelové lepidlo s rozsáhlou oblastí využití, vhodné na PVC, nitrikaučuk, ocel, hliník, dřevo, kůži. Je odolné vůči olejům, pohonným hmotám, změkčovadlům. Reaktivovatelné za tepla a v rozpouštědle.

2.3.8 Polystyrenová lepidla

Jsou to roztoky polystyrenu nebo kopolymerů styrenu se změkčujícími a adhezními přísadami v organických rozpouštědlech. Nejjednodušším lepidlem tohoto typu je roztok polystyrenu toulenu, acetonu nebo v jiném rozpouštědle polystyrenu. Film polystyrenu je po odpaření lepidla velmi tvrdý.

2.3.9 Kyanoakrylátová lepidla

Kyanoakryláty jsou relativně nízkoviskozní kapaliny založené na akrylátových monomerech. Vytvrzují se velmi rychle po styku s malými stopami povrchové vlhkosti.

Jsou-li umístěny mezi těsně doléhajícími povrchy, některé vytvoří pevné spoje ve dvou až třech sekundách. Úplná pevnost se získá po 5 až 20 hodinách. Vzhledem k velké rychlosti vytvrzování mohou být kyanoakryláty použity pouze pro lepení relativně malých povrchů. Vytvářejí vazby s vysokou stříhovou pevností, ale většinou nevydrží působení loupacích sil a náhlá zatížení. Tato lepidla spojí téměř všechny materiály kromě polyolefinických plastů (PE), fluoropolymerů (PTFE) a kaučuků na bázi silikonů. Ovšem nedávno vyvinuté podkladní nátěry, které se používají ve spojení s kyanoakryláty, prokázaly, že i tyto obtížně slepitelné plasty se dají úspěšně spojit. Spojování amorfních termoplastů (PC, PEI, PES, PSU) kyanoakrylátovými lepidly může způsobit praskání pod napětím.

Použití

Normálně se lepidla používají přímo z láhve v tenké vrstvě na jeden z lepených povrchů. Oba díly se musí okamžitě spojit (nutnost přesného umístění) a přidržet dohromady pod tlakem. Maximální pevnost je dosažena v sekundách, ale doporučuje se před zatížením tohoto spoje vyčkat dalších 24 hodin. Příliš velké nebo příliš malé procento vlhkosti v okolí, nebo příliš silná vrstva lepidla mohou způsobit slabé spoje nebo zabránit slepení. Totéž nastane, jsou-li na povrchu ponechány kyselé zbytky, t.j. po odmaštění chlorovanými rozpouštědly (1,1,1-trichlorethan, trichlorotrifluoretan). Při spojení kyanoakrylátovými lepidly se musí nejdříve provést odmaštění ketony nebo alkoholy (acetone, isopropylalkoholem,...).

Bezpečnostní opatření

Veškerá tato lepidla slepí i velmi rychle kůži, čímž představují skutečné nebezpečí, kterého je nutno se vyvarovat. Některé kyanoakryláty mají dráždivé výpary, které musí být při stálém použití vyloučeny. Skupina lepidel na bázi kyanoakrylátů není považována za toxickou.

2.3.10 Akrylová tvrzená lepidla

Tato skupina lepidel založených na různých akrylátových monomerech s přídavkem kaučuku s nízkou molekulovou hmotností, které vytvářejí velmi dobrou

odolnost proti nárazovým a loupacím silám. Jsou to dvousložková lepidla (pryskyřice + tužidlo) s viskozitami velmi nízkými až velmi vysokými. Vytvrzovaná akrylová lepidla jsou vhodná pro spojování téměř všech materiálů s výjimkou polyolefinových plastů, fluoropolymerů a některých materiálů, obsahujících kaučuk; lepený spoj je velmi pevný. Některé druhy těchto lepidel způsobují praskání pod napětím u amorfních termoplastů (PC, PEI, PES, PSU). Proveďte zkoušku soudržnosti nebo použití konzultujte s dodavatelem lepidla.

Rozvrh pracovních teplot: 50 až 120°C

Použití :

Návody k použití se mohou značně lišit v závislosti na typu lepidla. U většiny typů se používá tenká vrstva tužidla (iniciátoru) na jeden povrch a vrstva pryskyřice na druhý a potom se spojí. Pro některé typy se tyto složky musí předem smíchat. Ačkoliv všechna tato lepidla jsou určena pro použití při pokojové teplotě, některá z nich mohou být zahřáta, aby se proces urychlil.

2.3.11 Tavné lepidla

Tavná lepidla jsou zlepšením prvních známých lepidel; roztavených vosků. Jsou dostupná v různých formách: prášcích, filmech, prutech, tabletách a také kapalinách. Mnohé syntetické termoplastické polymery mohou být použity jako tavná lepidla. Tato lepidla tají při zahřátí a tvrdnou při ochlazení. Tuhnou rychle, ale nevydrží vysoká zatížení a obvykle mají nízkou tepelnou odolnost. Horké taveniny spojí i nespolehlivě spojovatelné polyolefiny. Jsou ovšem nevhodné pro většinu kaučuků. Obecně vysoká viskozita taveniny činí práci na malých předmětech obtížnou.

Rozvrh pracovních teplot: -20 až 60°C jsou dostupné i druhy, které se dají použít až do 180°C

Použití

Většina lepidel je dodávána ve formě patron a nanášena pomocí elektricky vyhřívané pistole. Je to jednoduchá, rychlá a ekonomická cesta pro použití tavných lepidel.

Bezpečnostní opatření

Vzhledem k vysoké teplotě tavných lepidel je největším problémem možnost těžkých popálenin. Podle užití a typu lepidla se preventivní opatření značně liší. Používají se rukavice, ochranné brýle a dobré větrání až po složitá měřicí a ochranná zařízení s odsáváním kouře a par.

Druhy tavných lepidel

Jet - Melt 3779

Lepidlo s vynikající tepelnou odolností, dobrou tekutostí a elektroizolačními vlastnostmi. Díky dlouhé otevřené době je vhodné pro bodové lepení tištěných spojů.

Jet-Melt 3738

Lepidlo s mnohostranným využitím na dřevo, lepenku, papír, zdrsňený ABS,PVC a polystyren.

Dobré elektrické vlastnosti.

Jet-Melt 3748

Houževnatě elastické lepidlo s dobrou pevností v odlupu a odolností proti šokovým teplotním výkyvům. Zvýšená tepelná odolnost. Speciálně k lepení a vyztužování stavebních prvků na deskách plošných spojů, kde je vyžadována vysoká mechanická a tepelná odolnost.

Dobrá adheze na polyethylen a polypropylen.

Jet-Melt 3762

Lepidlo s nízkou viskozitou a rychlým schnutím, vyvinuté speciálně pro uzavírání kartonáže.

Jet-Melt 3764

Transparentní, vysoce účinné lepidlo pro mnoho druhů umělých hmot, sklo, dřevo. Vhodné především pro polymethylmetakrylát (PMMA), polyolefiny, polystyren, polyester a polykarbonát.

Dobrá rázová pevnost

Jet-Melt 3789

Vysoce účinné, pružné lepidlo s dobrou tepelnou odolností a rázovou pevností. Dobrá přilnavost k umělým hmotám. Vhodné především pro pružné měkčené umělé hmoty.

Dobrá odolnost proti změkčovadlům.

Jet-Melt 3792

Transparentní velmi účinné lepidlo s dlouhou otevřenou dobou. Výborná adheze na sklo, dřevo a různé umělé hmoty. Dobrá rázová pevnost.

Jet-Melt 3798 Gummy Glue - Low Melt

Tavné lepidlo pro lepení lehkých materiálů, které lze bez poškození materiálu odstranit. Je možno bez problémů sejmout list či kartu přilepenou k jinému materiálu.

2.3.12 Vteřinová lepidla

Povrchový aktivátor

Připravuje povrchy pro nanesení kyanoakrylátových (sekundových) lepidel - neutralizuje příliš kyselé povrchy. Urychluje vytvrzování, zvyšuje produktivitu práce.

Scotch-Weld B210

Pro lepení gumy.

Lepidlo střední viskozity s výhodnými podmínkami tekutosti. Tímto lepidlem je možno překlenout drobné nerovnosti u umělých hmot a elastomerů. Krátká doba tvrdnutí na mnoha umělých hmotách a pórovitých materiálech z lehčené pryže.

Scotch-Weld E1100

Pro lepení dřeva

Vhodné pro pórovité materiály jako je dřevo, korek a kůže. Dobrá adheze i na méně vhodných místech pro lepení. Velmi rychle schne, je vysoce viskózní a nenatahuje se.

2.3.13 Anaerobní lepidla

Většina anaerobních lepidel je spíše známa jako tmely. Tato jednosložková lepidla, založená na akrylových polyesterových pryskyřicích, tuhnou v nepřítomnosti vzduchu a v přítomnosti kovu. Je dostačující, aby pouze jedna ze spojovaných částí byl kov. Jsou zvláště vhodné pro spojování přiléhajících částí (s malou mezerou) a jsou zejména používána pro:

- spojení souosých součástí (pouzder, ložisek)
- závitová jištění (šroubů, matic)
- těsnění potrubí

Normálně se spoje mohou používat po 10 až 30 minutách, plné pevnosti se dosáhne za 6 až 24 hodin. Vytvrzovací proces může být značně urychlen použitím dodatečného katalyzátoru (povrchového iniciátoru) nebo teplem. Anaerobní lepidla jsou dostupná v širokém rozsahu viskozit (je to funkcí použití a mezery, která musí být vyplněna) a pevnosti (trvalé nebo demontovatelné spoje). Rozvrh pracovních teplot: -50 až 150°C

2.4 Základní vlastnosti a druhy epoxidových lepidel

Epoxidová lepidla jsou vhodná pro lepení kovů, skla, porcelánu, pryže atd.

- výborná adheze nejen ke kovům, ale i k porcelánu, sklu, keramice, kameni, dřevu, pryži, bakelitu.
- dobrá koheze lepidla po vytvrzení, což je znakem dobré pevnosti v loupání
- reakce vytvrzování probíhá za nepatrných objemových změn, přičemž nevznikají žádné těkavé zplodiny. U epoxidových pryskyřic není nutný při vytvrzování vysoký tlak, jak je tomu např. u lepidel fenolytických. Stačí jen tlak potřebný k fixování lepených dílců, který činí $0,2 \text{ kg/cm}^2$.
- mají dobré elektroizolační vlastnosti, elektrickou pevnost asi 25 kV/mm

2.4.1 Epoxy 1200

Tento typ lepidla se nejvíce rozšířil, zejména proto, že jeho vytvrzovací teplota je jen 20°C . Dodává se ve formě silně viskózní žlutohnědé kapaliny. Tato pryskyřice se nejčastěji vytvrzuje tvrdidlem P.

Tvrdidlo P je málo viskózní kapalina. Přidává se k základní pryskyřici Epoxy 1200 v poměru 7,5 dílu tvrdidla na 100 váhových dílů pryskyřice. Směs se důkladně promíchá. Předepsaný poměr přidaného tužidla k základní pryskyřici se musí dodržet, přípustná je odchylka 6,5 až 9 gramů. Po přidání tvrdidla k pryskyřici se lepidlo musí nejdéle za 2 hodiny zpracovat, jinak vzroste viskozita tak značně, že se lepidlo již obtížně nanáší. Při teplotě nad 20°C je reakční schopnost ještě větší, a proto se nedoporučuje překročit 20°C . Větší dávky lepidla než je 250g se po přidání tvrdidla mají chladit (např. vložení nádoby s lepidlem do chladné vody). Vzniklým reakčním teplem se totiž při větší hmotě lepidla – tedy při horším odvodu tepla – směs rovněž zahřeje. Takto připravené lepidlo nanese na očištěné lepené plochy a fixujeme tlakem asi $0,2 \text{ kg/cm}^2$. Optimální tloušťka filmu je 0,1mm.

2.4.2 Epoxy 1001

Tento typ lepidla je tvrditelný za teploty nad 100°C. Dodává se ve formě prášku, kusů, tyčinek nebo acetonového roztoku.

Pryskyřice se zpracovává tímto způsobem :

Na čisté plochy předem ohřáté na 100 – 120°C se nanese pryskyřice tak, aby tvořila souvislou vrstvičku. Při této teplotě je řídce tekutá a dobře proniká do spár netěsností a trhlinek. Ke spojování lze také použít roztoku v acetonu. Nanáší se štětcem nebo štětkou na spojované plochy, které se pak nechají 2 až 3 hodiny sednout na vzduchu, načež se suší v sušárně asi 30 minut při 100°C, aby z nanesené vrstvy pryskyřice vyprchalo všechno rozpouštědlo. Plochy opatřené touto vrstvou pryskyřice epoxy 1001 přiložíme k sobě tak, aby po celé délce dobře přilehly a fixujeme je tlakem asi 0,2 kg/cm². Optimální tloušťka filmu je 0,1mm.

Tvrzení :

Optimální doba a teplota tvrzení je 1 hodina při 180°C. Tyto podmínky zaručí nejen dobrou pevnost, ale i chemickou odolnost spoje. V tabulce 1 jsou uvedeny vytvrzovací doby při různých teplotách.

Tab.III Vytvrzovací doby při různých teplotách lepidla Epoxy 1001

Vytvrzovací teplota [°C]	Tvrdicí doba
110	48 hodin
120	24 hodin
130	15 hodin
140	7 hodin
160	2 ½ hodiny

2.4.3 Epoxy 2400

Pryskyřice epoxy 2400 je rovněž za tepla tvrditelná , avšak lze ji zpracovávat beztlakově při nižší teplotě (80 – 100°C). Při pokojové teplotě 20°C je sirupovitě viskózní,

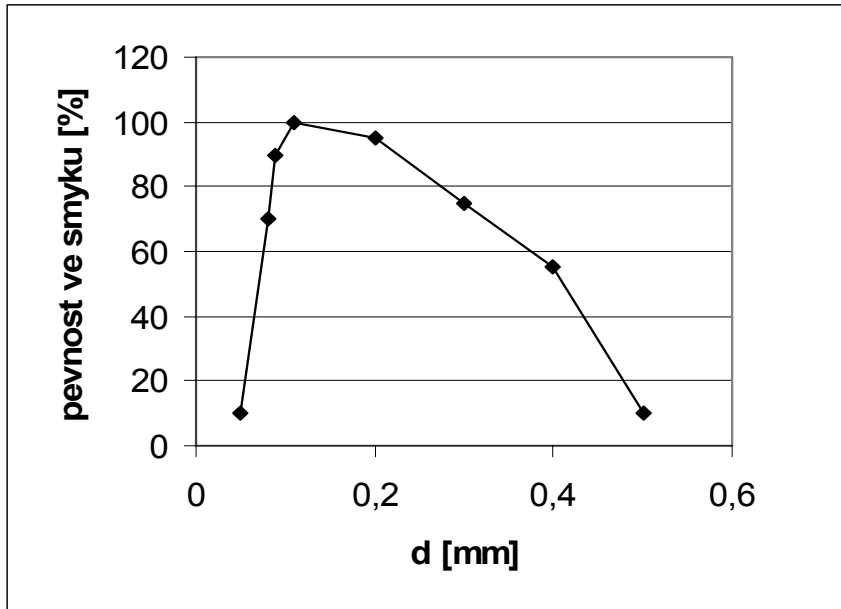
avšak již při 60 °C se stává řídce tekutou. Se vzestupem teploty viskozita dále klesá. Je nutno tvrdit při teplotě 80 – 180°C po dobu několika hodin.

U epoxidových lepidel je optimální tloušťka filmu 0,05 – 0,15mm. Pod tímto rozmezí a nad ním pevnost spojů ve smyku klesá. Velmi ostrý pokles nastane při tloušťce pod 0,05mm – pevnost rychle klesne na polovinu.

2.5 Lepení z hlediska konstrukce a pevnosti spoje

2.5.1 Vliv tloušťky adhezivní vrstvy

Optimální tloušťka adhezivní vrstvy je obvykle 0,05 až 0,15mm. Příliš tenká vrstva je citlivá na dynamické namáhání a podléhá snadno únavě, příliš tlustá vrstva je naopak málo pevná. V diagramu na obr. 4 je znázorněn obecný průběh závislosti pevnosti ve smyku na tloušťce vrstvy adheziva d.



Obr. 4. Obecný průběh závislosti pevnosti ve smyku na tloušťce adhezivní vrstvy

2.5.2 Stanovení optimální délky přelepu

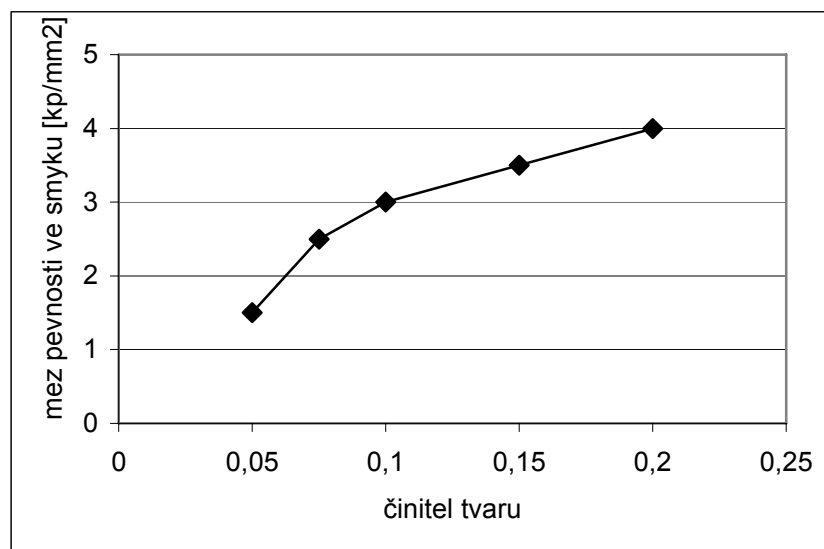
U lepeného spoje se namáhání rozkládá stejnoměrně na celou plochu spoje v porovnání se spojem nýtovaným. Za tohoto předpokladu by bylo možné nosnost

lepeného spoje neustále zvětšovat zvětšováním plochy adhezního spoje délkou přelepu. Pevnost spoje se zvětšuje se zvětšující se délkou přelepu, ale jen do určité meze. Po překročení této meze nastává zmenšení pevnosti spoje. Smyková pevnost (kp/mm²) se zvětšuje se zvětšující se tloušťkou plechu a zmenšuje se s přibývajícím délkou přelepu. De Bruine zavádí při teoretickém hodnocení vlivu délky přelepu na pevnost spoje tzv. činitel tvaru.

$$\sqrt{\frac{\delta}{l}} \quad [3]$$

l	délka přelepu	[mm]
δ	tloušťka plechu	[mm]

Různě jednoduché přelepy mají za stejných podmínek stejnou pevnost jen tehdy, když mají stejný činitel tvaru. Závislost meze pevnosti ve smyku na činiteli tvaru je uvedena na obrázku č.5.



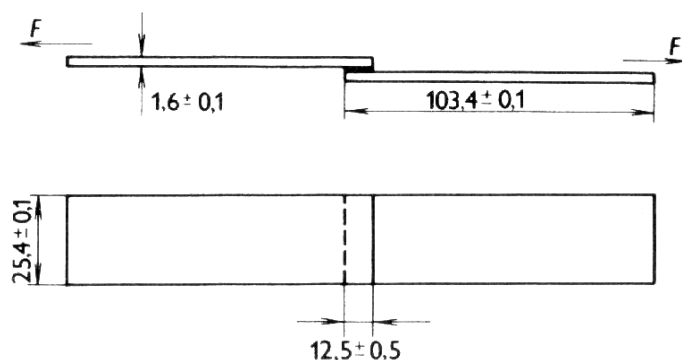
Obr.5. Závislost meze pevnosti ve smyku na činiteli tvaru

Frey svými pracemi dokázal, že při použitím jednoduchém přelepu je pro každou tloušťku plechu zcela určitá optimální délka přelepu, kterou se dosáhne optimální pevnosti spoje.

2.6 Zkoušení lepených spojů

2.6.1 Pevnost ve smyku podle ČSN 66 8510

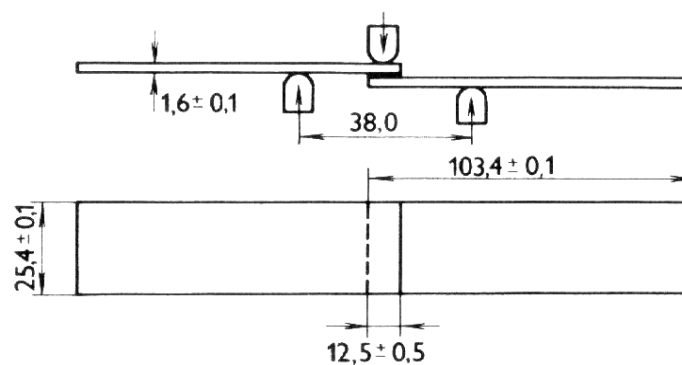
Podstatou zkoušky je namáhání zkušebního spoje ve smyku statickým tahem ve směru podélné osy až do porušení vzorku. Tvar a rozměry zkušebních vzorků jsou na obrázku č.6. Pevnost ve smyku se udává v MPa.



Obr.6. Pevnost ve smyku podle ČSN 66 8510

2.6.2 Pevnost lámavosti podle ČSN 66 8511

Zkouška lámavosti je namáhání zkušebního spoje na zlomení statickým ohybem podle obrázku č.7. Lámavost (zatížení při zlomení) se udává v N/vzorek. Zkouší se na vzorcích podle obrázku č.6.



Obr.7. Pevnost lámavosti podle ČSN 66 8511

2.6.3 Pevnost v odlupování podle Wintera ČSN 66 8516

Podstatou zkoušky je namáhání zkušebního spoje odlupováním statickým tahem ve směru kolmém na lepenou plochu. Pevnosti v odlupování se rozumí síla v $\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$ šířky vzorku, potřebná k oddělení dvou slepených ploch podle obrázku č.8. Pevnost v odlupování podle Wintera při určité teplotě je dána dvěma hodnotami.

$$\sigma_{WA}^{20} = \frac{F_A}{b} \quad [4]$$

$$\sigma_{WS}^{20} = \frac{F_S}{b} \quad [5]$$

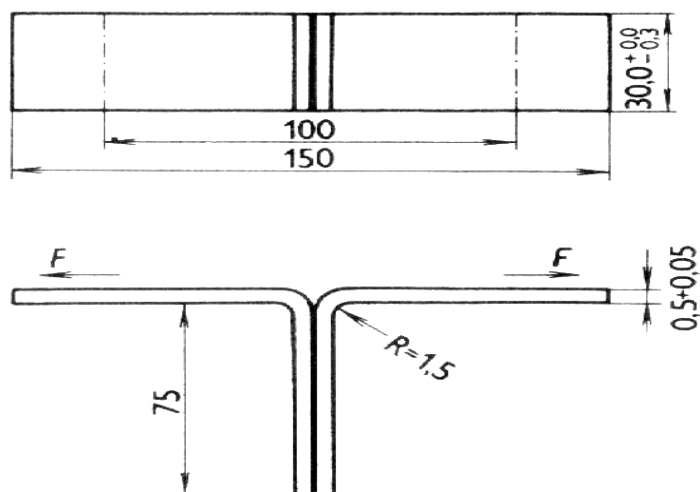
kde σ_{WA}^{20} počáteční (absolutní) pevnost v odlupování v $\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$ šířky vzorku

F_A maximální síla v N

b šířka lepeného spoje

σ_{WS}^{20} střední pevnost v odlupování v $\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$ šířky vzorku

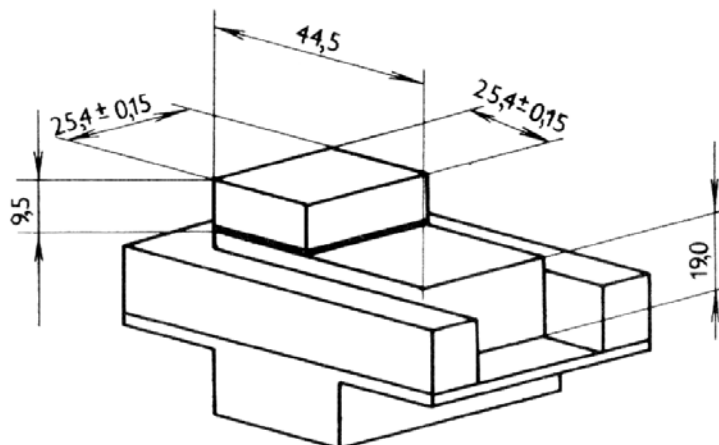
F_S průměrná síla v N (dána průměrnou výškou diagramu)



Obr.8. Pevnost v odlupování podle Wintera ČSN 66 8516

2.6.4 Rázová zkouška podle ČSN 66 8512

Podstatou zkoušky je namáhání zkušebního spoje ve smyku rázovým tlakem ve směru podélné osy až do porušení vzorku. Rázová pevnost se udává v $\text{J}\cdot\text{cm}^{-1}$.



Obr.9. Rázová zkouška podle ČSN 66 8512

2.6.5 Pevnost ve smyku při dlouhodobém staticky působícím zatížení

Podstatou creepové zkoušky je měření délky vzájemného posunutí obou polovin lepeného vzorku za současného zjištění meze tečení. Používá se vzorků podle obrázku č.6. Je to maximální napětí ve smyku, při kterém se žádný vzorek ze série pěti kusů neporuší během definované doby, například 200, 1000 nebo 10 000 hodin. Zkouší se na vzorcích podle obrázku č.6.

II. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Cílem experimentu je porovnat pevnost spojů běžně dostupných lepidel a speciálních typů lepidel určených pro průmyslovou aplikaci.

Pro experimentální ověřování vlastností lepených spojů bylo vybráno osm druhů polymerních materiálů (PE, PC – plněny, PC – neplněný

PA6 – plněný, PA6 – neplněný, PP, PS, PET) a dva druhy materiálů kovových (ocel a pozinkovaný plech). Materiály představují širokou oblast používaných materiálů pro reálné výrobky běžného užití a průmyslovou aplikaci.

Pro lepení materiálů bylo použito pět typů lepidel 1K a 2K (jednokomponentních a dvoukomponentních). Jednotlivé typy lepidel (Cyanofix, Soudal 48, UHU Power, UHU Metall, SS 1515, SS 315 Black, Lepidlo PP, Lord 310A,B) a jejich použití pro jednotlivé typy materiálů je uvedeno v TAB.III.

TAB III. Přehled použitých lepidel a materiálů

Druh lepidla	Označení lepidla	Lepený materiál
Akrylátové lepidlo	SS 1515	Pozinkovaný plech, ocelový plech, PET, PA6 – nepl, PS, PP, PC – pln, PC – nepl, PE, PA66 – pln, PA66 nepln.
	SS 315 Black	Pozinkovaný plech, ocelový plech
Cyanoakrylátové lepidlo	Cyanofix	Pozinkovaný plech, ocelový plech, PS, PC – nepln, PA6 – pln, PC – pln, PA6 - nepln
Epoxidové lepidlo	Lord 310 A,B	Pozinkovaný plech, ocelový plech
Neoplenové lepidlo	Soudal 48	Pozinkovaný plech, ocelový plech
Kontaktní lepidlo	UHU Power	Pozinkovaný plech, ocelový plech, PA6 – pln, PET, PA6 - neplm
	UHU Metall	Pozinkovaný plech, ocelový plech
Speciální lepidlo na PP	Lep. PP	PP

3. MATERIÁLY A JEJICH CHARAKTERISTIKA

Při experimentech byly použity tyto materiály : PE, PC – plněny, PC – neplněný

PA6 – plněný, PA6 – neplněný, PP, PS, PET

3.1. POLYKARBONÁT

Vykazují dobré mechanické vlastnosti.

PŘÍPRAVA : polykondenzací

VLASTNOSTI : $\rho = 1,2$ až $1,5 \text{ g/cm}^3$, $E = 2200 - 2450 \text{ MPa}$, $\sigma = 65 - 70 \text{ MPa}$

Transparentní (propustnost světla 85%), dobrá rozměrová stabilita až do 140°C , dobré elektroizolační vlastnosti, odolnost vůči UV

ZPRACOVÁNÍ : vstřikování při 280 až 310°C (forma $80 - 120^\circ\text{C}$)

vytlačování při 220°C až 320°C (nutnost sušení!)

třískové opracování, svařování horkým vzduchem

APLIKACE : konstrukční díly, fólie, trubky, tyče, desky

Směsi s ABS – součásti automobilů, elektrotechnika, CD nosiče

VÝROBCI : LEXAN – GE, USA, MAKROLOM – Bayer, SRN

3.2. POLYAMID 6

VLASTNOSTI : $\rho = 1,13 \text{ g/cm}^3$, $E = 2800 \text{ MPa}$, $\sigma = 70 \text{ MPa}$, $T_m = 215 - 220^\circ\text{C}$

Použitelný od -30 do $+100^\circ\text{C}$, houževnatý, odolný proti oděru

Je silně navlhavý

APLIKACE : textilní a technická vlákna, konstrukční materiál na ložiska, ozubená

kola a ovládací elementy s 30% skl.vlákna, kluzná pouzdra, ozubená

kola, kladky atd

VÝROBCI : CHEMLON Humenné, SILON Planá n. Lužnicí

3.3. POLYPROPYLEN

MONOMER : propylén

Vzniká při zpracování ropy

POLYMERACE : iontová – srážecí, bloková

MOLÁRNÍ HMOTNOST MW : 100. – 600.tis

VLASTNOSTI : $T_m : 170^\circ\text{C}$, krystalinika 50 – 75%, $\rho = 0,908 - 0,912 \text{ g/cm}^3$

$\sigma = 34 - 38 \text{ MPa}$, výborné elektroizolační vlastnosti

ZPRACOVÁNÍ : vstřikováním , vytlačováním, lisováním při teplotách do 280°C .

POUŽITÍ : trubky, fólie, desky, předměty domácí spotřeby s vyšší tuhostí a tep.odolností,

obaly, automobilový průmysl – výplně dveří, palubní desky, ventilátory,
nárazeníky, vlákna, kompozity

VÝROBCI : CHEMOPETROL Litvínov, a.s. MOSTEN, SLOVNAFT BRATISLAVA,
a.s. - TATREN

3.4. POLYSTYREN

Ataktický, amorfni, málo ohebné řetěze = organické sklo

MONOMER – styren, příprava z benzenu a acetylénu

POLYMERACE : suspenzní radikálová

VLASTNOSTI . $M_w = 100. - 400. \text{ tis.}$, ataktický, nerozvětvený, $T_g = 90 - 100^\circ\text{C}$

$E = 3200 \text{ MPa}$, $\sigma = 31 \text{ MPa}$, použitelný do 75°C

má sklon ke korozi za napětí, je tvrdý, ale značně křehký

ZPRACOVÁNÍ : vstřikováním při $180 - 240^\circ\text{C}$

POUŽITÍ : spotř. Předměty, obaly, hračky, potravinové misky, kelímky

VÝROBCE : Kralupy nad Vltavou - KRASTEN

3.5. POLYETYLENTEREFTYLAT

Nejvýznamnější polyester, lineární, krystalický až ze 40%

VÝROBA : dvoustupňová polykondenzace

NONOMERY : kyselina tereftalová

VLASTNOSTI : $\rho = 1,33 - 1,38 \text{ g/cm}^3$, $E = 2300 \text{ MPa}$, $\sigma = 60 \text{ MPa}$, $T_m = 264^\circ\text{C}$

$T_g = 72 - 81^\circ\text{C}$, použití od -60 do 130°C (do 100°C trvale)

Špatné tokové vlastnosti taveniny – obtížná zpracovatelnost

APLIKACE : *vlákna* – vyrábí se z taveniny (jako PA) a následně se dluží nad T_g ,

Vlákno je méně mačkové než vlna, je málo navlhavé a schne rychleji než

Vlákno polyamidové, má dobrou stálost na světle. Těžko se barví.

Folie – výroba vytlačováním a následné dlužení, má velkou

Mechanickou pevnost (nejpevnější folie z termoplastů). Používají se

Jako čiré, potiskované.

Láhve – výroba vstřikovacím vyfukováním

Konstrukční prvky – vysoká pevnost, tvrdost a tvarová stálost za tepla

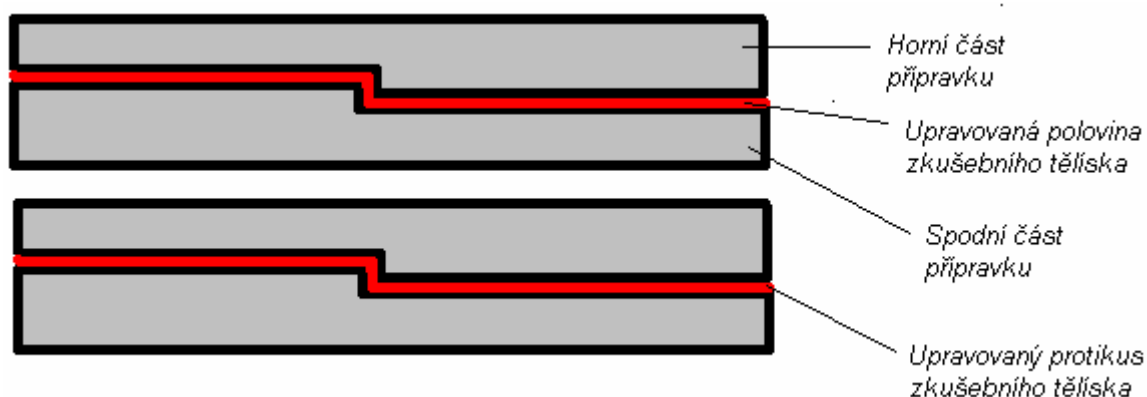
(zvláště vyztužené skelným vláknem).

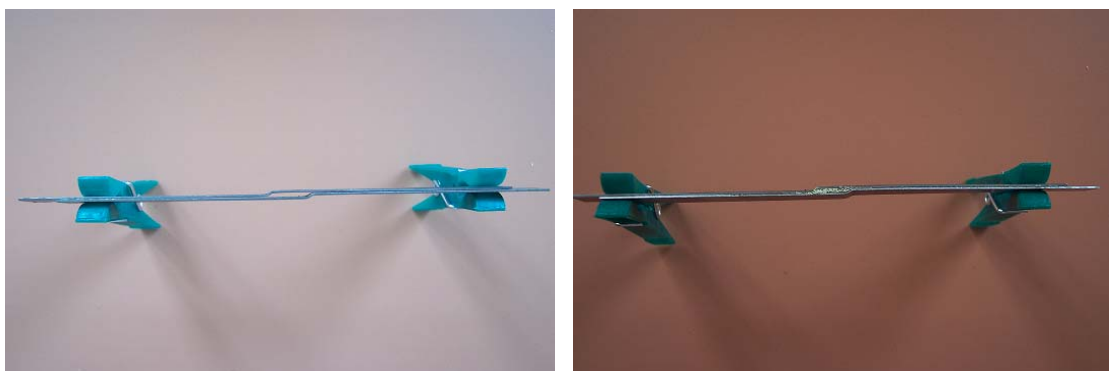
4. PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH TĚLES

Příprava zkušebních tělísek byla realizováno ve dvou oblastech a to jak pro kovové materiály, tak pro materiály polymerní. Přípravě zkušebních tělísek předcházela etapa, ve které byl realizován návrh a výroba speciálních přípravků. Přípravky umožnily upravit zkušební tělíska tak, aby splňovaly podmínky měření a zabezpečily předepsanou aplikaci jednotlivých typů lepidel. U 1K lepidel byla aplikace prováděna jednoduchým nanášením lepidla do požadovaného místa. U 2K lepidel byla nutná aplikace lepidel speciálními pistolemi se statickým míchacím zařízením.

4.1 Příprava kovových zkušebních tělísek

Zkušební tělíska z kovových materiálů (ocel, pozinkovaný plech) byla vyrobena ve formě plechu a následně nastříhána na požadovaný rozměr (10x 150 mm). Takto vyrobené tělíska byly dále upraveny vždy ve dvojici, pomocí speciálního přípravku do finální podoby jak je znázorněno na obr. Po aplikaci požadovaného lepidla byly oba kusy zkušebních tělísek přitlačeny k sobě a zafixovány. Přípravek zaručuje minimální vrstvu nanášeného lepidla, která je dána přímo výrobcem, tak i sousost jednotlivých částí vzorku. Tímto způsobem přípravy byly splněny požadavky výrobce i podmínky pro tahovou zkoušku. (obr. 10, 11)



Obr. 10. Příprava zkušebního tělíska*Obr. 11. Upravené zkušební tělísko před aplikací lepidla a po aplikaci lepidla*

4.2 Příprava zkušebních tělísek z polymerů

Zkušební tělíska z polymerních materiálů byla vyrobena na vstřikovacím stroji ARBURG ALLROUNDER 420 C Advance obr.12. Vstřikovací stroj ARBURG 420 C Allround Advance je vybaven 32 bitovým multiprocesovým řídicím systémem SELOGICA, který umožňuje strojům Allrounder jednoduše a bezpečně ovládat komplexní technologii vstřikování. Tento vstřikovací stroj je předurčen pro univerzální řešení všech úkolů v oblasti vstřikování, ale lze ho použít také pro všechny speciální oblasti zpracování plastů, jako např. v oblasti vícekomponentního vstřikování nebo v oblasti zpracování LSR nebo PET – materiálů. Po vyrobení zkušebních tělísek byla tělíska upravena na finální podobu, jak je patrné z obr. U některých typů polymerních materiálů bylo provedeno tzv. oplazmování povrchu těles. Podobně jako u kovů bylo na tělíska nanášeno požadované lepidlo a tělíska byla vzájemně zafixována. Z důvodu dodržení požadované minimální vrstvy lepidla a sousostí byla jednotlivých dílů zkušebního tělíska, bylo použito rovněž speciálního přípravku. Tímto způsobem přípravy byly splněny požadavky výrobce i podmínky pro tahovou zkoušku.

Připravené zkušební tělíska se nechali 48 hodin stabilizovat po případě vytvrdit. Po uplynutí doby bylo přistoupeno k vlastní zkoušce tahem.



Obr. 12. Vstřikovací stroj ARBURG ALLROUNDER 420C

Příprava zkušebních tělísek – vstřikovací podmínky

Pro výrobu zkušebních vzorků byl použit vstřikovací stroj Arburg 420 C . Byla použita jednonásobná forma. Dutina formy má tvar zkušební lopatky (Obr. 13) a obdélníkové tyčinky s rozměry $b=10\text{mm}$, $h=4\text{mm}$ a $l=80\text{mm}$ (Obr. 13).



Obr.13. Zkušební vzorky „lopátky“ a „tyčinky“ – zleva:

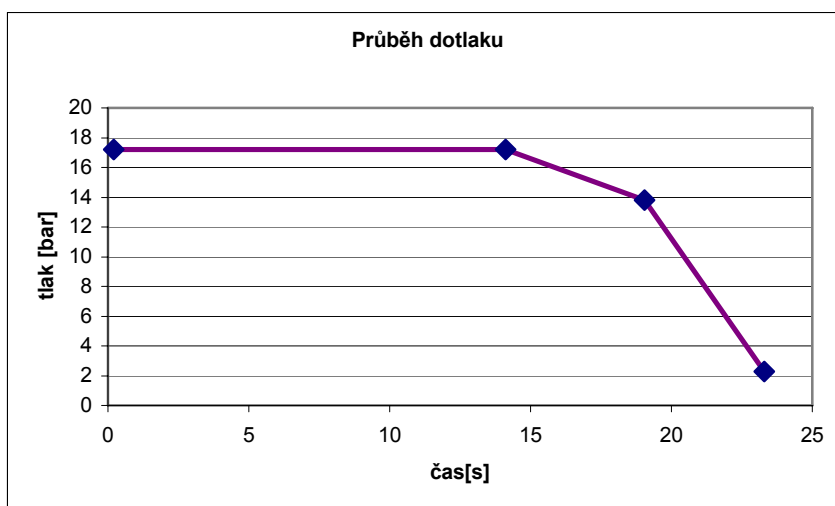
PS, PP, PC, PE, PA-pln., PA-nepl.

Parametry při vstřikování

PP – poloautomatický režim

Výsledné nastavení stroje – hodnoty vypsané ze vstřikovacího stroje:

Vstřikovací rychlost: 46,1 mm/s
 Dráha dávkování: 41,2 mm
 Bod přepnutí: 24,3 mm
 Tlak hydrauliky: 90,5 bar
 Celkový čas dotlaku: 23,3 s



Obr. 14 Průběh dotlaku PP

Nastavení teplot plastikační jednotky:

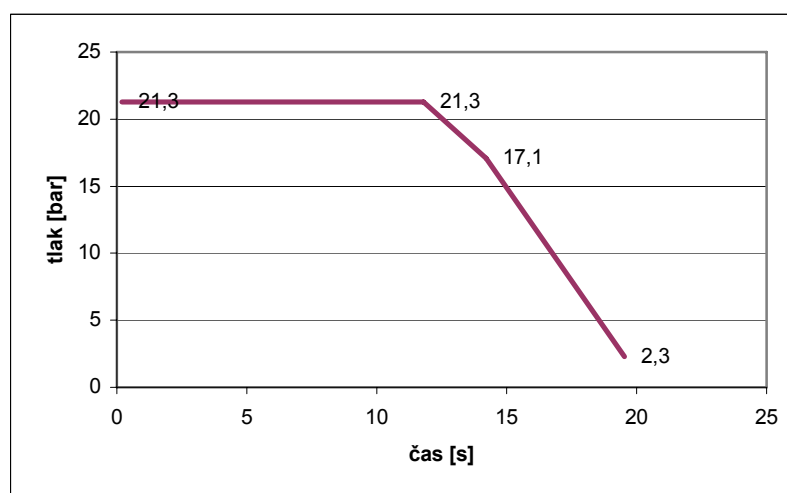
Teplota pod násypkou: $T_1 = 50^\circ\text{C}$
 Teplotní pásmo 2: $T_2 = 200^\circ\text{C}$
 Teplotní pásmo 3: $T_3 = 205^\circ\text{C}$
 Teplotní pásmo 4: $T_4 = 210^\circ\text{C}$
 Teplotní pásmo 5: $T_5 = 220^\circ\text{C}$
 Teplota na trysce: $T_6 = 230^\circ\text{C}$
 Doba chlazení: 2,43 s

Tab.IV. Analýza profilu PP

	Počáteční profil	Finální profil
doba plnění [s]	0,75	0,35
doba dotlaku [s]	7,50	23,18
doba chlazení [s]	17,50	2,43
celkový čas [s]	25,75	25,97

PA 6 Ravamid B-NC*Výsledné nastavení stroje – hodnoty vypsané ze vstříkovacího stroje:*

Vstříkovací rychlost: 90, mm/s
Dráha dávkování: 48,1 mm
Bod přepnutí: 27,8 mm
Tlak hydrauliky: 90,5 bar
Celkový čas dotlaku: 19,52 s

*Obr.15 Průběh dotlaku PA6-N**Nastavení teplot plastikační jednotky:*

Teplota pod násypkou: $T_1 = 50^\circ\text{C}$
Teplotní pásmo 2: $T_2 = 220^\circ\text{C}$
Teplotní pásmo 3: $T_3 = 225^\circ\text{C}$
Teplotní pásmo 4: $T_4 = 230^\circ\text{C}$
Teplotní pásmo 5: $T_5 = 240^\circ\text{C}$
Teplota na trysce: $T_6 = 280^\circ\text{C}$
Doba chlazení: 22,01 s

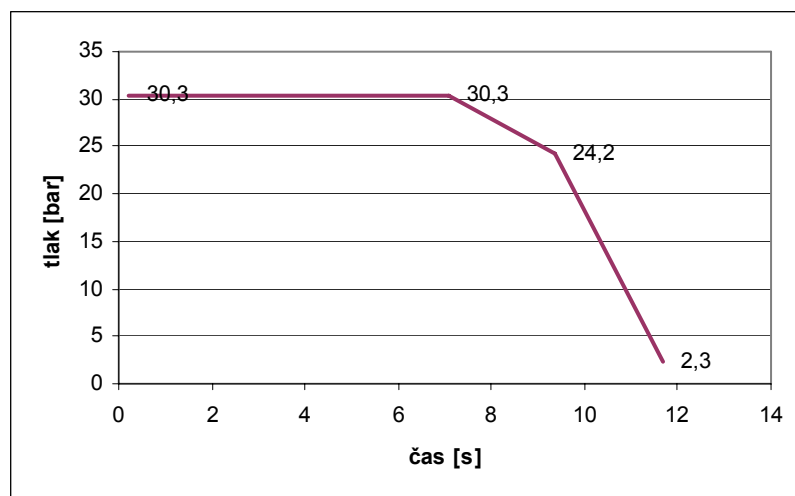
Tab.V. Analýza profilu PA6-N

	Počáteční profil	Finální profil
doba plnění [s]	0,70	0,22
doba dotlaku [s]	12,86	19,33
doba chlazení [s]	30,00	22,01
celkový čas [s]	43,56	41,56

PA 6 Ravamid B GF30 NC

Výsledné nastavení stroje – hodnoty vypsané ze vstřikovacího stroje:

Vstřikovací rychlost: 45, mm/s
 Dráha dávkování: 38,5 mm
 Bod přepnutí: 25,1 mm
 Tlak hydrauliky: 90,5 bar
 Celkový čas dotlaku: 11,66 s



Obr. 16. Průběh dotlaku PA6-P

Nastavení teplot plastikační jednotky:

Teplota pod násypkou: $T_1 = 50^\circ\text{C}$
 Teplotní pásmo 2: $T_2 = 210^\circ\text{C}$
 Teplotní pásmo 3: $T_3 = 240^\circ\text{C}$
 Teplotní pásmo 4: $T_4 = 255^\circ\text{C}$
 Teplotní pásmo 5: $T_5 = 270^\circ\text{C}$
 Teplota na trysce: $T_6 = 280^\circ\text{C}$
 Doba chlazení: 17,23 s

Tab. VI. Analýza profilu PA6-P

	Počáteční profil	Finální profil
doba plnění [s]	0,47	0,19
doba dotlaku [s]	10,71	11,46
doba chlazení [s]	25,00	17,24
celkový čas [s]	36,18	28,89

PE

Výsledné nastavení stroje – hodnoty vypsané ze vstřikovacího stroje:

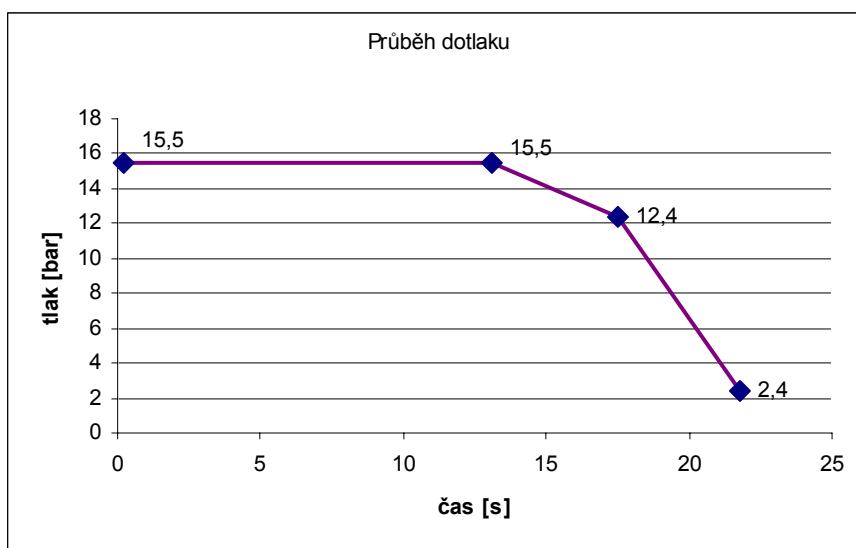
Vstřikovací rychlost: 119,5 mm/s

Dráha dávkování: 43,7 mm

Bod přepnutí: 27,9 mm

Tlak hydrauliky: 90,5 bar

Celkový čas dotlaku: 21,75 s



Obr.17. Průběh dotlaku PE

Nastavení teplot plastikační jednotky:

Teplota pod násypkou: $T_1 = 50^\circ\text{C}$

Teplotní pásmo 2: $T_2 = 170^\circ\text{C}$

Teplotní pásmo 3: $T_3 = 190^\circ\text{C}$

Teplotní pásmo 4: $T_4 = 225^\circ\text{C}$

Teplotní pásmo 5: $T_5 = 240^\circ\text{C}$

Teplota na trysce: $T_6 = 250^\circ\text{C}$

Doba chlazení: 8,44 s

Tab.VII. Analýza profilu PE

	Počáteční profil	Finální profil
doba plnění [s]	0,50	0,12
doba dotlaku [s]	8,57	21,56
doba chlazení [s]	20,00	8,45
celkový čas [s]	29,07	30,12

PC**Výsledné nastavení stroje – hodnoty vypsané ze vstřikovacího stroje:**

Vstřikovací rychlost: 47,6 mm/s

Dráha dávkování: 41,2 mm

Bod přepnutí: 12,8 mm

Tlak hydrauliky: 90 bar

Celkový čas dotlaku: 9,2 s

Nastavení teplot plastikační jednotky:Teplota pod násypkou: $T_1 = 40$ °CTeplotní pásmo 2: $T_2 = 220$ °CTeplotní pásmo 3: $T_3 = 240$ °CTeplotní pásmo 4: $T_4 = 250$ °CTeplotní pásmo 5: $T_5 = 260$ °CTeplota na trysce: $T_6 = 270$ °C

Doba chlazení: 19,2 s

Tab.VIII. Analýza profilu PC

	Počáteční profil	Finální profil
doba plnění [s]	1,20	0,54
doba dotlaku [s]	10,71	9,00
doba chlazení [s]	25,00	19,03
celkový čas [s]	36,91	28,57

PS**Výsledné nastavení stroje – hodnoty vypsané ze vstřikovacího stroje:**

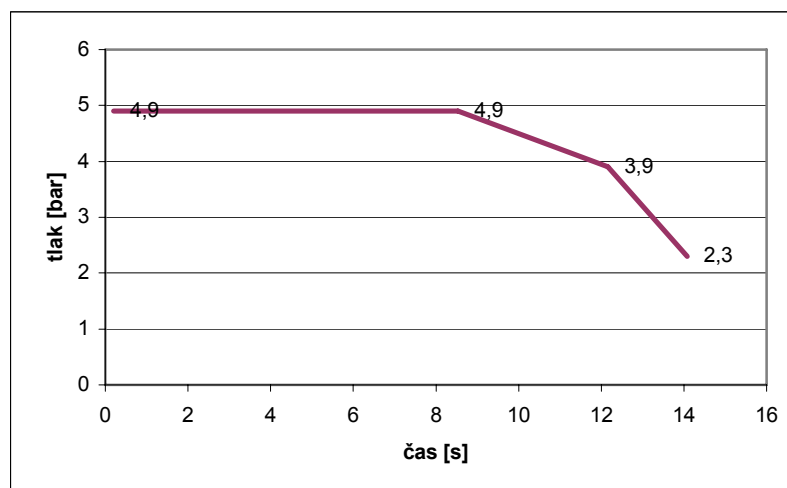
Vstřikovací rychlost: 112,2 mm/s

Dráha dávkování: 41,2 mm

Bod přepnutí: 25,8 mm

Tlak hydrauliky: 90,5 bar

Celkový čas dotlaku: 14,08 s



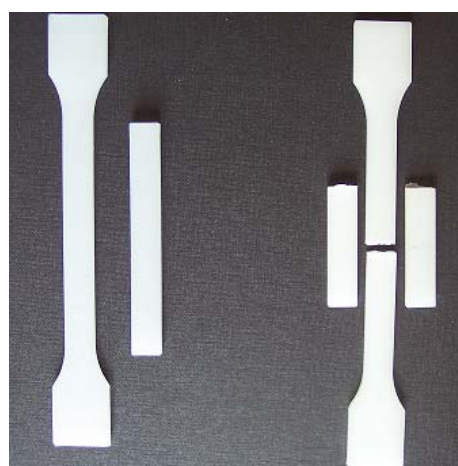
Obr.18. Průběh dotlaku PS

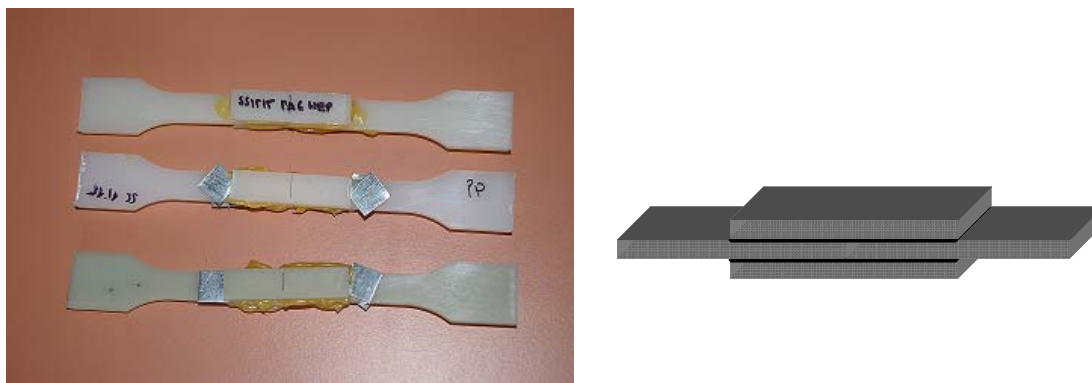
Nastavení teplot plastikační jednotky:

Teplota pod násypkou:	$T_1 = 50^\circ\text{C}$
Teplotní pásmo 2:	$T_2 = 180^\circ\text{C}$
Teplotní pásmo 3:	$T_3 = 210^\circ\text{C}$
Teplotní pásmo 4:	$T_4 = 230^\circ\text{C}$
Teplotní pásmo 5:	$T_5 = 245^\circ\text{C}$
Teplota na trysce:	$T_6 = 255^\circ\text{C}$
Doba chlazení:	28,411 s

Tab.IX. Analýza profilu PS

	Počáteční profil	Finální profil
doba plnění [s]	0,30	0,13
doba dotlaku [s]	6,43	13,89
doba chlazení [s]	15,00	28,42
celkový čas [s]	21,73	42,43





Obr. 19. Příprava zkušebních tělísek z polymerního materiálu

4.3 Aplikace lepidel

Aplikace lepidel byla prováděna dle návodu příslušných výrobců lepidel v laboratořích ústavu Výrobního inženýrství. Podle druhu složek u jednotlivých adhezí byl volen postup a použito zařízení pro jejich aplikaci.

U 1K lepidel (Soudal 48A, UHU Power, UHU Kov, Cyanofix) byla aplikace prováděna běžně dostupným zařízením (obr. 20). Nejprve byl z povrchu zkušebních tělísek odstraněn prach, mastnoty a jiné nečistoty. U kartuše lepidla byla následně seříznuta její špička a nasazena speciální tryska pro aplikaci lepidla. Na vytlačení lepidla z plastové kartuše nasazenou špičkou byl použit pistolový aplikátor obr. Lepidlo byla nanášeno v pružících nebo terčích a byl kladen důraz na to, aby bylo lepidlo nanášeno i do rohů. Tím bylo dosaženo maximálního vyplnění lepeného místa. Po spojení lepených částí byly spoje fixovány kolíky a ponechány po dobu 48 hodin k vytvrzení. Vrstva lepidla byla nanášena dle návodu výrobce. Pro každý druh testovaného lepidla bylo připraveno pět kusů zkušebních tělísek od všech typů testovaných materiálů.



Obr.20. Pistolový aplikátor pro nanášení 1K lepidel

U 2K (SS 1515, SS 315 Black, Lord) bylo pro aplikaci lepidel z kartuší použito speciálního dávkového zařízení obr. Pro nanášení lepidel bylo použito statických mixerů běžného typu. Na vytlačování lepidel bylo použito speciálního pistolového aplikátoru (obr. 21).

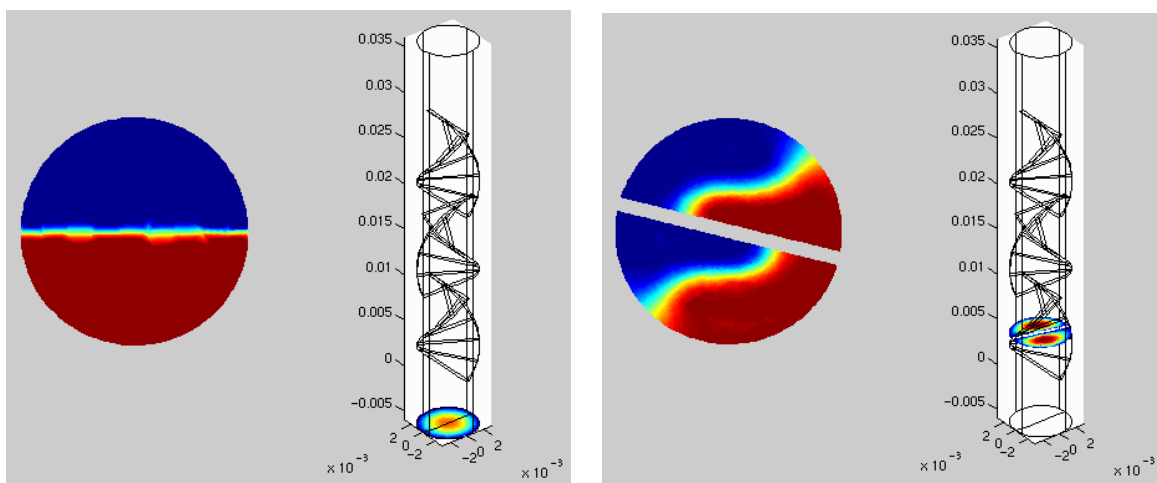


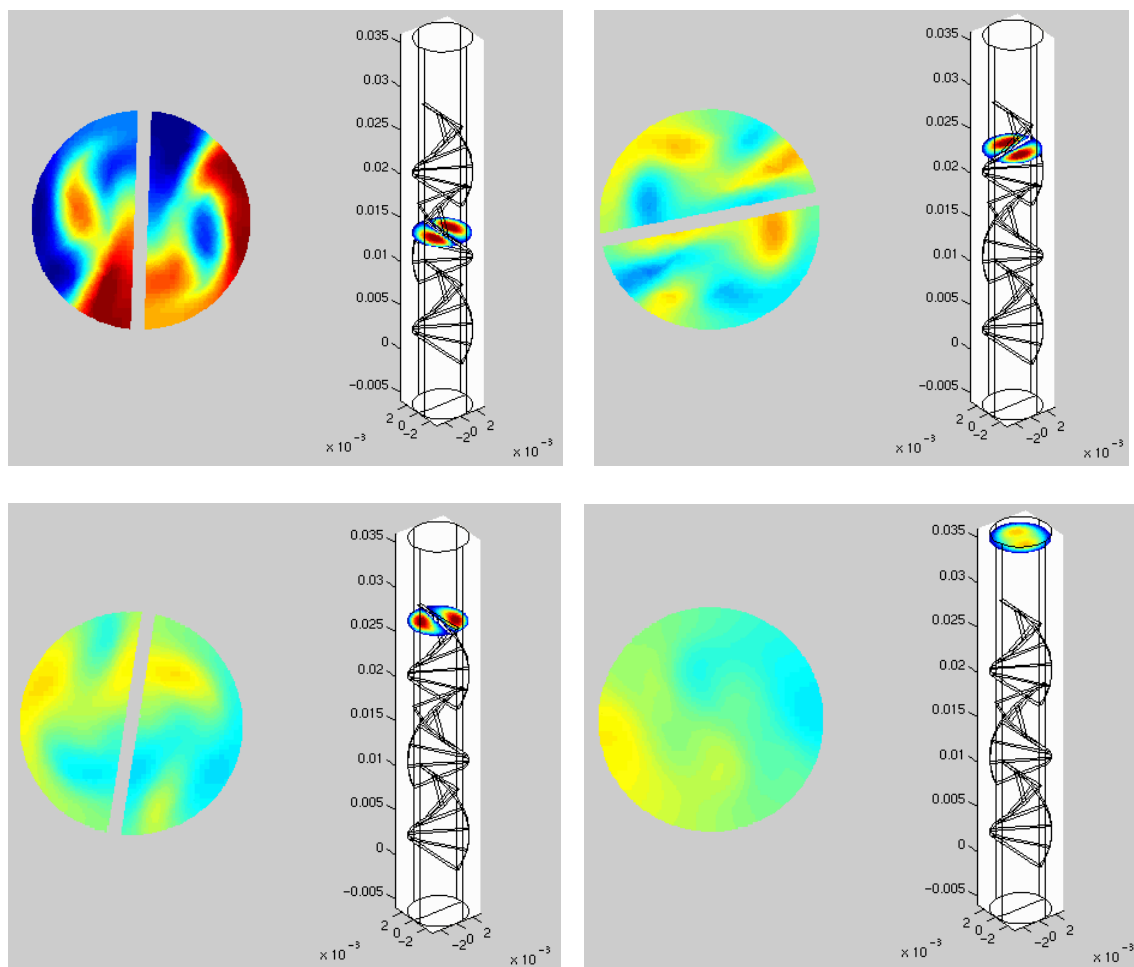
Obr. 21. Speciální pistolový aplikátor se statickým mixérem pro nanášení 2K lepidel



Obr. 22. Statické míchací zařízení

Před započítím nanášení lepidla byla vytlačena zkušební dávka, abychom se ujistili, že lepidlo opouštějící ústí mixeru je řádně promícháno, což bylo dokázáno jednotlivou barvou bez proužků (obr. 23).





Obr. 23. Proces míchání 2K lepidel ve statickém mixéru

Požadované množství lepidla bylo pečlivě dávkováno na zkušební tělísko až do zaplnění všech spár, čímž bylo dosaženo dokonalého vyplnění lepeného prostoru. Malé přetoky lepidla byly důkazem dokonalého vyplnění spár. Pomocí kolíků byla zajištěna fixace spoje až do skončení vytvrzování. Kolíků bylo použito pro zachování konstantního přítlaku spojovaných částí a dodržení minimální vrstvy 0,4mm nanášeného lepidla. Pro zajištění optimální vrstvy lepidla bylo použito distančních vložek (obr. 24). Postup vytvrzování byl kontrolován na přetocích vrypem nehtu. Přetoky byly po vytvrzení odstraněny seříznutím pomocí ostrého nože. Pro každý druh testovaného lepidla bylo připraveno pět kusů zkušebních tělísek od všech typů testovaných materiálů.



Obr. 24. Vytvrzující proces u 2K lepidel s ukázkou distančních vložek

5 Zkouška tahem

Pro realizaci zkoušky tahem bylo použito zkušebního stroje Zwick 145 665 (obr. 24). Tento přístroj je používán pro praktické testování vzorků. Přístroj je určen pro zkoušky tahem, tlakem, ohybem. Součástí přístroje je osobní počítač s programem Test Xpert pro vyhodnocování dat o prováděné zkoušce. Pro zkoušku tahem bylo pro měření protažení použito makro – extenzometru.

Tahové zkoušky lepených spojů u kovových (pozinkovaný plech, ocelový plech) a polymerních materiálů (PE, PC – plněny, PC – neplněný, PA6 – plněný, PA6 – neplněný, PP, PS, PET) byly prováděny v laboratořích ústavu Výrobního inženýrství. Od každého typu materiálu (kovový a polymerní materiál) bylo zhotoveno pět zkušebních tělísek. Na něj byl posléze aplikován vždy jeden typ lepidla tak, aby šlo porovnat pevnost spojů jednotlivých lepidel u daného materiálu.

Zkušební vzorky (lopatky) byly zatěžovány jednoosým tahem mezi tahovými čelistmi zkušebního stroje Zwick 1450665. Při zkoušce byl nejprve stanoven modul pružnosti materiálu při rychlosti posuvu čelistí 1mm/min a při této rychlosti probíhala také samotná zkouška. Naměřené hodnoty byly sestaveny do tabulek v závislosti na druhu materiálu zkušebního vzorku a na typu použitého lepidla. Zároveň byly pomocí měřící aparatury uvedeného stroje získány grafy závislosti zatěžujícího napětí σ [MPa], popřípadě síly F [N] na poměrném prodloužení ε [%]. Měření bylo prováděno při teplotě 21°C. Naměřené hodnoty byly statisticky vyhodnoceny a graficky znázorněny. Z důvodu přehlednosti uvedených tabulek a grafů popisující výsledky naměřených hodnot, jsou v tabulkách

uvedeny a v grafech znázorněny pouze průměrné hodnoty. Podrobné statické vyhodnocení je uvedeno v příloze na CD.



Obr. 25. Zkušební stroj Zwick 145 665

Vyhodnocování výsledku měření

Při statistickém vyhodnocení výsledku měření byly použity následující vztahy:

Aritmetický průměr: „ \bar{x} “ (výběrový) s n jednotlivých výsledku x_i ($i = 1, 2, 3 \dots n$) je suma výsledku dělená jejich počtem n:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad [6]$$

Rozptyl: „ s^2 “ Je vhodný pro zjišťování rady n hodnot náhodného výběru se suma čtverců odchylek jednotlivých hodnot od aritmetického průměru dělí tzv. počtem stupňů volnosti $f = n - 1$.

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad [7]$$

Směrodatná odchylka: „s“ Absolutní hodnota druhé mocniny.

$$s = \sqrt{s^2} \quad [8]$$

Střední kvadratická chyba aritmetického průměru: „ $\bar{\sigma}$ “ Využití pro hodnocení přesnosti

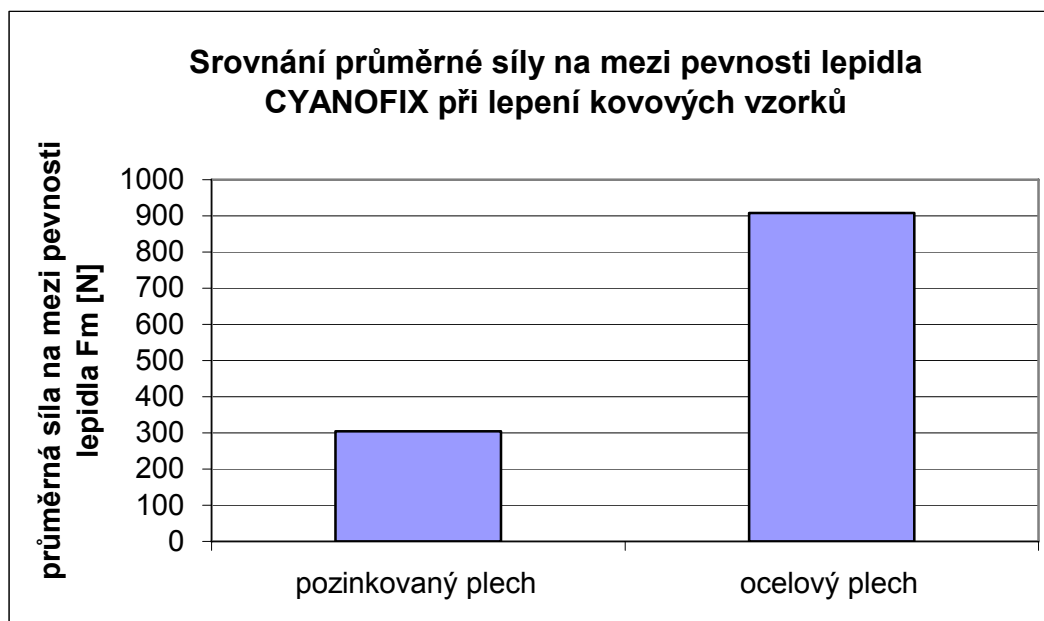
měření se vychází ze střední kvadratické chyby „ σ “ podělenou mocninou s „ n “ měření.

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad [9]$$

5.1 Zkouška tahem – pevnost lepeného spoje kovových materiálů

TAB. X. Hodnoty síly na mezi pevnosti u lepidla Cyanofix

Cyanofix	Rm	E-Modul	Force-Rm
	[MPa]	[MPa]	[N]
pozinkovaný plech	58,26	179642,54	304,60
ocelový plech	152,92	119259,03	908,33
PS	120,69	34488,21	477,93
PC - neplněný	233,10	31018,35	923,07
PA6 - plněný	283,32	97745,54	1121,97
PC - plněný	461,47	79814,38	1827,43
PA6 - neplněný	196,40	25829,15	777,74



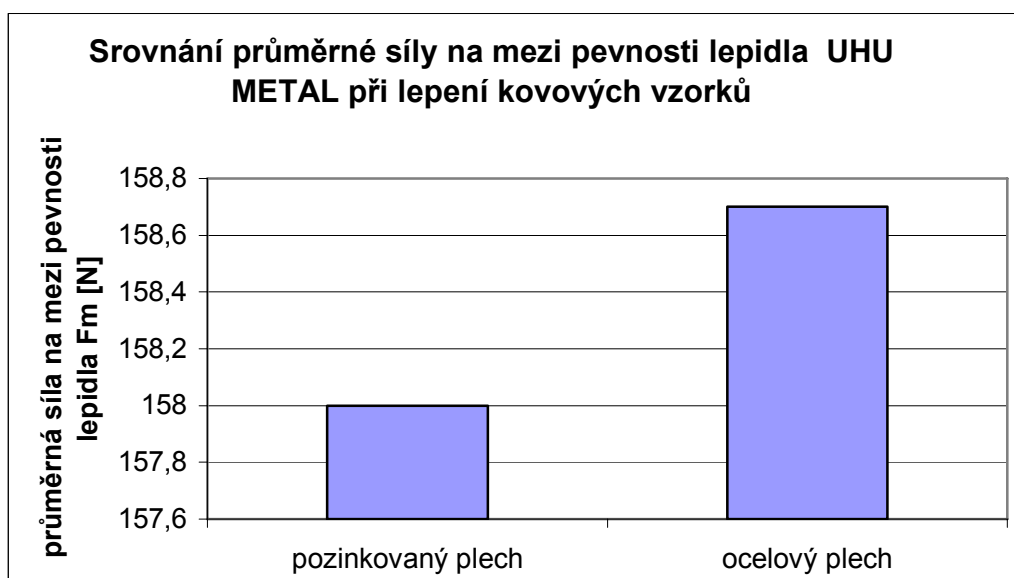
Obr.26. Srovnání síly na mezi pevnosti lepidla Cyanofix

Při zkoušce tahem u lepidla Cyanofix bylo sledováno maximální napětí v lepeném spoji. Jako vhodnější způsob porovnávání výsledků bylo zvoleno porovnání maximální síly na mezi pevnosti. U lepidla Cyanofix bylo dosaženo maximální síly u ocelového

plechu (obr. 26). Nejmenší maximální síla na mezi pevnosti byla dosažena u lepidla Cyanofix u pozinkovaného plechu.

TAB. XI. Hodnoty síly na mezi pevnosti u lepidla UHU Metall

UHU METALL KONT. LEP.	Rm	E- Modulus	Force- Rm
	[MPa]	[MPa]	[N]
pozinkovaný plech	39,30	10678,69	155,64
ocelový plech	40,76	11648,89	161,43

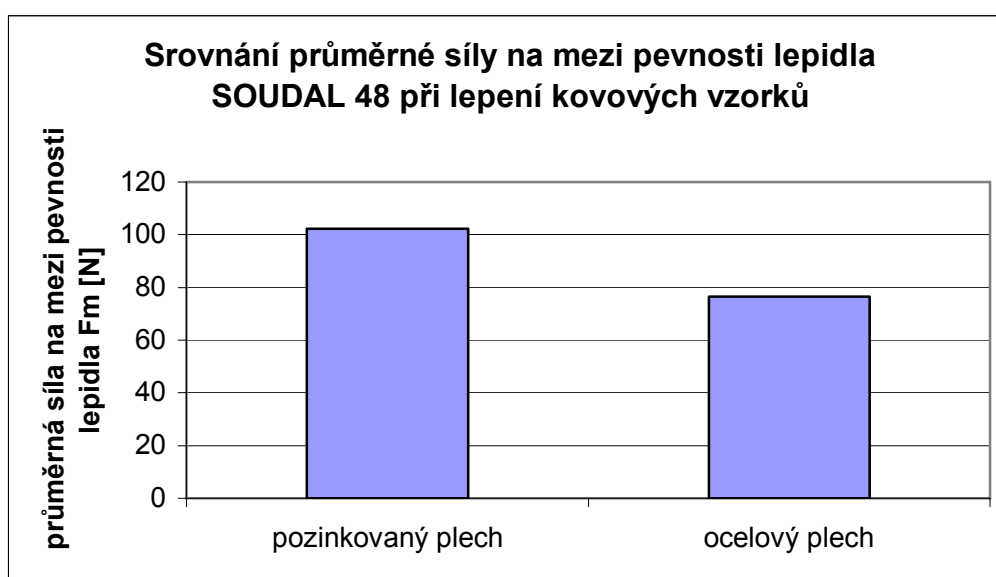


Obr. 27 Srovnání síly na mezi pevnosti lepidla UHU METALL

U kontaktního lepidlo UHU METALL byla maximální síla na mezi pevnosti naměřena u ocelového plechu. Nejmenších hodnoty maximální síly na mezi pevnosti bylo dosaženo naopak u pozinkovaného plechu (obr. 27).

TAB. XII. Hodnoty síly na mezi pevnosti u lepidla SUDAL 48A

SUDAL 48A NEOPREN. LEP.	Rm	E- Modulus	Force- Rm
	[MPa]	[MPa]	[N]
pozinkovaný plech	25,85	9037,88	102,35
ocelový plech	19,32	8058,95	76,53

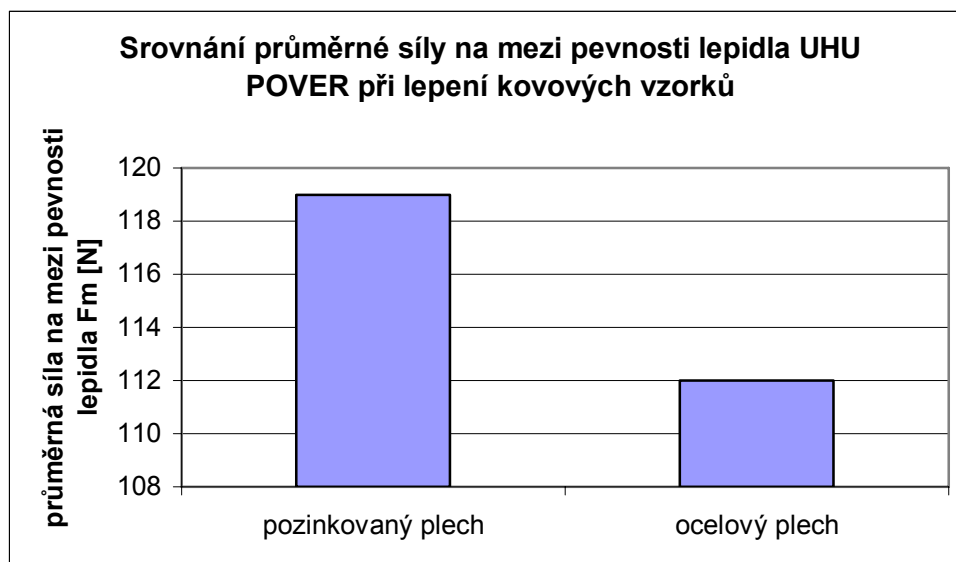


Obr. 28. Srovnání síly na mezi pevnosti lepidla SUDAL 48

Při měření maximální síly na mezi pevnosti lepeného spoje lepidlem SUDAL 48 byla maximální síla naměřena u pozinkovaného plechu. Nejnižší hodnota maximální síly byla dosažena u ocelového plechu (obr. 28).

TAB. XIII. Hodnoty síly na mezi pevnosti u lepidla UHU POWER

UHU POWER KONT. LEP.	Rm	E-Modulus	Force-Rm
	[MPa]	[MPa]	[N]
pozinkovaný plech	30,07	7687,68	119,07
ocelový plech	28,29	11940,34	112,01
PA6 - plněný	76,07	35343,51	301,25
PET	62,13	17913,93	246,04
PA6 - neplněný	83,18	23801,54	329,40

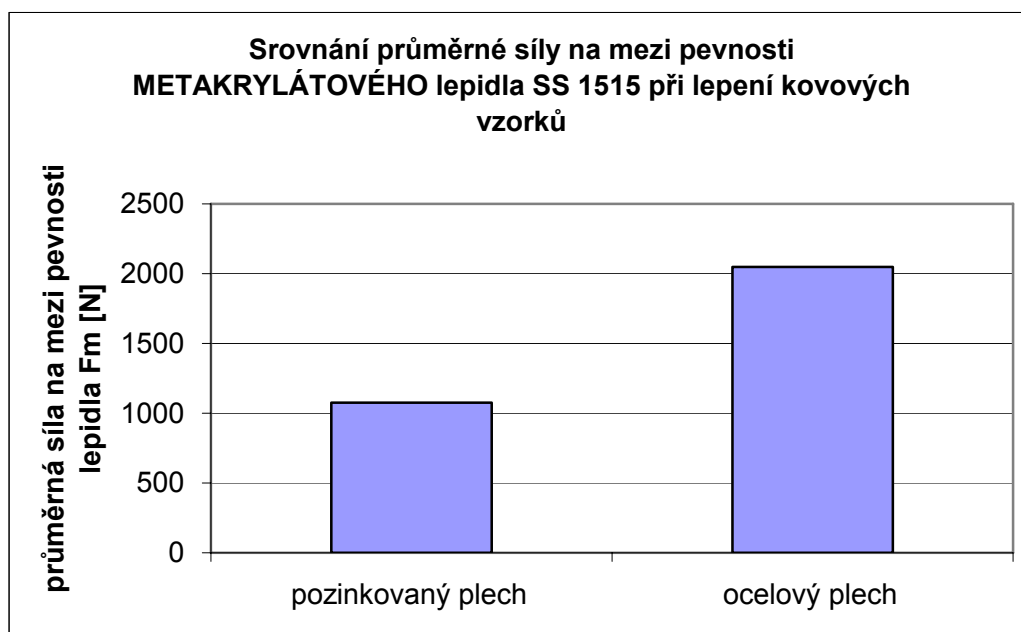


Obr. 29. Srovnání síly na mezi pevnosti lepidla UHU POWER

Při tahové zkoušce byla u kontaktního lepidla UHU POWER naměřena nejvyšší hodnota maximální síly na mezi pevnosti u pozinkovaného plechu. Naopak nejnižší hodnota maximální síly lepeného spoje byla naměřena u ocelového plechu (obr. 29).

TAB. XIV Hodnoty síly na mezi pevnosti u lepidla SS 1515

Metacrylate SS1515 neplaz.	Rm	E-Modulus	Force-Rm
	[MPa]	[MPa]	[N]
pozinkovaný plech	271,80	245360,60	1076,34
ocelový plech	517,19	340419,79	2048,06
PET	210,49	38559,55	833,54
PA6 - plněný	151,35	131201,44	599,35
PS	188,04	39837,57	744,65
PA6 - neplněný	92,75	38208,51	367,29
PC - neplněný	570,13	40770,06	2257,73
PC - plněný	888,44	84424,14	3518,23
PE	7,46	3239,94	29,53

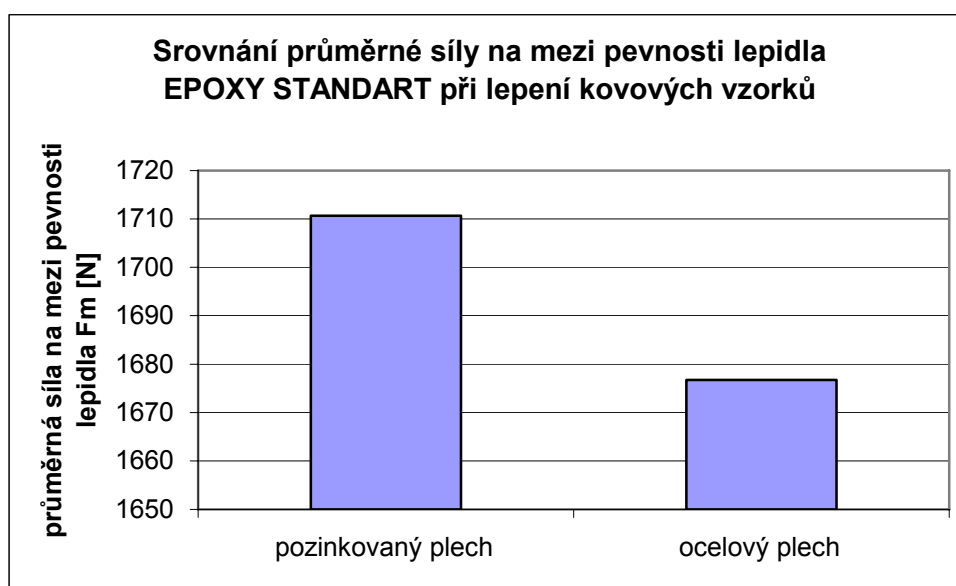


Obr.30. Srovnání síly na mezi pevnosti lepidla SS 1515

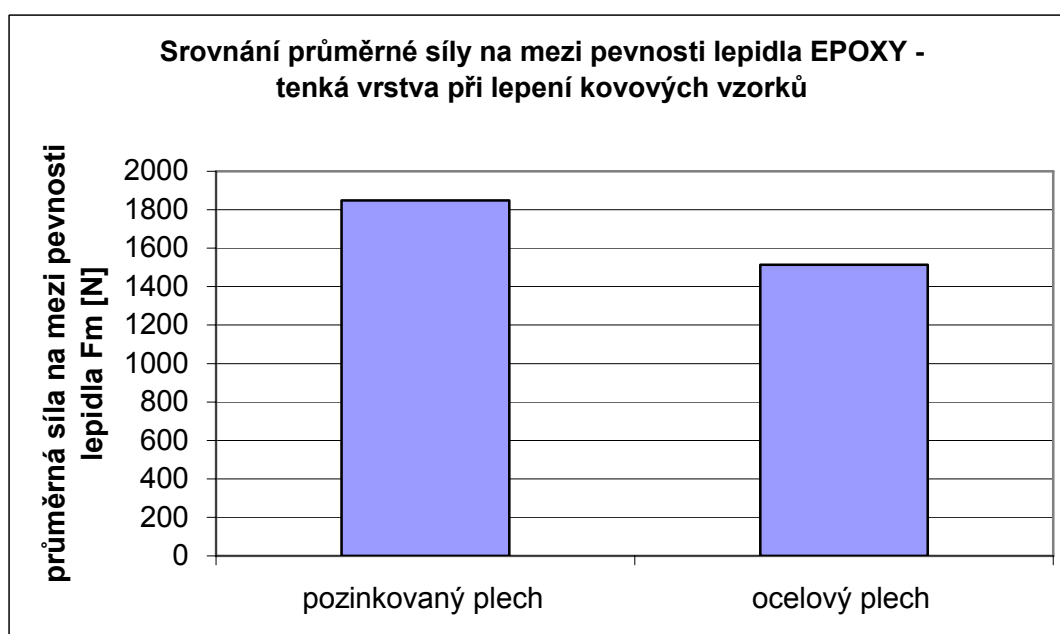
Při tahové zkoušce byla maximální síla na mezi pevnosti u kovových materiálů lepených lepidlem SS 1515 naměřena maximální síla u ocelového plechu. Nejmenší hodnota maximální síly na mezi pevnosti byla naměřena u pozinkovaného plechu (obr. 30).

TAB. XV. Hodnoty síly na mezi pevnosti u lepidla EPOXY STANDARD

EPOXY standard 0,4mm	Rm	E-Modulus	Force-Rm
	[MPa]	[MPa]	[N]
pozinkovaný plech	431,99	420067,70	1710,70
ocelový plech	423,42	372284,16	1676,72



Obr. 31. Srovnání síly na mezi pevnosti lepidla EPOXY STANDARD

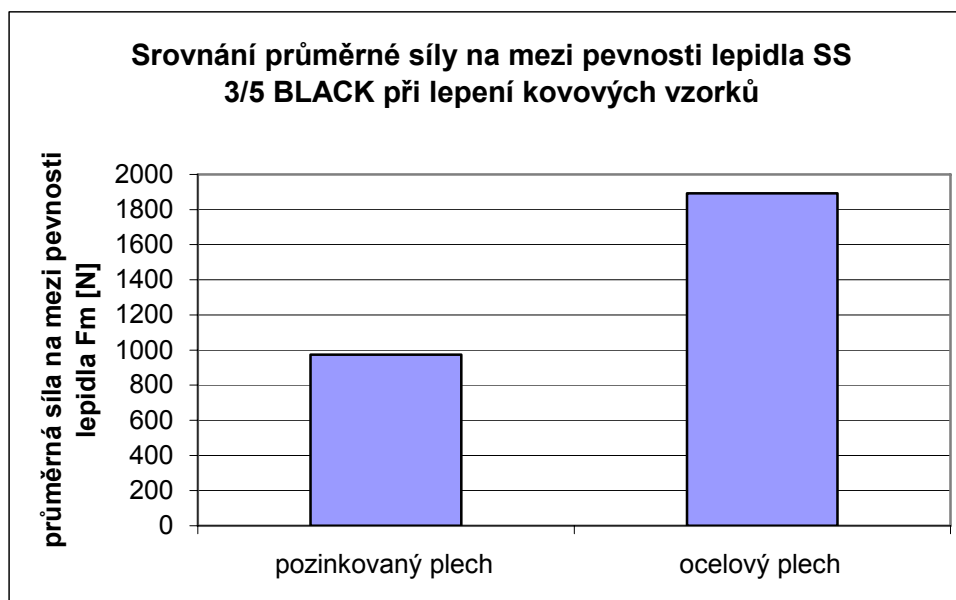


Obr.32. Srovnání síly na mezi pevnosti lepidla EPOXY TENKÁ VRSTVA

Při stanovení maximální síly na mezi pevnosti u lepidla EPOXY 310 LORD byly testovány lepené spoje ve dvou variantách. U první varianty byla nanášena minimální vrstva lepidla o tloušťce 0,4mm. a tato varianta byla následně označena jako varianta STANDARD. U druhé varianty byla nanášena minimální vrstva materiálu. Obě varianty byly vyhodnocena a graficky znázorněny. Z uvedeného grafu vyplývá, že nejvyšší hodnota maximální síly na mezi pevnosti byla naměřena u pozinkovaného plechu. Nejmenší hodnota maximální síly byla naměřena u ocelového plechu. Bylo prokázáno, že u tenčí vrstvy epoxidového lepidla aplikovaného u kovových materiálů dosáhla maximální síla nejvyšších hodnot (obr. 31, 32).

TAB. XVI Hodnoty síly na mezi pevnosti u lepidla SS 315 BLACK

	Rm	E-Modulus	Force-Rm
Metacrylate SS 315 BLACK	[MPa]	[MPa]	[N]
pozinkovaný plech	246,30	146609,46	975,35
ocelový plech	487,61	387337,57	1930,95

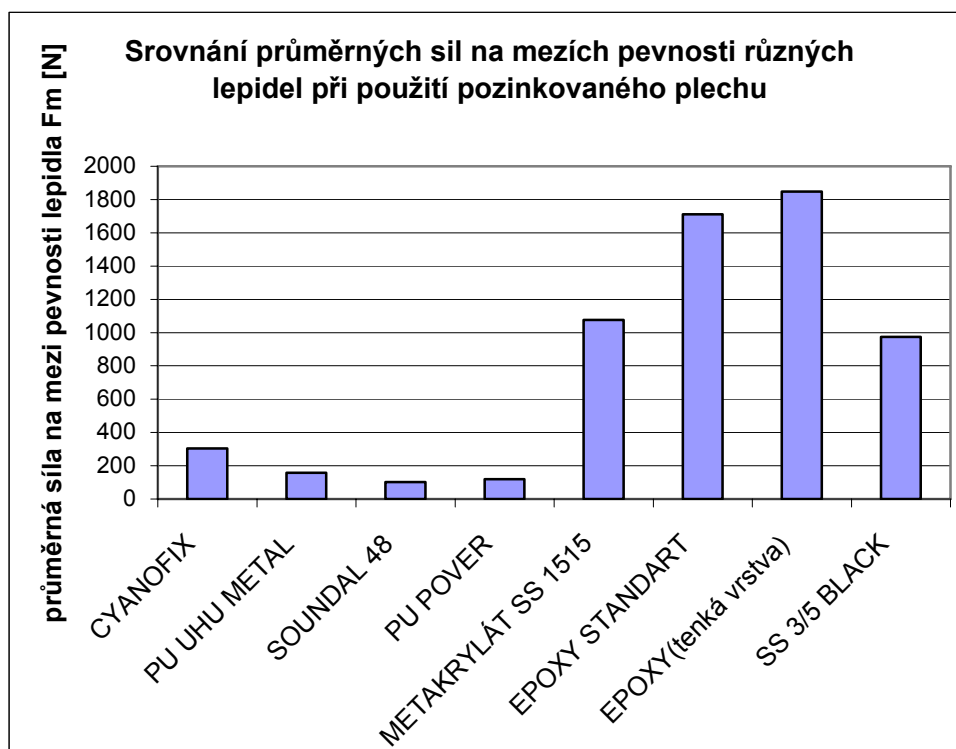


Obr.33. Srovnání síly na mezi pevnosti lepidla SS 315 BLACK

Největší maximální síla na mezi pevnosti byla naměřena u kovových materiálů lepených lepidlem SS 315 BLACK u ocelového plechu. Nejmenší maximální síla byla naměřena u pozinkovaného plechu (obr. 33).

TAB. XVII Hodnoty síly na mezi pevnosti Pozinkovaného plechu

Pozinkovaný plech	Rm	E-Modulus	Force-Rm
	[MPa]	[MPa]	[N]
Základní materiál	586,8	17114,9	2323,51
Cyanofix	58,26	179642,54	304,60
PU KOV UHU METAL	39,30	10678,69	155,64
SOUNDAL 48A	25,85	9037,88	102,35
PU POWER	30,07	7687,68	119,07
Matacrylate SS1515 neplaz.	271,80	245360,60	1076,34
EPOXY standard 0,4mm	431,99	420067,70	1710,70
EPOXY tenká tloušť.	466,89	215389,63	1848,89
SS 315 BLACK	246,30	146609,46	975,35

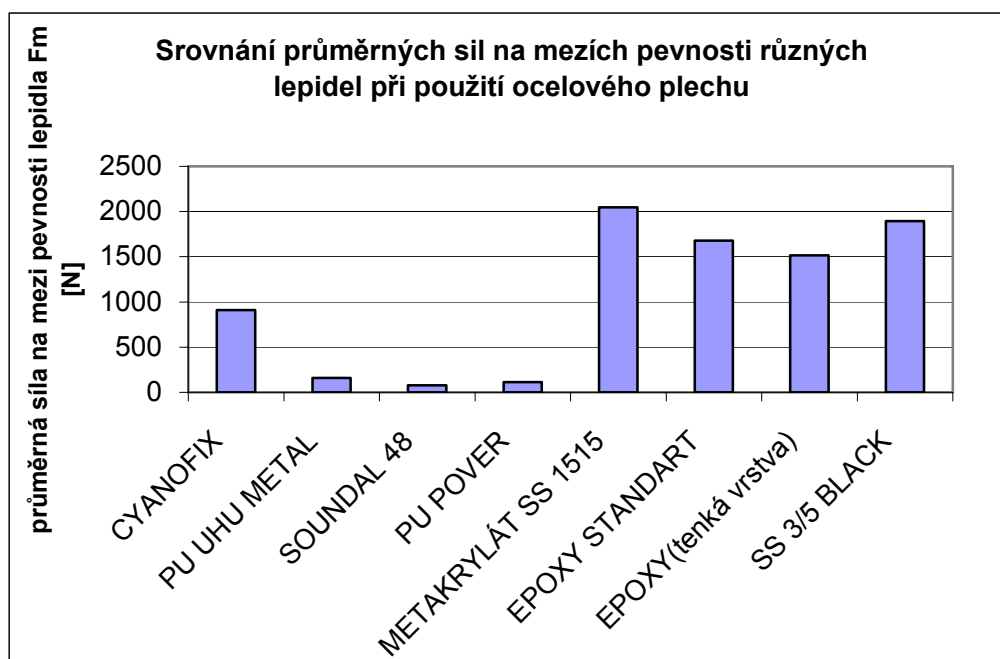


Obr.34. Srovnání síly na mezi pevnosti u pozinkovaného plechu

Při měření pevnosti lepených spojů u pozinkovaného plechu různými typy lepidel byla nejvyšší maximální síla na mezi pevnosti neměřena u lepidla EPOXY (standard, tenká vrstva). Nejmenších hodnot maximální síly bylo naměřeno u lepidel SOUNDAL A UHU POWER (obr. 34).

TAB. XVII Hodnoty síly na mezi pevnosti u ocelového plechu

Ocelový plech	Rm	E-Modulus	Force-Rm
	[MPa]	[MPa]	[N]
Základní materiál	608,4	119426,9	2409,21
Cyanofix	152,92	119259,03	908,33
PU KOV UHU METAL	40,76	11648,89	161,43
SOUNDAL 48A	19,32	8058,95	76,53
PU POWER	28,29	11940,34	112,01
Metacrylate SS1515 neplaz.	517,19	340419,79	2048,06
EPOXY standard 0,4mm	423,42	372284,16	1676,72
EPOXY tenká tloušť.	382,34	201211,26	1514,07
SS 315 BLACK	487,61	387337,57	1930,95



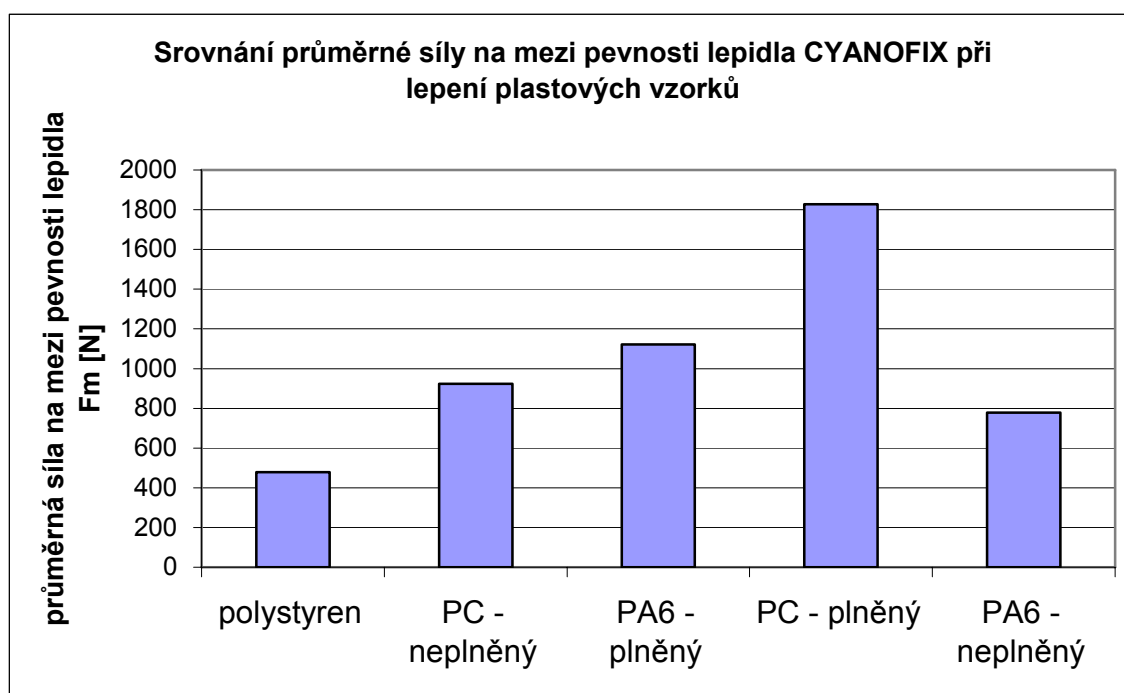
Obr.35. Srovnání síly na mezi pevnosti u ocelového plechu

U ocelového plechu byla nejvyšší hodnota maximální síly na mezi pevnosti naměřena u lepidel SS 1515 a SS 315 BLACK. Jedná se o Metacrylátový typ lepidla. Nejmenších hodnoty maximální síly na mezi pevnosti bylo naměřeno u lepidel SOUNDAL a UHU POWER (obr. 35).

5.2 Zkouška tahem – pevnost lepeného spoje polymerních materiálů

TAB. XIX. Hodnoty síly na mezi pevnosti u lepidla Cyanofix

Cyanofix	Rm	E-Modul	Force-Rm
	[MPa]	[MPa]	[N]
PS	120,69	34488,21	477,93
PC - neplněný	233,10	31018,35	923,07
PA6 - plněný	283,32	97745,54	1121,97
PC - plněný	461,47	79814,38	1827,43
PA6 - neplněný	196,40	25829,15	777,74

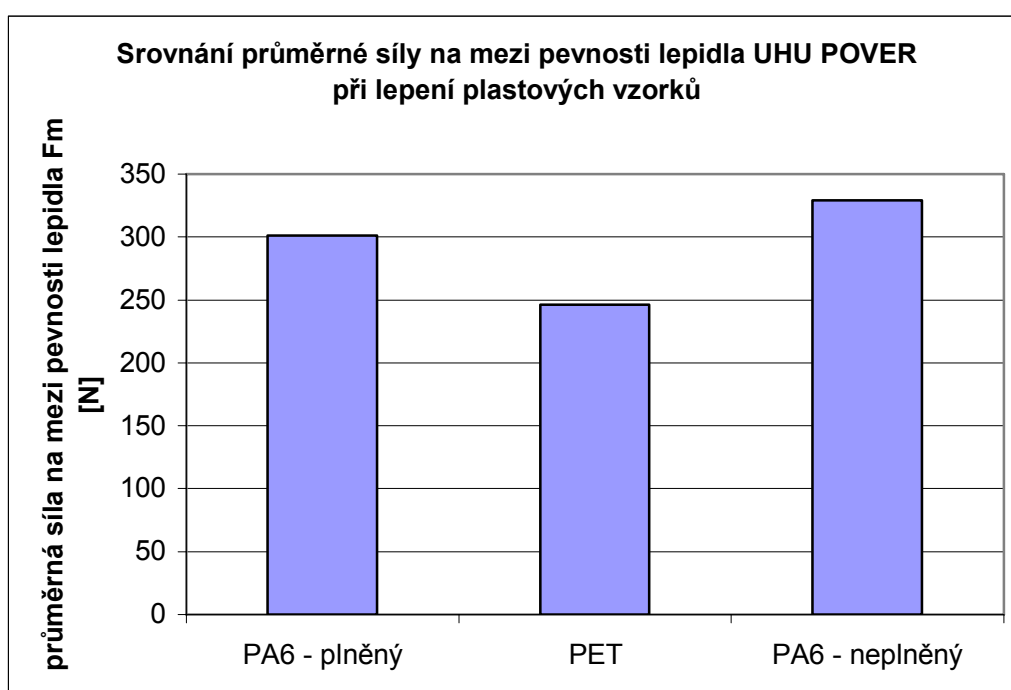


Obr.36. Srovnání síly na mezi pevnosti lepidla Cyanofix

U Cyanofixního lepidla aplikovaného na vybrané typy polymerních materiálů byla nejvyšší hodnota maximální síly na mezi pevnosti naměřena u PC – plněného. Nejmenší hodnota maximální síly na mezi pevnosti byla naměřena u polystyrenu (obr. 36).

TAB. XX. Hodnoty síly na mezi pevnosti u lepidla UHU POWER

UHU POWER KONT. LEP.	Rm	E-Modulus	Force-Rm
	[MPa]	[MPa]	[N]
PA6 - plněný	76,07	35343,51	301,25
PET	62,13	17913,93	246,04
PA6 - neplněný	83,18	23801,54	329,40

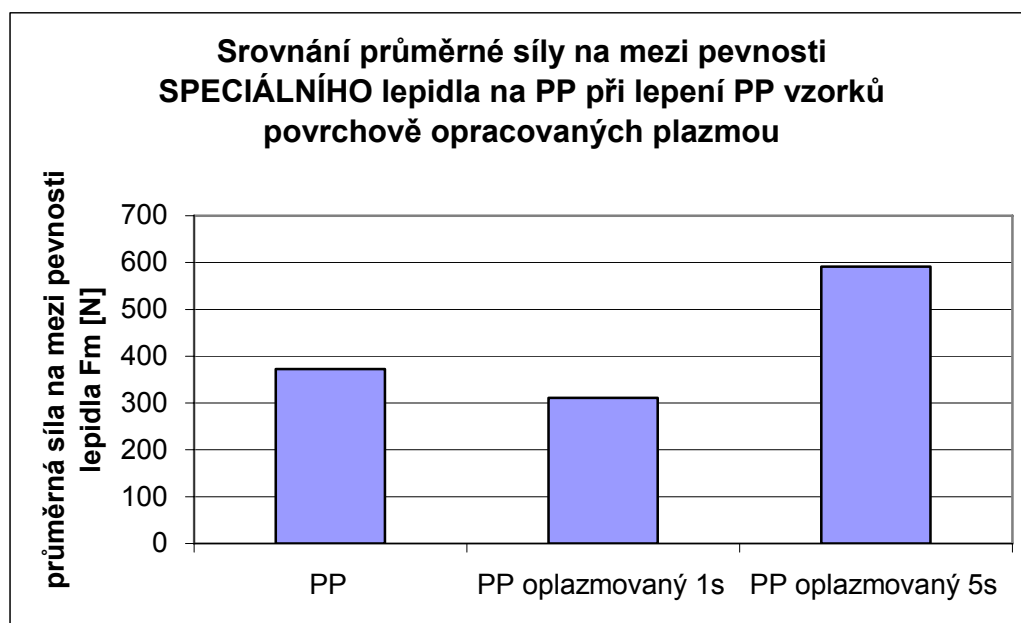


Obr.37. Srovnání síly na mezi pevnosti u lepidla UHU POWER

U UHU POWER lepidla aplikovaného na vybrané typy polymerních materiálů byla nejvyšší hodnota maximální síly na mezi pevnosti v tahu naměřena u PA6 – neplněného. Nejmenší hodnota maximální síly na mezi pevnosti v tahu byla naměřena u PET (obr. 37).

TAB. XXI. Hodnoty síly na mezi pevnosti u lepidla SPEC. PP

SPEC. LEPIDLO PP	Rm	E-Modulus	Force-Rm
	[MPa]	[MPa]	[N]
PP	94,14	16532,49	372,79
PP - plaz 1s	78,47	14211,57	310,74
PP - plaz 5s	149,35	19243,65	591,43



Obr.38. Srovnání síly na mezi pevnosti lepidla SPECIÁLNÍ LEP. PP

U SPEC. LEP. PP lepidla aplikovaného na vybrané typy polymerních materiálů (PP) byla nejvyšší hodnota maximální síly na mezi pevnosti v tahu naměřena u PP – plazmovaného 5s. Nejmenší hodnota maximální síly na mezi pevnosti byla naměřena u PP – plazmovaného 1s. U PP byla maximální síla na mezi pevnosti hodnocena u lepeného spoje PP a u spojů PP které jejichž povrchy byly upraveny plazmováním. Plazmování bylo aplikováno na Vysoké škole chemicko technické v Bratislavě. Doba plazmování se prováděla ve dvou časových periodách. První perioda byla dlouhá 1sekundu a druhá perioda trvala 5 sekund (obr. 38).

TAB. XXII. Hodnoty síly na mezi pevnosti u lepidla SS 1515

Matacrylate SS1515 neplaz.	Rm	E-Modulus	Force-Rm
	[MPa]	[MPa]	[N]
PET	210,49	38559,55	833,54
PA6 - plněný	151,35	131201,44	599,35
PS	188,04	39837,57	744,65
PP	7,63	-63,24	30,23
PA6 - neplněný	92,75	38208,51	367,29
PC - neplněný	570,13	40770,06	2257,73
PC - plněný	888,44	84424,14	3518,23
PE	7,46	3239,94	29,53



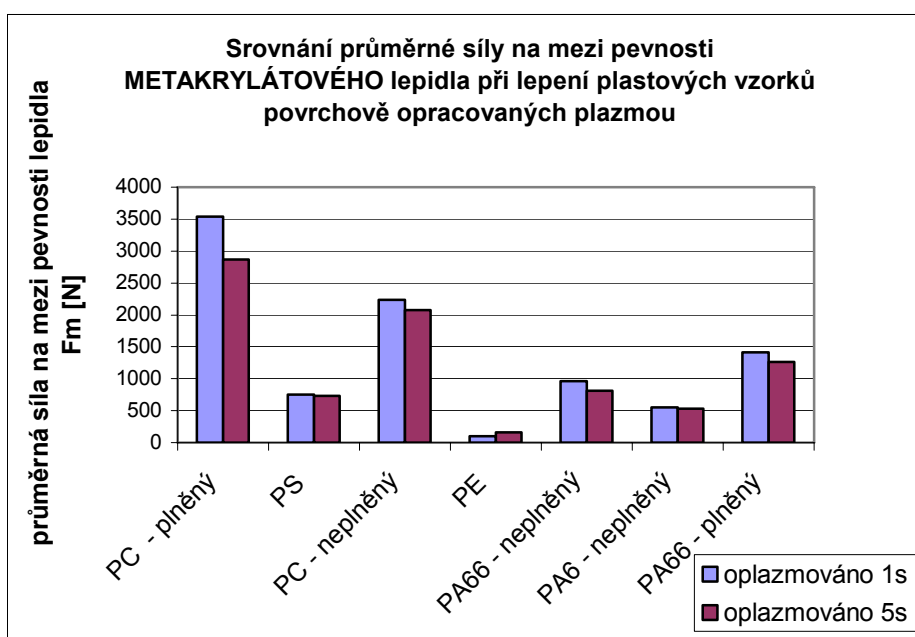
Obr.39. Srovnání síly na mezi pevnosti lepidla SS 1515

U SS 1515 lepidla aplikovaného na vybrané typy polymerních materiálů (PET, PA - plněný, PS, PP, PA6 – neplněný, PC – neplněný, PC – plněný, PE) byla nejvyšší hodnota maximální síly na mezi pevnosti v tahu naměřena u PC – plněného. Nejmenší hodnota maximální síly na mezi pevnosti byla naměřena u PP (obr. 39).

TAB.XXIII. Hodnoty síly na mezi pevnosti u lepidla SS 1515

Matacrylate SS1515 povrch plazmován po dobu 1s	Rm [MPa]	E- Modulus [MPa]	Force- Rm
	[MPa]	[MPa]	[N]
PC - plněný	892,40	83013,59	3533,91
PS	188,68	38881,00	747,16
PC - neplněný	565,13	37480,89	2237,93
PE	25,79	5167,43	102,12
PA66 - neplněný	138,56	39213,99	548,71
PA6 - neplněný	138,56	39213,99	548,71
PA66 - plněný	356,45	119335,51	1411,53

Metacrylate SS1515 povrch plazmován po dobu 5s	Rm	E- Modulus	Force- Rm
	[MPa]	[MPa]	[N]
PC - plněný	723,16	77964,79	2863,70
PS	184,56	36514,38	730,84
PC - neplněný	525,25	34416,72	2079,99
PE	39,60	5399,22	156,82
PA66 - neplněný	206,19	44707,64	816,49
PA6 - neplněný	135,34	38360,17	535,93
PA66 - plněný	318,22	109561,01	1260,16



Obr. 40. Srovnání síly na mezi pevnosti lepidla SS 1515

Velmi zajímavým se jeví porovnání maximální síly na mezi pevnosti v tahu u vybraných polymerů, jejichž povrch byl oplazmován. Z naměřených hodnot vyplývá, že maximální síly na mezi pevnosti v tahu bylo dosaženo u PC – plněného a to jak u plazmování trvajícím 1s, tak u plazmování trvajícím 5s. Nejmenších hodnot síly na mezi pevnosti v tahu bylo dosaženo u PE (obr. 40).

6 DISKUSE VÝSLEDKŮ TAHOVÉ ZKOUŠKY

K tahovým zkouškám zkušebních lepených spojů bylo použito 351 zkušebních tělísek. Aplikováno bylo 6 typů lepidel. Tři druhy lepidel jsou běžně dostupně v supermarketech (Cyanoakrylátové, Kontaktní, Neoplenové lepidlo). Další tři druhy byly lepidla pro speciální aplikace (Akrylátové, Epoxidové, Speciální lepidlo PP). Byly lepeny kovy a termoplasty. Z kovových materiálů byl použit pozinkovaný a ocelový plech. Polymerní materiály použity pro zkoušky byly PET, PA6 – nepl, PS, PP, PC – pln, PC – nepl, PE, PA66 – pln, PA66 nepl.. Přehled použitých lepidel a materiálů je uveden v tab.XXIV.

Experimentální část zahrnuje soubor měření k nimž bylo použito 351 zkušebních tělísek. Výsledky měření byly zpracovány a byly hledány materiály, kterých bude možné technologii lepení nahradit ostatní technologie spojování především svařování. Tabulky naměřených hodnot jsou uvedeny v příloze DP na CD.

Soubory naměřených hodnot byly zpracovány a graficky znázorněny. Pro snadnější orientaci a rychlé porovnání naměřených hodnot, byly u kovových materiálů použity tzv. bezrozměrné hodnoty, vyjádřené jako poměr jednotlivých měření k maximální hodnotě dosažené v průběhu příslušného měření. Pro polymerní materiály nebyly bezrozměrné hodnoty použity. Příslušné porovnání je zde vyjádřeno číselnými výsledky měření.

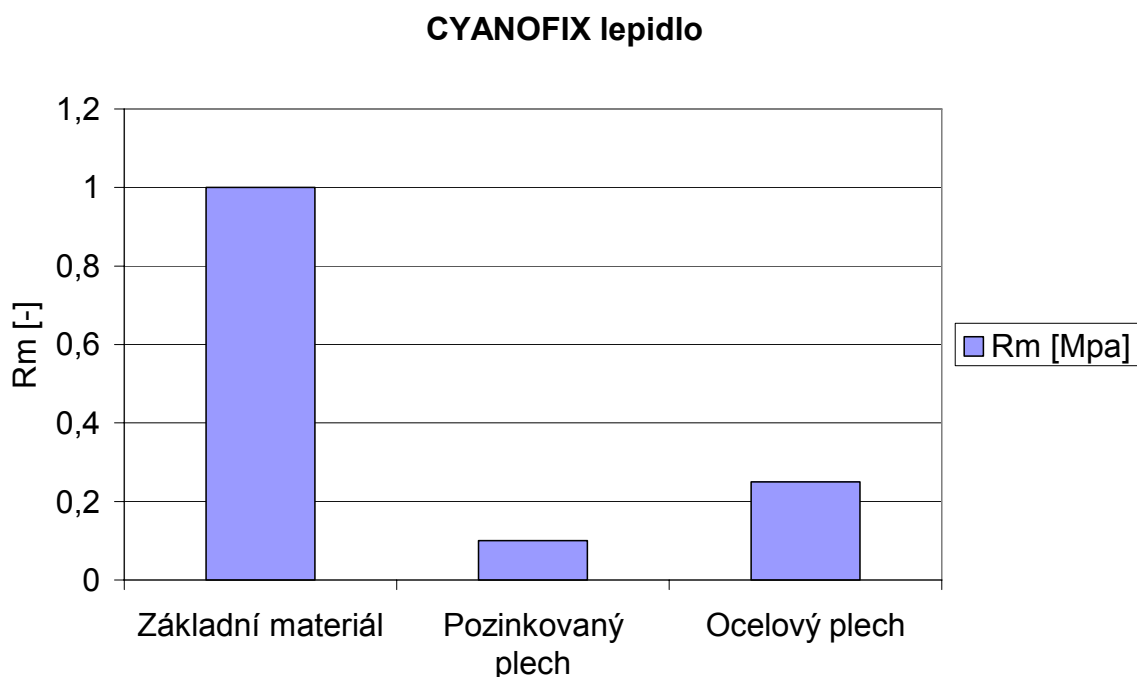
TAB. XXIV Přehled použitých lepidel a materiálů

Druh lepidla	Označení lepidla	Lepený materiál
Akrylátové lepidlo	SS 1515	Pozinkovaný plech, ocelový plech, PET, PA6 – nepl, PS, PP, PC – pln, PC – nepl, PE, PA66 – pln, PA66 nepln.
	SS 315 Black	Pozinkovaný plech, ocelový plech
Cyanoakrylátové lepidlo	Cyanofix	Pozinkovaný plech, ocelový plech, PS, PC – nepln, PA6 – pln, PC – pln, PA6 - nepln
Epoxidové lepidlo	Lord 310 A,B	Pozinkovaný plech, ocelový plech
Neoplenové lepidlo	Soudal 48	Pozinkovaný plech, ocelový plech
Kontaktní lepidlo	UHU Power	Pozinkovaný plech, ocelový plech, PA6 – pln, PET, PA6 - neplm
	UHU Metall	Pozinkovaný plech, ocelový plech
Speciální lepidlo na PP	Lep. PP	PP

KOVY

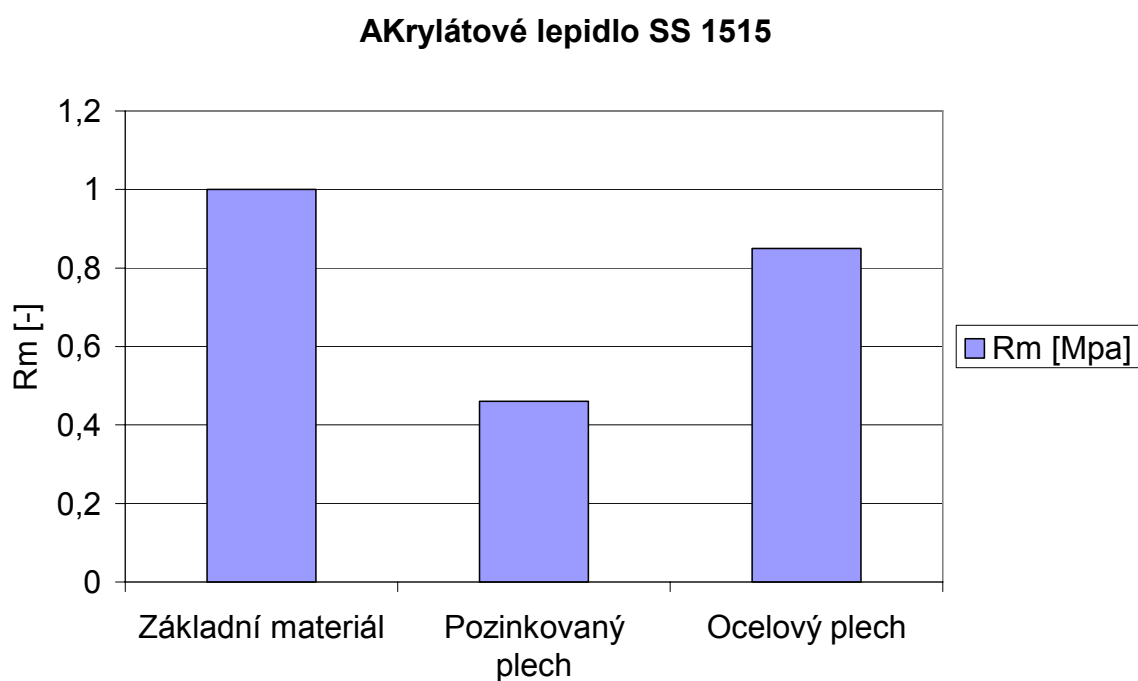
Pro měření kovových materiálů byly vybrány dva druhy kovů (pozinkovaný a ocelový plech). Při lepení spojů kovových materiálů bylo aplikováno celkem šest typů lepidel (tab. XXIV) kde, tři typy lepidel byla lepidla jednosložková a další tři typy byla lepidla dvousložková. Byla posuzována maximální pevnost lepeného spoje pro každý typ lepidla. Soubor měření byl statisticky zpracován a graficky znázorněn formou bezrozměrné hodnoty, vyjádřené jako poměr jednotlivých měření k maximální hodnotě dosažené v průběhu příslušného měření.

U jednosložkového lepidla Cyanofix (sekundové lepidlo) byla naměřena vyšší pevnost lepeného spoje u ocelového plechu. Pozinkovaný plech vykazoval menší pevnost lepeného spoje jak je znázorněno na obr. 41. Pevnost spoje s porovnáním se základním materiálem není příliš výrazná a pohybuje se na hodnotě okolo 20% pevnosti základního materiálu. Výhodou tohoto typu lepidla je však jeho rychlá aplikace a doba vytvrzení, která je v porovnání s ostatními lepidly velmi krátká.



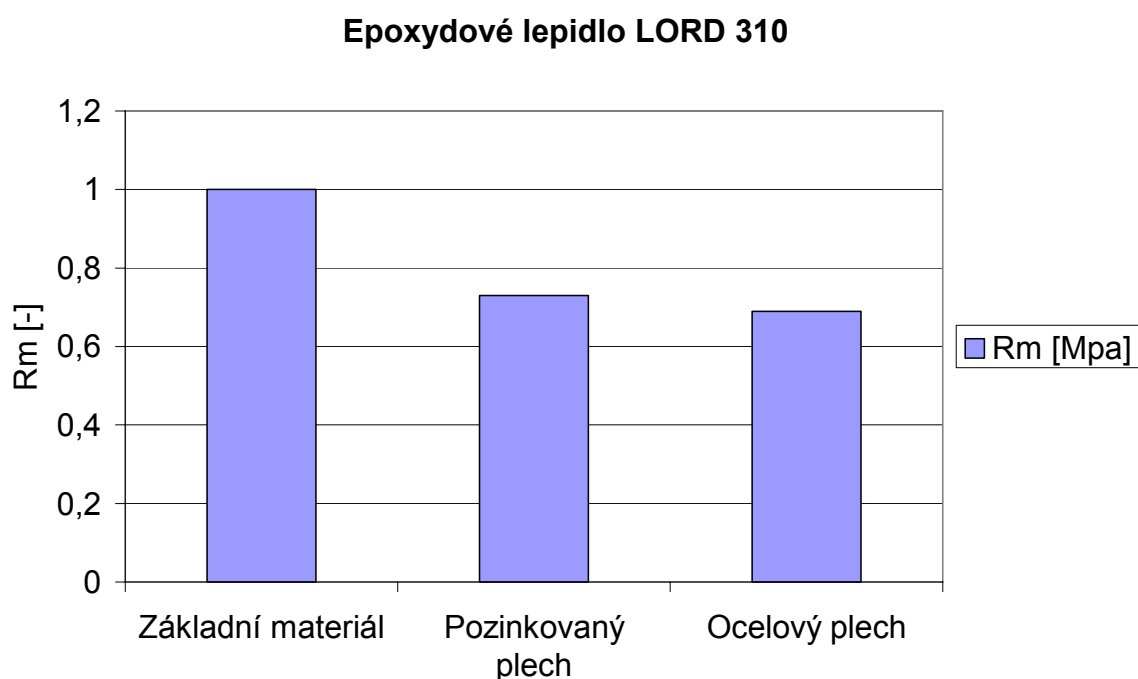
Obr. 41. Srovnání napětí na mezi pevnosti lepidla Cyanofix

Při použití lepidla dvousložkového SS 1515 pro lepení spojů pozinkovaného a ocelového plechu vykazoval největší hodnotu maximální pevnosti ocelový plech. U tohoto typu lepidla byla naměřena maximální pevnost na hodnotě 80% základního materiálu. Z toho vyplývá, že pevnost lepeného spoje u ocelového plechu se téměř blíží k pevnosti základního materiálu obr. 42. Naopak pevnost spoje pozinkovaného plechu dosahuje hodnoty 40% základního materiálu. To může být způsobeno povrchovou úpravou plechu (pozinkování), která způsobuje vyšší adhezi lepidla k lepenému materiálu. Z výsledků vyplývá, že daný typ lepidla (SS 1515) je možno použít ve velmi náročných podmínkách.



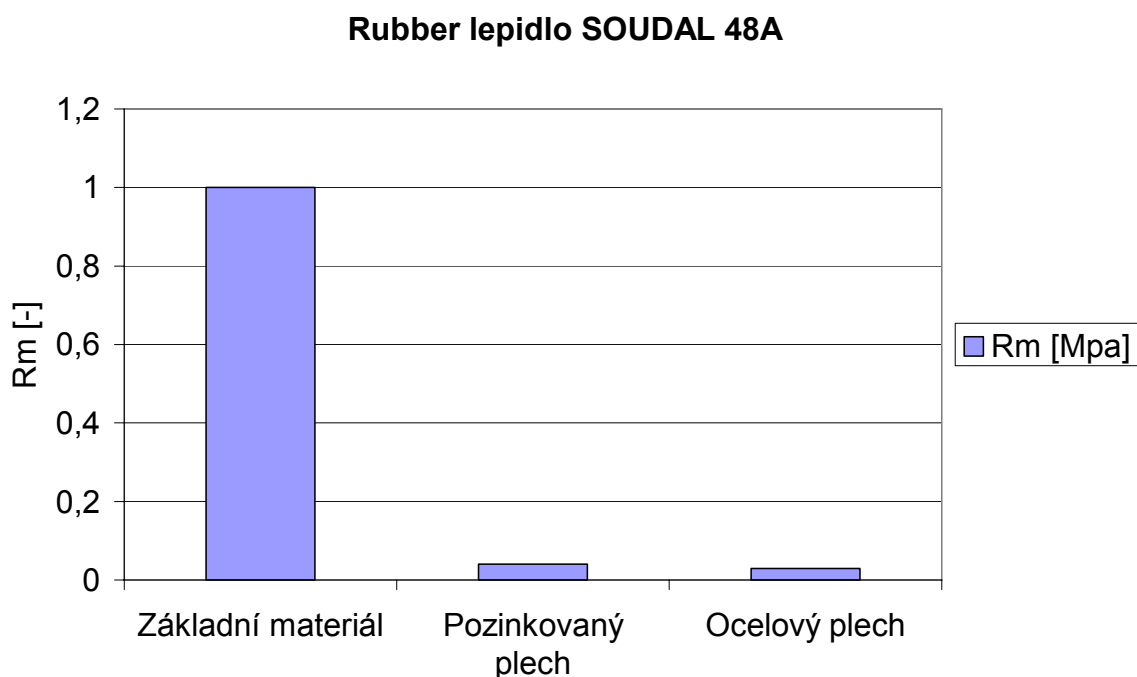
Obr. 42. Srovnání napětí na mezi pevnosti lepidla SS 1515

U dvousložkového Epoxidového lepidla Lord 310 byla maximální pevnost lepeného spoje naměřena u pozinkovaného plechu. Hodnota maximální pevnosti pozinkovaného plechu se pohybuje na 70% maximální pevnosti základního materiálu obr. 43. Maximální napětí dosaženo u ocelové plechu pro tento soubor měření dosahuje téměř totožných hodnot. Tento typ lepidla vykazuje podobně jako lepidlo SS 1515 velmi vysokou pevnost lepeného spoje.



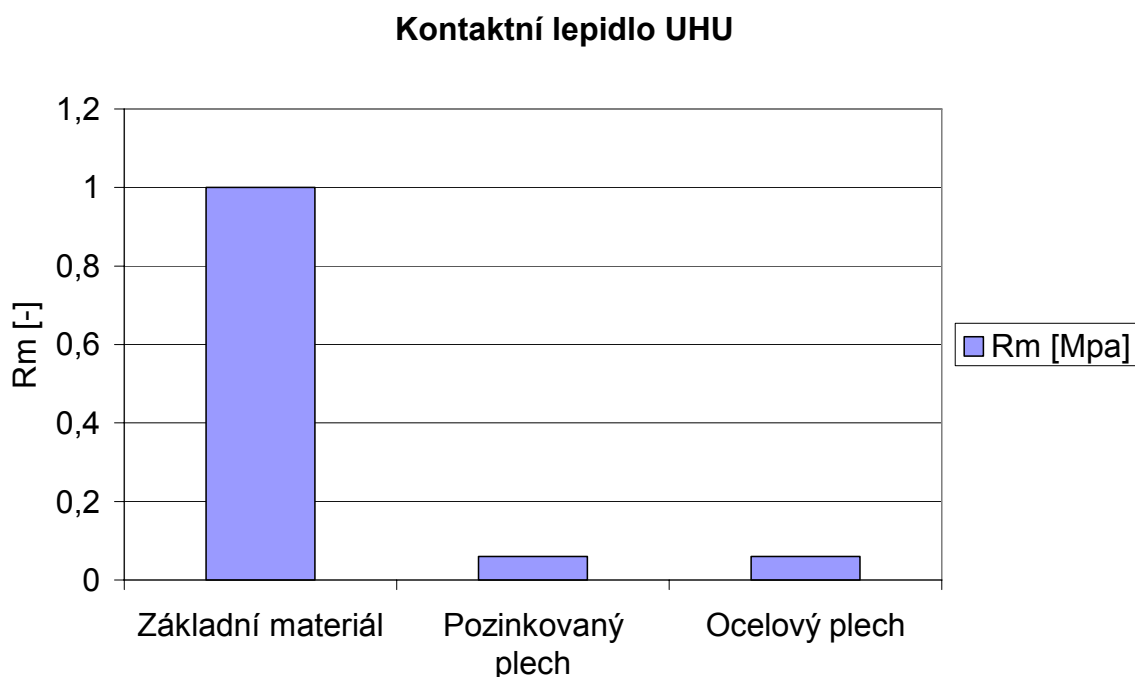
Obr. 43. Srovnání napětí na mezi pevnosti lepidla LORD 310

Z výsledků měření jednosložkového Neoplenového lepidla SOUDAL 48A vyplynulo, že maximální pevnosti lepeného spoje bylo dosaženo u pozinkovaného plechu. Ocelový plech ale dosáhl téměř stejných hodnot pevnosti. Při porovnání s pevností lepeného spoje a základního materiálu bylo zjištěno, že pevnost lepeného spoje nedosahuje ani 5% pevnosti základního materiálu obr. 44 a tudíž použití tohoto typu lepidla není příliš vhodné pro kovový materiál.



Obr. 44. Srovnání napětí na mezi pevnosti lepidla SOUDAL 48A

U jednosložkového kontaktního lepidla UHU METALL bylo dosaženo maximální pevnosti lepeného spoje u ocelového plechu. Podobně však jako u lepidla SOUDAL 48A byla pevnost spoje pozinkovaného plechu pouze o málo nižší, než pevnost lepeného spoje ocelového plechu. Při porovnání pevnosti lepeného spoje a základního materiálu bylo zjištěno, že pevnost lepených spojů dosahuje maximálně 10 % pevnosti základního materiálu obr. 45. Tento typ lepidla není podobně jako typ SOUDAL příliš vhodný pro tento typ materiálu.

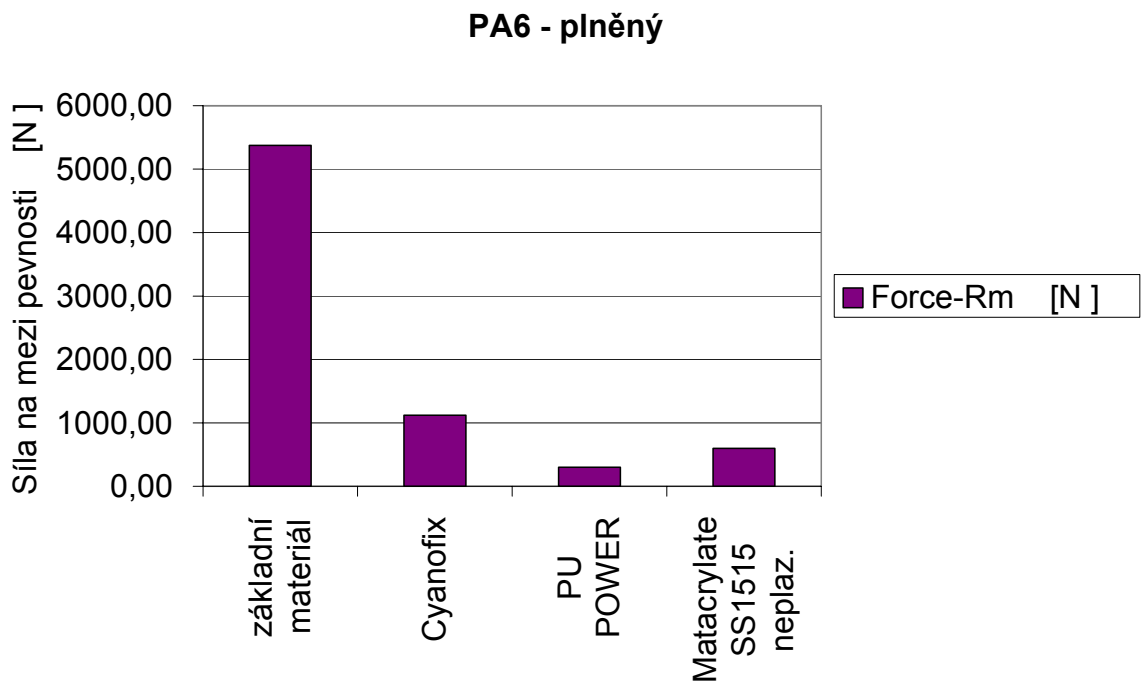


Obr. 45. Srovnání síly na mezi pevnosti lepidla UHU

Polymery

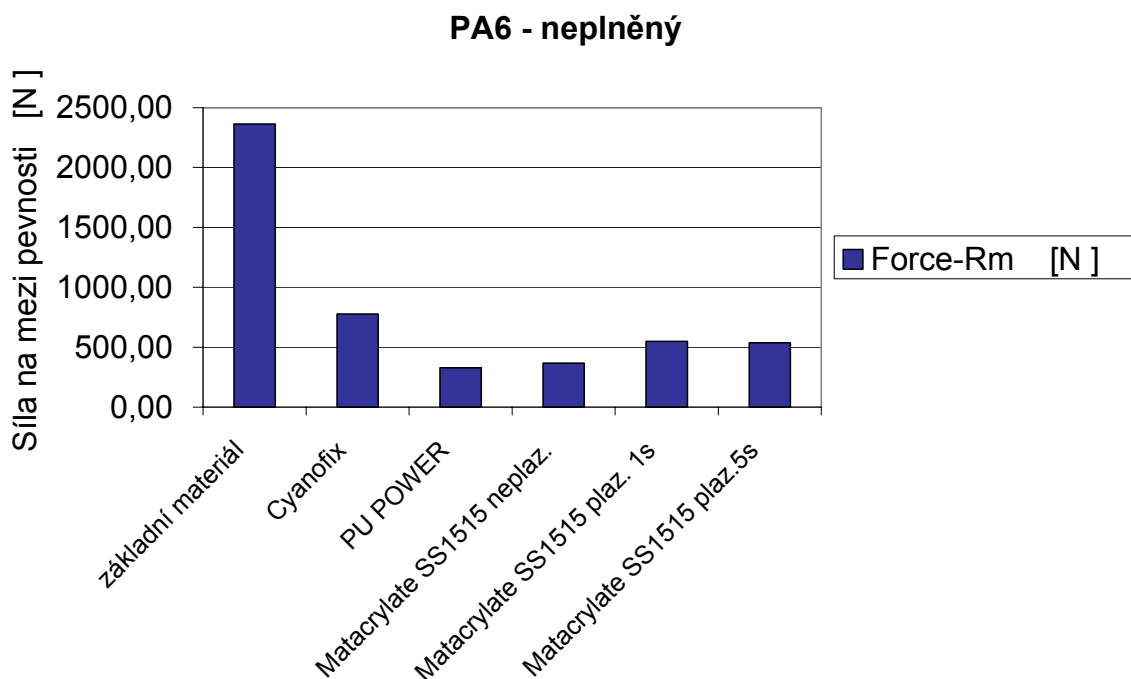
Pro měření polymerních materiálů bylo vybráno devět typů (PET, PA6 – nepl, PS, PP, PC – pln, PC – nepl, PE, PA66 – pln, PA66 nepln.). Při lepení spojů polymerních bylo aplikováno celkem šest typů lepidel (tab. XXIV) kde, tři typy lepidel byla lepidla jednosložková a další tři typy byla lepidla dvousložková. Byla posuzována maximální síla na mezi pevnosti lepeného spoje pro každý typ lepidla. Soubor měření byl statisticky zpracován a graficky znázorněn. U vybraných typů polymerních materiálů byl jejich povrch plazmován po dobu jedné a pěti sekund. Použití plazmy mělo zlepšit přilnavost lepidla k lepenému povrchu.

U polymerního materiálu PA6 – plněného skelnými vlákny byla maximální síla lepeného spoje naměřena u jednosložkového Cyanofix. Není nižší hodnota maximální síly byla naměřena u kontaktního lepidla UHU Power. Při porovnání maximální síly dosažené u lepeného spoje a základního materiálu vyplynulo, že maximální síla lepeného spoje zdaleka nedosahuje síly základního materiálu obr. 46.



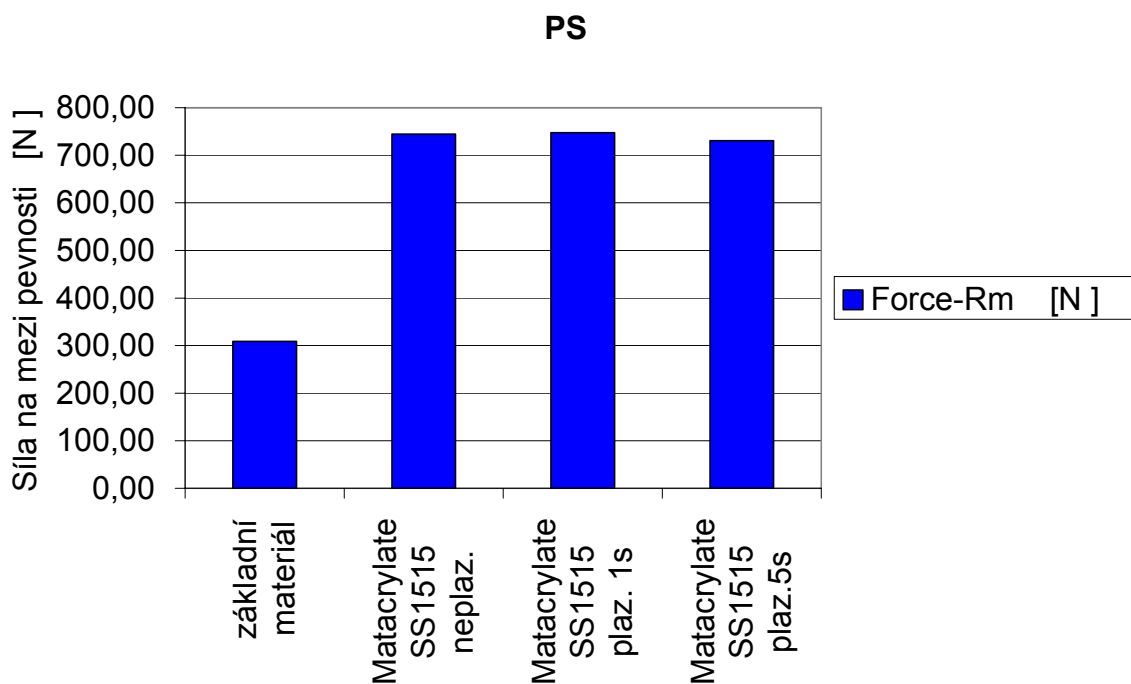
Obr. 46. Srovnání síly na mezi pevnosti PA6 – plněného

U polymerního materiálu PA6 – neplněného byla maximální síla lepeného spoje naměřena u jednosložkového Cyanofix. Nenižší hodnota maximální síly byla naměřena u kontaktního lepidla UHU Power. Při porovnání maximální síly dosažené u lepeného spoje a základního materiálu vyplynulo, že maximální síla lepeného spoje zdaleka nedosahuje síly základního materiálu obr. 47. Z obrázku je rovněž patrný nárůst maximální síly u oplazmovaného povrchu u lepidla SS 1515.



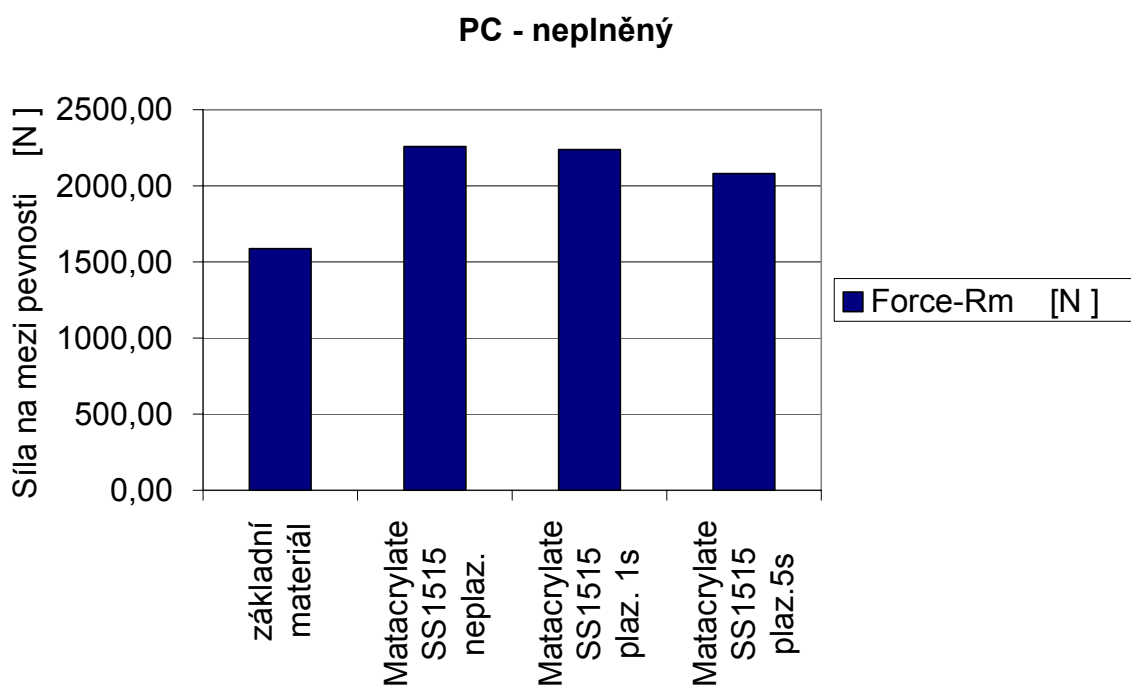
Obr. 47. Srovnání síly na mezi pevnosti PA6 – neplněného

U polymerního materiálu PS byla maximální síla lepeného spoje naměřena u dvousložkového lepidla SS 1515, kde povrch PS byl oplazmován po dobu jedné sekundy.. Nenižší hodnota maximální síly byla naměřena u dvousložkového lepidla SS 1515, kde povrch součásti byl plazmován po dobu 5s. Při porovnání maximální síly dosažené u lepeného spoje a základního materiálu vyplynulo, že maximální síla lepeného spoje je výrazně vyšší než síla základního materiálu obr. 48.



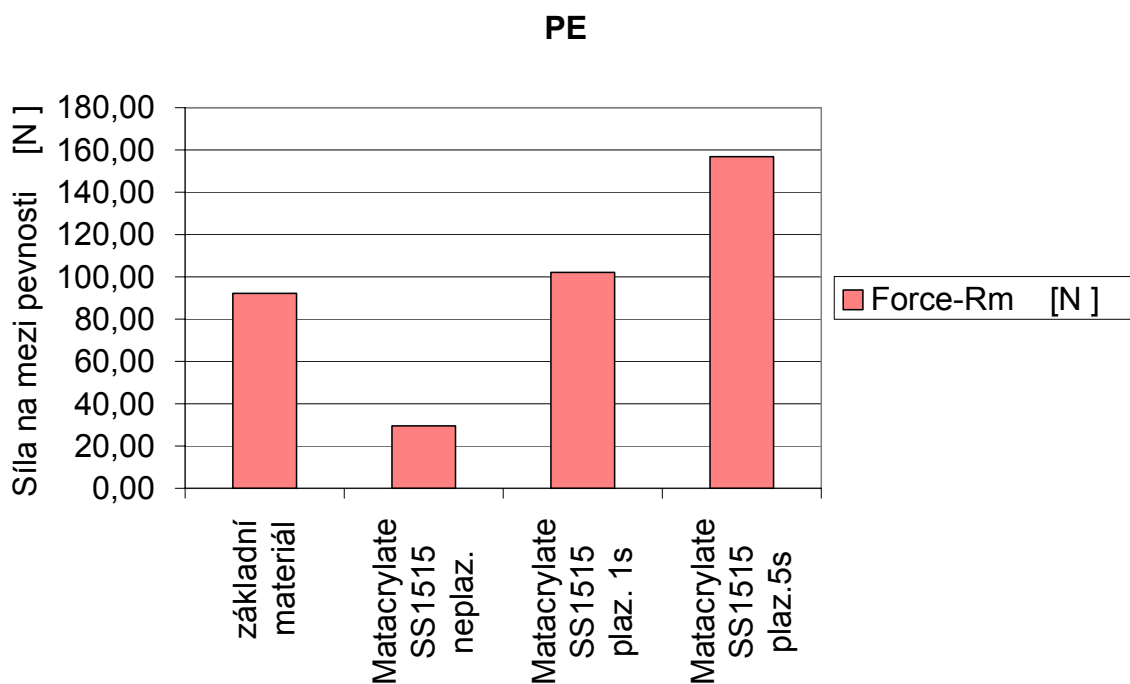
Obr. 48. Srovnání síly na mezi pevnosti PS

U polymerního materiálu PC - neplněný byla maximální síla lepeného spoje naměřena u dvousložkového lepidla SS 1515, kde povrch PS byl oplazmován po dobu jedné sekundy.. Není nižší hodnota maximální síly byla naměřena u dvousložkového lepidla SS 1515, kde povrch součásti byl plazmován po dobu 5s. Při porovnání maximální síly dosažené u lepeného spoje a základního materiálu vyplynulo, že maximální síla lepeného spoje je výrazně vyšší než síla základního materiálu obr. 49.



Obr. 49. Srovnání síly na mezi pevnosti PC - neplněného

U polymerního materiálu PE byla maximální síla lepeného spoje naměřena u dvousložkového lepidla SS 1515, kde povrch PS byl oplazmován po dobu 5s.. Není nižší hodnota maximální síly byla naměřena u dvousložkového lepidla SS 1515, kde povrch součásti nebyl plazmován. Při porovnání maximální síly dosažené u lepeného spoje a základního materiálu vyplynulo, že maximální síla lepeného spoje je výrazně vyšší než síla základního materiálu obr. 50.



Obr. 50. Srovnání síly na mezi pevnosti PE

ZÁVĚR

Diplomová práce řeší problém použití různých typů jednosložkových a dvousložkových lepidel pro lepení kovů a termoplastů. Byly provedeny zkoušky pevnosti lepených spojů jak u kovů, tak i u termoplastů. Bylo prokázáno, že při výběru vhodného typu lepidla je nutné zvážit aplikační oblast, požadavky na pevnost spoje, teplotní zatížení, způsob vytvrzování apod. Zvláštní pozornost zasluhuje i příprava lepených míst, jak z hlediska vlastní úpravy povrchu tak z hlediska konstrukčního uspořádání lepeného spoje. Byl rovněž prokázán souvislost mezi adhezí lepidla a plazmovaným povrchem. Rovněž bylo zjištěno, že některé typy dvousložkových lepidel vykazují téměř stejnou pevnost jako je pevnost základního materiálu. To bylo potvrzeno kovů i termoplastů. Můžeme říci, že pevnost dvousložkových lepidel (speciálních lepidel) je mnohonásobně vyšší než pevnost běžně dostupných jednosložkových lepidel.

7 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr.1. Způsoby lepení plošných těles

Obr. 2. Rozložení napětí v překryvném lepeném spoji

Obr. 3. Závislost pevnosti spoje na délce překrytí

Obr. 4. Obecný průběh závislosti pevnosti ve smyku na tloušťce adhezni vrstvy

Obr.5. Závislost meze pevnosti ve smyku na činiteli tvaru

Obr.6. Pevnost ve smyku podle ČSN 66 8510

Obr.7. Pevnost lámavosti podle ČSN 66 8511

Obr.8. Pevnost v odlupování podle Wintera ČSN 66 8516

Obr.9. Rázová zkouška podle ČSN 66 8512

Obr. 10. Příprava zkušební tělíska

Obr. 11. Upravené zkušební tělísko před aplikací lepidla a po aplikaci lepidla

Obr. 12. Vstříkovací stroj ARBURG ALLROUNDER 420C

Obr.13 Zkušební vzorky „lopatky“ a „tyčinky“ – zleva: PS, PP, PC,PE, PA-pln., PA-nepl.

Obr.14. Průběh dotlaku PP

Obr.15. Průběh dotlaku PA6-N

Obr.16. Průběh dotlaku PA6-P

Obr.17. Průběh dotlaku PE

Obr.18. Průběh dotlaku PS

Obr. 19. Příprava zkušebních tělísek z polymerního materiálu

Obr.20. Pistolový aplikátor pro nanášení 1K lepidel

Obr. 21. Speciální pistolový aplikátor se statickým mixérem pro nanášení 2K lepidel

Obr. 22. Statické míchací zařízení

Obr. 23. Proces míchání 2K lepidel ve statickém mixéru

Obr. 24. Vytvrzující proces u 2K lepidel s ukázkou distančních vložek

Obr. 25. Zkušební stroj Zwick 145 665

Obr.26. Srovnání síly na mezi pevnosti lepidla Cyanofix

Obr. 27. Srovnání síly na mezi pevnosti lepidla UHU METALL

Obr. 28. Srovnání síly na mezi pevnosti lepidla SOUDAL 48

Obr. 29. Srovnání síly na mezi pevnosti lepidla UHU POWER

Obr.30. Srovnání síly na mezi pevnosti lepidla SS 1515

Obr.31. Srovnání síly na mezi pevnosti lepidla EPOXY STANDARD

Obr.32. Srovnání síly na mezi pevnosti lepidla EPOXY TENKÁ VRSTVA

Obr.33. Srovnání síly na mezi pevnosti lepidla SS 315 BLACK

Obr.34. Srovnání síly na mezi pevnosti u pozinkovaného plechu

Obr.35. Srovnání síly na mezi pevnosti u ocelového plechu

Obr.36. Srovnání síly na mezi pevnosti lepidla Cyanofix

Obr.37. Srovnání síly na mezi pevnosti u lepidla UHU POWER

Obr.38. Srovnání síly na mezi pevnosti lepidla SPECIÁLNÍ LEP. PP

Obr.39. Srovnání síly na mezi pevnosti lepidla SS 1515

Obr. 40. Srovnání síly na mezi pevnosti lepidla SS 1515

Obr. 41. Srovnání napětí na mezi pevnosti lepidla Cyanofix

Obr. 42. Srovnání napětí na mezi pevnosti lepidla SS 1515

Obr. 43. Srovnání napětí na mezi pevnosti lepidla LORD 310

Obr. 44. Srovnání napětí na mezi pevnosti lepidla SOUDAL 48A

Obr. 45. Srovnání síly na mezi pevnosti lepidla UHU

Obr. 46. Srovnání síly na mezi pevnosti PA6 – plněného

Obr. 47. Srovnání síly na mezi pevnosti PA6 – neplněného

Obr. 48. Srovnání síly na mezi pevnosti PS

Obr. 49. Srovnání síly na mezi pevnosti PC – neplněného

Obr. 50. Srovnání síly na mezi pevnosti PE

8 SEZNAM TABULEK

Tab. I Vlastnosti serie SS1500 adhesiv při 24°C

Tab. II Vlastnosti serie SS300 adhesiv při 24°C

Tab. III Vytvrzovací doby při různých teplotách lepidla Epoxy 1001

TAB III. Přehled použitých lepidel a materiálů

Tab. IV. Analýza profilu PP

Tab. V. Analýza profilu PA6-N

Tab. VI. Analýza profilu PA6-P

Tab. VII. Analýza profilu PE

Tab. VIII. Analýza profilu PC

Tab. IX. Analýza profilu PS

TAB. X. Hodnoty síly na mezi pevnosti u lepidla Cyanofix

TAB. XI. Hodnoty síly na mezi pevnosti u lepidla UHU Metall

TAB. XII. Hodnoty síly na mezi pevnosti u lepidla SUDAL 48A

TAB. XIII. Hodnoty síly na mezi pevnosti u lepidla UHU POWER

TAB. XIV. Hodnoty síly na mezi pevnosti u lepidla SS 1515

TAB. XV. Hodnoty síly na mezi pevnosti u lepidla EPOXY STANDARD

TAB. XVI. Hodnoty síly na mezi pevnosti u lepidla SS 315 BLACK

TAB. XVII. Hodnoty síly na mezi pevnosti Pozinkovaného plechu

TAB. XVII. Hodnoty síly na mezi pevnosti u ocelového plechu

TAB. XIX. Hodnoty síly na mezi pevnosti u lepidla Cyanofix

TAB. XX. Hodnoty síly na mezi pevnosti u lepidla UHU POWER

TAB. XXI. Hodnoty síly na mezi pevnosti u lepidla SPEC. PP

TAB. XXII. Hodnoty síly na mezi pevnosti u lepidla SS 1515

TAB. XXIII. Hodnoty síly na mezi pevnosti u lepidla SS 1515

TAB. XXIV. Přehled použitých lepidel a materiálů

9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] www.fch.vubr.cz

[2] Ing : Jindřich Peterka : Lepení kondrukčních materiálů ve strojírenství,
SNTL – nakladatelství technické literatury, Praha, 1980

[3] www.azktrade.cz

[4] ING.Miloslav Lidařík, Jaromír Kincl, Vilém Roth, Anatol Bring :
Epoxidové Pyskiřice, SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha,
Bratislava 1961

[5] M.Osten : Prace s lepidly a tmely – SNTL – Nakladatelství technické
literatury , Praha, Bratislava 1975

[6] Prof. Kaštánek : Polymerní materiály

[7] www.vav.cz