

Lepení kovů

Lukáš Klusáček

Bakalářská práce
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš KLUSÁČEK**
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Lepení kovů**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracování literární studie na dané téma
2. Příprava zkušebních tělísek
3. Provedení zkoušky pevnosti lepených spojů
4. Vyhodnocení naměřených výsledků

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího BP

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. David Mañas, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

19. února 2010

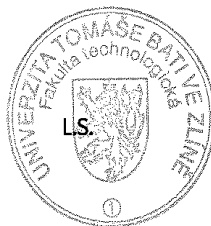
Termín odevzdání bakalářské práce:

2. června 2010

Ve Zlíně dne 15. ledna 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Mañas, CSc.
vedoucí katedry

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

.....

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 nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá technologií lepení kovů. Jsou zde shrnuty základní postupy v přípravě a konstrukci spojů, jejich výhody a nevýhody a základní rozdělení zkoušek pevnosti lepeného spoje. V praktické části je provedena zkouška namáháním ve smyku různých materiálů, spojených různými lepidly, a porovnání jejich pevnosti.

Klíčová slova:

lepení kovů, lepidla, adheze, koheze, pevnost lepeného spoje

ABSTRACT

Keywords: This work is dealing with technology of adhesive bonding. There are summarizing basic progresses of preparation and construction of joints, their advantages and disadvantages and basic types of tests of strength of glue joint. In practical parts is performed a test by shear stress of various metal plates, glued by different adhesives and comparing their strength.

Keywords:

adhesive bonding, adhesives, adhesion, cohesion, strength of glue joint

Poděkování

Děkuji tímto vedoucímu bakalářské práce Ing. Davidu Maňasovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky k této práci. Dále bych rád poděkoval zaměstnancům firmy SIKA CZ s.r.o. v Brně za poskytnuté informace a materiály v oblasti lepení kovů.

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

OBSAH

I	TEORETICKÁ ČÁST	11
1	TECHNOLOGIE LEPENÍ.....	12
1.1	ZÁKLADNÍ POJMY	12
1.2	ZÁKLADY TEORIE LEPENÍ.....	13
1.2.1	Molekulová teorie (adsorpční)	14
1.2.2	Elektrostatická teorie.....	15
1.2.3	Difúzní teorie	15
1.2.4	Chemická teorie.....	15
1.2.5	Reologická teorie.....	15
2	TECHNOLOGICKÝ POSTUP LEPENÍ.....	17
2.1	KONSTRUKCE LEPENÝCH SPOJŮ.....	17
2.2	VOLBA MATERIÁLŮ	18
2.3	VLASTNÍ TECHNOLOGICKÝ POSTUP LEPENÍ	20
2.4	PŘÍPRAVA POVRCHU ADHERENTU	20
2.4.1	Fyzikální operace	20
2.4.2	Chemické operace	21
2.5	PŘÍPRAVA LEPIDLA	21
2.5.1	Druh lepidla.....	21
2.5.2	Stav lepidla po uskladnění	22
2.5.3	Způsob nanášení.....	22
2.5.4	Způsob vytvrzování.....	22
2.6	MONTÁŽ SPOJE.....	23
2.6.1	Utvoření mechanických podmínek.....	24
2.6.2	Utvoření podmínek pro vznik adhezních vazeb.....	24
3	ROZDĚLENÍ LEPIDEL	25
3.1.1	Rozdělení podle chemické báze	25
3.1.2	Rozdělení lepidel podle principu tuhnutí ve spoji.....	25
4	VLASTNOSTI SPOJE.....	26
4.1.1	Tepelná odolnost	26
4.1.2	Chemická odolnost.....	26
4.1.3	Pevnost při daném namáhání.....	26
4.1.4	Životnost, spolehlivost a bezpečnost.....	27

4.2	VÝHODY A NEVÝHODY LEPENÍ KOVŮ	27
4.2.1	Výhody	27
4.2.2	Nevýhody	28
4.2.3	Porovnání základních způsobů spojování kovů podle pevnosti spoje	28
4.2.4	Ekonomické aspekty.....	29
5	PEVNOST LEPENÝCH SPOJŮ	30
5.1	PORUCHY LEPENÝCH SPOJŮ	32
5.2	NEJČASTĚJŠÍ PŘÍČINY PORUCH LEPENÝCH SPOJŮ	33
6	ZKOUŠKY LEPENÝCH SPOJŮ	35
6.1	ROZDĚLENÍ ZKOUŠEK	35
6.1.1	Destruktivní zkoušky.....	35
6.1.2	Nedestruktivní zkoušky.....	37
6.2	ZÁKLADNÍ MECHANICKÉ ZKOUŠKY	37
6.2.1	Zkušební zařízení	38
6.2.2	Zkouška tahem	39
6.2.3	Smluvní diagram napětí-deformace	39
6.2.4	Určení smluvní meze pevnosti	40
6.2.5	Určení meze kluzu.....	41
II	PRAKTICKÁ ČÁST	42
7	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	43
7.1	CÍL LABORATORNÍCH TESTŮ	43
7.2	PŘÍPRAVA A PROVEDENÍ	43
7.3	VYHODNOCENÍ	45
7.4	DISKUZE VÝSLEDKŮ	55
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	59
	SEZNAM OBRÁZKŮ	60
	SEZNAM TABULEK.....	61
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	62

Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá technologií lepení kovů a pevností lepených spojů za vysoké teploty. V praktické části jsou použita lepidla, která se v praxi skutečně používají.

Lepení je proces spojování materiálů (adherentů), při kterém je dosaženo jejich trvalého spojení pomocí lepidel (adheziv). Lepidlo můžeme definovat jako látku schopnou vytvořit trvalé spojení mezi dvěma materiály. Spojovat lze materiály jak stejné, tak i materiály různé. Lepení neboli adheze je v podstatě síla, která slouží ke spojení dvou látek na rozhraní jejich povrchů.

V současnosti se technologie lepení stala jednou ze základních technologií spojování kovů v mnoha průmyslových odvětvích. Ve srovnání s jinými technologiemi má lepení kovů řadu výhod. Předně téměř nikdy není při lepení, mimo chemické účinky, ovlivněn základní materiál lepeného spoje (oproti svarům, vrubům, nýtování atd.), vysoká pevnost, těsnost spojů, odolnost vůči korozi, možnost spojování různých kovových materiálů, možnost spojování velmi tenkých kovových materiálů, lepené spoje mohou mít velmi dobrou tepelnou, zvukovou a elektrickou izolaci, ale také elektrickou vodivost. Lepené spoje se často používají pro spojování slitin lehkých kovů a lepení neželezných kovů. Tyto spoje mohou mít někdy vyšší pevnost než spoje svarové. Důležitým faktorem lepených spojů je jejich vysoká bezpečnost při poruše.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNOLOGIE LEPENÍ

1.1 Základní pojmy

Celková kvalita lepeného spoje je závislá především na dvou nejdůležitějších faktorech:

adhezi a kohezi.

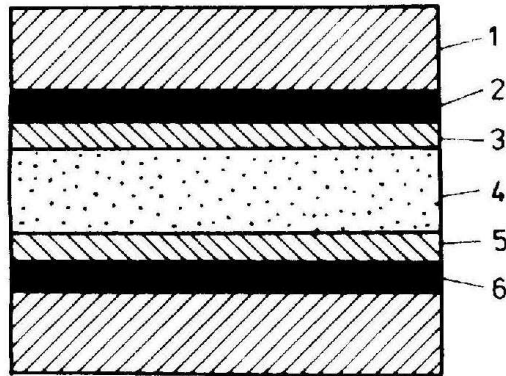
Adheze (přilnavost) je schopnost lepidla (adheziva) dostatečně přilnout k povrchu spojovaného materiálu neboli vzájemné přitahování těchto dvou povrchů adhezními silami. Adheze může vzniknout dvojím způsobem, mechanickou vazbou nebo chemickou vazbou. Mechanická vazba se více uplatní u pórovitých materiálů, lepidlo zde zatéká do nerovností a po ztuhnutí vytvoří jakési ukotvení lepidla ve spojovaném materiálu. Chemická vazba se více uplatní u materiálů s jemným a hladkým povrchem, kde lepidlo přímo chemicky reaguje s povrchem adherentu. Dobře se tak lepí materiály, které mají reaktivní povrch. Jestliže lepidlo nemá schopnost navázat adhezní spojení mezi spojovaným materiálem a lepidlem, spoj se rozlepí na rozhraní lepidlo – lepený materiál, a lepidlo je v tomto případě nepoužitelné.

Koheze tzv. vnitřní adheze, znamená soudržnost. Udává pevnost vlastního lepidla. Charakterizuje stav látky (lepidla), ve kterém drží její částice pohromadě působením mezimolekulárních a valenčních sil (van der Waalsovo přitahování).

- velikost koheze je dána tzv. kohezní energií, která je potřebná k odtržení jedné částičky lepidla od druhé.

Dalším neméně důležitým faktorem při lepení je **smáčivost**. Smáčivost charakterizuje povrchové napětí lepidla. Má-li lepidlo smáčet povrch adherentu, musí být jeho hodnota povrchového napětí menší než hodnota povrchového napětí adherentu. Pokud má lepidlo vyšší hodnotu napětí, nedojde ke smočení a lepidlo se na adherentu neudrží a nevytvoří tak vhodné podmínky pro spojení. [7]

Z hlediska vnitřní struktury můžeme každý lepený spoj, konstrukčně pevný a dostatečně odolný, rozložit do tří hlavních vrstev a do dvou mikrovrstev (obr. 1.).



Obr. 1 Struktura lepeného spoje

- | | |
|----------------------------|----------------------------|
| 1. adherent | 4. kohezní zóna |
| 2. adhezní zóna | 5. přechodová kohezní zóna |
| 3. přechodová adhezní zóna | 6. adhezní zóna |

1.2 Základy teorie lepení

Teorie lepení (adhezní spojování dílů) se opírá o vztahy molekul a jejich vzájemného působení. Adheze tedy souvisí s molekulovou strukturou, budou se tedy při ní uplatňovat fyzikální síly, chemické vazby a mezimolekulární síly.

V současnosti se nejčastěji citují tyto teorie adheze:

- molekulová teorie
- elektrostatická teorie
- difúzní teorie
- chemická teorie
- reologická teorie

Často se zmiňuje ještě pojem **mechanická teorie**, která se však používá sporadicky jen ve specifických případech, jako je například adheze pryžových směsí k textilním vláknům či výroba překližek.

Tato teorie vychází z předpokladu, že po proniknutí kapalného adheziva do trhlin a nerovností povrchu lepeného materiálu, dojde k jeho zatuhnutí (zaklínění) v povrchu tohoto adherentu. Pevnost takového spoje je dána především mechanickými vlastnostmi lepidla. V technologii lepení však má své místo. [1]

Pro všechny teorie je společné že:

- molekuly lepidla a adherentu musejí být dostatečně blízko, aby mohlo dojít k adhezi
- lepidlo musí být nanášeno v určité vrstvě, v určitém čase a v kapalném stavu (orientace molekul)
- adheze je ovlivněna velikostí molekul
- tlak, teplota a lisovací čas zlepšují adhezi

1.2.1 Molekulová teorie (adsorpční)

Základem adheze je vzájemné působení molekul adherentu a adheziva, proto je nevyhnutelné aby oba druhy molekul měly polární funkční skupiny schopné vzájemného působení.

Proces vzniku adhezního spoje lze rozdělit na dvě stadia:

- transport molekul adheziva k povrchu adherentu
- vzájemné působení mezimolekulárních sil (van der Waalsovy) po přiblížení se molekul adheziva na vzdálenost menší než 0,5 nm. Tento proces trvá až do dosažení adsorpční rovnováhy.

Míra pevnosti závisí od počtu funkčních skupin. Za předpokladu dostatečného kontaktu (na molekulární úrovni) adherentu a adheziva postačují van der Waalsovy síly, vzhledem ke své četnosti, k dobré pevnosti adhezního spojení. Příčina malé pevnosti je především spatřována v omezeném kontaktu adherentu a adheziva, a proto úzce souvisí s dokonalostí smáčení povrchu adherentu adhezivem. [1]

1.2.2 Elektrostatická teorie

Tato teorie předpokládá dvojitou vrstvu vytvořenou dotykem dvou rozličných substancí ve spoji jako základ pro vznik adheze. Podle toho je spoj kondenzátorem, kterého rozdílně nabitě desky se přitahují. Jakmile je oddělíme, vzniklý potenciálový rozdíl se musí vybit nebo vyzářit jako elektronová emise. Zatím však nebyl prokázán vzájemný vztah mezi velikostí povrchového elektrostatického náboje a pevností adhezních spojení. [1]

1.2.3 Difúzní teorie

Podle této teorie pevnost spoje vzniká vzájemnou difúzí polymerů (nebo jiných materiálů) napříč rozhraním. Základem tohoto tvrzení je skutečnost, že některé látky (např. polymery) mohou navzájem difundovat a průběh této difúze, který závisí především na čase, teplotě, viskozitě, kompatibilitě adherentu a adheziva, relativní molekulové hmotnosti polymerů, ovlivňuje pevnost spoje.

Tato teorie však nevysvětluje možnost spojení materiálů, které vzájemně nedifundují, ale úspěšně se lepí (např. kov-sklo). [1]

1.2.4 Chemická teorie

Pro získání pevného spoje, který nebude vykazovat adhezivní, ale jen kohezní lom je podle této teorie potřebné, aby materiály, které se mají navzájem spojit, reagovaly vytvořením primárních chemických (kovalentních) vazeb napříč rozhraním. Takové vazby sice někdy vznikají, všeobecně však lepení probíhá v termodynamických podmínkách, které vznik chemických vazeb neumožňují. Vzniknou-li tyto vazby, nelze jednoznačně tvrdit, že zvyšují pevnost spoje, neboť snahy zavést do adheziv či adherentů reakceschopné funkční skupiny často nevedly ke zlepšení vlastností adhezního spoje. [1]

1.2.5 Reologická teorie

Je to nejnovější teorie, podle které může cokoliv způsobit adhezi na rozhraní dvou materiálů, pevnost spoje je dána zásadně fyzikálně-mechanickými a reologickými vlastnostmi materiálů, které vytváří lepený spoj. Při zkoumání lomů se zjistilo, že roztržení spoje nikdy neproběhlo na jeho rozhraní, ale v jednom nebo v druhém materiálu, tedy lom je kohezní. Koheze má proto velký význam. Z toho vyplývá, že pevnost spoje je dána mechanickými vlastnostmi materiálů tvořících spoj a místními napětími ve spoji a ne mezifázovými silami.

mi, protože lom je v podstatě vždy kohezní. Toto vysvětlení neřeší příčinu vzniku spoje, ale umožňuje realistické výpočty pevnosti spoje. [1]

2 TECHNOLOGICKÝ POSTUP LEPENÍ

Na základě znalostí teorie lepení můžeme postavit základní podmínky na vytvoření kvalitního lepeného spoje:

- správný návrh konstrukce spoje
- správná volba materiálů (adherent, adhezivum)
- vhodná povrchová úprava materiálů
- dodržování předepsaného postupu použití zvoleného lepidla
- vytvoření dokonalých mechanických a fyzikálně-chemických podmínek pro vznik pevných vazeb

Z technického hlediska musí konstruktér ještě rozpoznávat lepení průmyslové a příležitostní a dále lepení sériové a kusové, které se především liší použitým zařízením, množstvím použitého lepidla a jednotlivými postupy (odmašťování, nanášení lepidla apod.).

2.1 Konstrukce lepených spojů

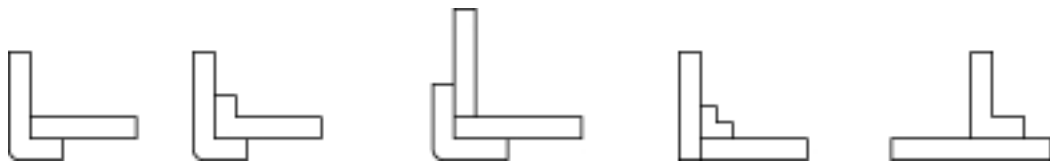
Protože většina konstrukčních lepidel má velmi dobrou pevnost ve smyku, ale jen malou pevnost v odlupování je potřeba těmto namáháním předcházet nebo se jim úplně vyhnout vhodnou konstrukcí spoje.

Abychom dosáhli požadovanou pevnost, musíme respektovat tyto základní principy:

- největší pevnost spoje se musí orientovat ve směru maximálního namáhání
- plocha lepeného spoje musí být dostatečně velká
- lepící vrstva musí být rovnoměrná, souvislá a v požadované tloušťce
- koncentraci napětí se snažíme snížit na minimum. [1]

Lepenou konstrukci je třeba rozdělit na části co nejméně složité a vhodné na lepení. Třeba se vyhnout dvojitému lepení. Není vhodné lepit dílce, které jsou při montáži vystavené odlupujícím silám. Na lepení se nehodí dílce s velkým a složitým zakřivením. Mechanické namáhání musí být rozděleno rovnoměrně a nesoustředilo se pouze v místě spoje. Spoj má

být namáhán ve smyku a v tahu (pokud jsou spojované plochy dostatečně velké) a minimálně namáhán v odlupování. Lepené materiály by měli mít v místě spoje stejné nebo podobné koeficienty roztažnosti. Nejběžnější jsou jednoducho přeplátované spoje. Po lepení se můžou v místě spoje vrtat otvory pro nýtování. Lepidlo si konstruktér vybírá podle požadované pevnosti spoje, dle technologie zpracování a samozřejmě dle ceny. Pevnost spoje je přímo úměrná šířce spoje na rozdíl od délky překrytí. Pevnost spoje je dána nejen velikostí překrytí, ale i pevností adherentu.



Obr. 2 Koutové spoje



Obr. 3 Přeplátované spoje

2.2 Volba materiálů

Při volbě materiálů se přihlíží na jejich chemické složení, polaritu, mechanické, povrchové, fyzikální a chemicko-fyzikální vlastnosti. Získané údaje o materiálu jsou důležité pro výběr správného lepidla.

Materiály adherentů, které mají vyšší pevnost v předpokládaném způsobu namáhání např. v ohybu, dávají také vyšší pevnost spoje při tomto namáhání.

V případě lepidel jsou to chemické složení, viskozita lepidla, povrchové napětí, bod vzplanutí, způsob vytvrzování, tepelná roztažnost a mechanické vlastnosti. Sledujeme také pokles pevnosti v závislosti na teplotě. Velmi významná je i hodnota smrštění lepidla při vy-

tvrzování. Smrštěním lepidla mohou vzniknout napětí, které snižují celkovou pevnost spoje.

Nejzákladnějším pravidlem pro výběr lepidla je požadavek, že lepidlo se musí svými vlastnostmi co nejvíce přibližovat lepeným materiálům, nebo že musí představovat vhodný kompromis.

Z tohoto základního kritéria vyplývají následující požadavky:

- koheze a jeho adheze k adherentu má být tak velká, jaká se dá maximálně dosáhnout, nemá být ovšem menší jak 10% kohezní síly lepeného materiálu
- konstanty elasticity (modul pružnosti apod.) mají být rovnocenné nebo co možná nejvíce přibližné adherentu
- vlastnosti z bodu 1 a 2 by se neměli velmi měnit v širokém rozsahu teplot (průměrně od -30°C do +80 °C)
- lepidlo má mít maximální odolnost proti okolním podmínkám. Za nejzákladnější vlastnost z tohoto hlediska lze považovat pokles adheze a koheze vlivem venkovních podmínek, důležitá je též minimální navlhavost a propustnost látek z okolí, odolnost proti chemickým a biologickým činidlům a proti vlivu teploty. Lepidlo má být odolné také proti vlivům samotného adherentu (změkčovadla a jiné složky adherentu)
- lepidlo se má při tvrdnutí minimálně smršťovat
- lepidlo má mít vhodné elektrické vlastnosti (izolační schopnost resp. vodivost) z hlediska vzniku elektrických článků a současně odolnost proti zplodinám při vzniku elektrického článku
- lepidlo nesmí při tvrdnutí uvolňovat látky, které by mohly korozivně nebo jinak ovlivnit adherent
- lepidlo má vyžadovat minimální úpravy a zásahy před lepením
- vytvrzování lepidla má být co nejjednodušší
- lepidlo má mít dlouhou dobu skladovatelnosti a má se snadno nanášet (pokud možno více způsoby). [1]

2.3 Vlastní technologický postup lepení

- příprava povrchu adherentu
- příprava lepidla
- nanášení lepidla
- montáž spoje

2.4 Příprava povrchu adherentu

Příprava povrchu před samotným lepením je důležitým krokem pro dosažení maximální adheze a tím i požadované pevnosti. Adheze závisí na poměrech na rozhraní adherent-adhezivum. Rozhodujícím faktorem je zde smáčivost povrchu adherentu adhezivem. Cílem úpravy povrchu adherentu je dosáhnout maximální možné smáčivosti vybraným lepidlem. Tím se utváří co nejlepší podmínky pro dotyk lepidla s povrchem adherentu a vznikají předpoklady pro vznik adhezních vazeb. Čím větší část plochy se zúčastňuje vytváření těchto vazeb a čím větší je počet vazeb, tím větší je pevnost spoje. [1]

Při přípravě povrchů je důležité, aby na povrchu lepeného dílce nezůstaly žádné látky, vrstvy a nerovnosti, které by zhoršovaly přilnutí vrstvy lepidla. K dosažení optimálních vlastností povrchu lepeného dílce používáme v praxi fyzikálních a chemických operací:

2.4.1 Fyzikální operace

- mechanické: broušení
 - tryskání
 - pískování
 - kartáčování
 - obrábění
- jiné fyzikální operace: ozařování (ultrafialové, infračervené....)
 - iontové bombardování
 - ultrazvukové čištění

2.4.2 Chemické operace

odmašťování, moření, fosfátování, primery

Do první skupiny fyzikálních operací řadíme takové, kterými dosahujeme vyrovnávání hrubých povrchových nerovností a odstraňování nečistot. Druhá skupina fyzikálních operací se více zaměřuje na zvýšení adheze.

Podobně můžeme rozdělit i chemické operace, kde odmašťování odstraňuje hrubé nečistoty a antiadhezivní vrstvy a např. mořením zvyšujeme adhezi.

Povrchová úprava se navrhuje podle druhu a stavu lepeného materiálu, podle druhu použitého lepidla, podle provozních podmínek a životnosti spoje a podle výrobních nákladů.

Z hlediska kvality spojů je také důležitá drsnost povrchů. Právě při lepení kovů jsou vidět rozdíly hodnot pevnosti, při použití různých povrchových úprav. S lepením by se mělo začínat ihned po dokončení úprav povrchu. Rozdíl při lepení téhož kovu může být při lepení stejným lepidlem podle druhu použité povrchové úpravy před lepením až 90% pevnosti spoje ve smyku. [8]

2.5 Příprava lepidla

Způsob přípravy lepidla závisí na čtyřech základních faktorech:

- druhu lepidla
- stavu lepidla po uskladnění
- způsobu nanášení
- způsobu vytvrzování

Ve všech případech platí, že je nutné dodržovat předpis výrobce lepidla.

2.5.1 Druh lepidla

Sem patří charakteristiky, jako je: chemická struktura, počet složek, fyzikální stav (tekuté, práškové), životnost lepidla

Z těchto charakteristik zjistíme, jestli potřebujeme rozpouštědlo a jaké, zda je potřebné smíchat více složek, potřebujeme-li nějaké pomůcky, je-li potřeba zdroj tepla, abychom dostali lepidlo do tekutého stavu, případně jaké nanášecí zařízení budeme potřebovat.

2.5.2 Stav lepidla po uskladnění

Čas, po který lze lepidlo skladovat, a při jakých podmínkách určuje výrobce. V průběhu skladování však dochází ke změnám počátečního stavu lepidla. Změny se obvykle projevují v hustnutí, sedimentaci tuhých složek, vytvořením „škraloupu“ na povrchu nebo zvýšením nebo snížením reaktivity lepidla. Podle stavu, v kterém se lepidlo před použitím nachází, volíme operace, kterými ho dostaneme do stavu, v kterém ho můžeme použít.

V každém případě lepidlo nesmí obsahovat nežádoucí tuhé složky a musí být dokonale homogenní. Při delším skladování zkusíme také jeho reaktivitu, která může být nízká, což způsobuje zpomalení technologického procesu, nebo vysoká, tj. lepidlo začne „želatínovat“ už během nanášení. V takovém případě nelze lepidlo použít. [1]

2.5.3 Způsob nanášení

Cílem nanesení lepidla je vytvoření souvislé a rovnoměrné vrstvy určité tloušťky, ta je závislá na vlastnostech lepidla, lepených materiálů a způsobů vytvrzování.

Způsob nanášení závisí především na velikosti a tvaru spojovaného materiálu. Tomu přizpůsobujeme prostředky, kterým lepidlo nanášíme a těmto prostředkům přizpůsobujeme lepidlo do vhodného stavu upravováním technologických vlastností. Může také dojít ke kompromisu a postupujeme opačně a nanášecí prostředky přizpůsobíme lepidlu.

Způsob nanášení je tedy daný nanášecími prostředky, které jsou rozdílné podle druhu spoje, jeho konstrukce a viskozity lepidla. Používají se k tomu štetce, tuby, stříkací pistole, polévací a namáčecí zařízení, válečkové nanášecí systémy. [1]

2.5.4 Způsob vytvrzování

Způsob vytvrzování závisí od druhu lepidla. Je nutné znát jaké teploty a tlaky, to které lepidlo potřebuje pro správné tuhnutí a vytvoření vazeb. Zařízení a přípravky se dělí také podle toho, jaké chemické reakce při vytvrzování probíhají, jestli unikají rozpouštědla nebo

jestli tuhne tavenina. Úpravou lepidla z hlediska vytvrzování rozumíme přidávání tužidel, urychlovačů a smíchání různých složek. Nejdůležitější přípravnými operacemi z hlediska vytvrzování jsou:

- ředění
- přidávání plniv
- přidávání tvrdidel
- homogenizace a odvzdušnění

Ředění: ředěním upravujeme viskozitu a sušinu lepidla. Tyto dva parametry jsou důležité z hlediska volby optimální tloušťky vrstvy lepidla. Přidáním ředidla do sušiny měníme tedy konečnou tloušťku vrstvy lepidla.

Pro ředěné lepidlo je nutné najít takové ředidlo nebo rozpouštědlo, aby se lehce snášelo s rozpouštědly a ředidly, které už lepidlo obsahuje.

Plnění: přidáváním plniv do lepidel se ovlivňuje hlavně viskozita, změní se tloušťka lepící vrstvy a šetří se drahým lepidlem. Plnění má také za následek zvýšení tuhosti lepící vrstvy, změnu v technologii nanášení, změnu barvy lepidla, můžeme do značné míry ovlivnit tepelnou roztažnost, tepelnou a elektrickou vodivost, rychlost sušení aj. Jako plniva se používají kovové, skleněné nebo keramické prášky a ve speciálních případech, kdy má plnivo i funkci nosiče lepidla, to bývají různé řídké tkaniny.

Tvrdidla: některá lepidla se vytvrzují přidáním různých reaktivních složek (tvrdidel, urychlovačů). Přidání reaktivních složek je třeba vždy správně dávkovat. Nedostatek tvrdidla způsobí nedostatečné vytvrzení lepidla, přebytek může působit pro okolí agresivně. Dávkování reaktivních složek značně ovlivňuje pevnost spoje. Vytvrzování za vyšších teplot dává obecně spoji vyšší pevnost a je rychlejší než vytvrzování za normálních teplot.

Homogenizace a odvzdušnění: lepidla, která se skládají z více složek, musí být před nanášením dokonale smíchána a homogenizována. Používají se k tomu různá míchadla. Během míchání se do lepidla dostane vzduch, který když se následně dostane do spoje, prudce snižuje jeho pevnost.

2.6 Montáž spoje

Konečná fáze technologie lepení se zpravidla rozděluje na dvě části:

- operace na vytvoření mechanických podmínek pro vznik spoje
- operace na vytvoření podmínek pro vznik vazeb

Pro vytvoření adhezních vazeb a dosažení potřebné koheze v lepicí vrstvě je potřebná určitá teplota a tlak, který závisí na druhu lepidla.

2.6.1 Utvoření mechanických podmínek

Protože už při nanášení lepidla se projevuje viskozita, odpařování rozpouštědel nebo tuhnutí taveniny, je důležité, aby do přiložení druhé spojované části uplynul jen přesně ohraničený čas, který se označuje jako otevřený čas. Je závislý na složení lepidla, jeho reaktivitě, nánosu nebo teplotě. Od okamžiku přiložení druhé části probíhá tzv. uzavřený čas, který by měl být co nejkratší, aby lepidlo nezačalo tuhnout před vyvozením tlaku. Následuje působení tlaku, který je předepsán výrobcem lepidla. Tímto tlakem se utvoří určitá tloušťka nánosu a dosáhne se dokonalého přilnutí lepených ploch. Tlak současně pomáhá lepidlu proniknout do pórů a nerovností a zvyšuje tak mechanické ukotvení. Následuje zafixování spojovaných částí, které zamezí změně polohy, dokud neproběhne vytvrzení lepidla.

2.6.2 Utvoření podmínek pro vznik adhezních vazeb

Základní podmínky pro vytvoření vazeb se tvoří už při výběru lepidla, úpravě povrchu a lepidla. Někdy se mohou spojované části přikládat k sobě i po uběhnutí otevřeného času, ale lepicí vrstvu je nutno reaktivovat např. nanesením další vrstvy lepidla nebo působením tepla nebo rozpouštědla. Montáž spoje po uplynutí otevřeného času se používá hlavně tam, kde se spojují dva nesourodé materiály, kde si spoj vyžaduje dvě lepicí vrstvy. Lepidla tuhnou buď následkem vsakování a odpařování vody nebo rozpouštědel. Reaktivní lepidla tuhnou nebo se vytvrzují následkem chemické reakce v lepicí vrstvě vyvolané např. zvýšením teploty, přidáním tvrdidla nebo kontaktem s kovy. Tavná lepidla tuhnou, po jejich předchozím roztavení, ochlazením na normální teplotu. Nejjednodušší je vytvrzování za normálních podmínek, a pokud jsou získané pevnosti dostačující, tak se tento způsob využívá. Tomuto způsobu se i přizpůsobuje vývoj lepidel, i když je zřejmé, že vytvrzování za tepla bude běžným jevem, hlavně pro vysoko namáhané spoje. [1]

3 ROZDĚLENÍ LEPIDEL

Nejobecnější rozdělení lepidel je podle jejich: - chemické báze

- principu tuhnutí ve spoji

3.1.1 Rozdělení podle chemické báze

- lepidla na přírodní bázi

- organického původu (živočišný nebo rostlinný původ – škrobová lepidla, živočišné klihy, glutinová lepidla, kaseinová lepidla aj.)

- anorganického a minerálního původu (vodní sklo, sádra, cement, keramická lepidla, asfaltová lepidla, silikátová lepidla aj.)

- lepidla na syntetické bázi

- na bázi reaktoplastů, termoplastická, elastomerová (kaučukovitá) a směsná – epoxidová lepidla, polyuretanová lepidla, akrylátová lepidla, silikony aj.

3.1.2 Rozdělení lepidel podle principu tuhnutí ve spoji

- tuhnoucí vsáknutím nebo odpařením vody nebo rozpouštědel ve spoji

- rozpouštědlová lepidla disperzní (lepidla na vodní bázi)

- rozpouštědlová lepidla roztoková

- tavná lepidla

- lepidla stále lepivá

- lepidla reaktivní

- lepidla tuhnoucí vlivem teploty

- lepidla tuhnoucí přidáním tvrdidel

- lepidla tuhnoucí při kontaktu s kovem bez přístupu vzduchu (anaerobní lepidla)

- lepidla tuhnoucí vlivem vlhkosti prostředí. [5]

4 VLASTNOSTI SPOJE

Před samotným lepením a výběrem lepidla je důležité znát, jaké vlastnosti od lepeného spoje požadujeme. Jsou to požadavky na tepelnou odolnost, chemickou odolnost a odolnost proti vodě, pevnost při daném namáhání, životnost v daných podmínkách, bezpečnost a spolehlivost spoje (možnost havárie aj.).

4.1.1 Tepelná odolnost

Spolehlivost lepených spojů závisí od jejich odolnosti proti působení za zvýšených a snížených teplot tj. schopnost zachovat si vlastnosti i po dlouhodobém působení těchto teplot (tepelná stálost nebo odolnost proti tepelnému stárnutí) a odolnost proti náhlé změně teploty (tepelný náraz). Při změně teploty může v lepidle probíhat fázová přeměna a může se tak měnit jeho struktura. Krom toho je třeba brát do úvahy tepelné napětí ve spoji, které vzniká rozdílem v koeficientech tepelné roztažnosti lepených materiálů. [2]

4.1.2 Chemická odolnost

Lepené spoje různých materiálů podléhají do určité míry působení vody, jejím parám a chemickému ovlivnění a to snižuje jejich pevnost. Voda, která se dostává do spoje, způsobuje nabobtnávání respektive vysychání lepidla, což vyvolává napětí ve spoji, které pak působí jako dlouhodobé zatížení a způsobuje únavu spoje. Pokud je navlhávání proměnlivé, které často probíhá v atmosférických podmínkách, napětí nabývá cyklického charakteru a výrazně urychluje proces destrukce. Při lepení kovů, přes které voda nemůže difundovat do spoje a dostává se tam tak jenom přes spáru, se odolnost proti vlhkosti značně zvyšuje. S velikostí plochy lepeného spoje, tak snižování pevnosti spoje působením vody klesá.

Lepené spoje jsou v praxi často ovlivněny agresivními výpary, kapalinami, palivy atd. Obecně lze říci, že chemická odolnost se zvyšuje stupněm vytvrzení a při použití lepidel vytvrzovaných za vyšší teploty. [2]

4.1.3 Pevnost při daném namáhání

Lepené spoje jsou nejvíce odolné proti namáhání ve stíhu, proto by se spoje měli, pokud možno, konstruovat tak, aby se předešlo jinému typu namáhání. Se vzrůstem pružnosti materiálu a sklesáním jeho tloušťky stoupá odolnost proti ohybu a odlupování, to však závisí i

na pružnosti ztuhnutého lepidla. Při výběru lepidla je proto důležité, aby se mechanické konstanty lepidla co nejvíce přibližovaly konstantám adherentu. [6]

4.1.4 Životnost, spolehlivost a bezpečnost

Životnost a spolehlivost je dána odolností spoje proti všem vlivům prostředí, kde se konstrukce nachází a tím i jak povrchovou úpravou, tak výběrem lepidla a správnou konstrukcí spoje. Co se týče bezpečnosti, konstruktér by měl lepený spoj navrhovat tak, aby v případě poruchy nedošlo ke zranění a k větší škodě na zařízení.

4.2 Výhody a nevýhody lepení kovů

– v porovnání se svařováním a nýtováním

Základní přednost tohoto způsobu spojování kovů je jeho pokrokovost, která spočívá v obrovských možnostech dalšího vývoje a v možnosti využití lepení v sériové automatizované výrobě spojů rozmanitých tvarů, velikostí a kombinací materiálů.

4.2.1 Výhody

- kontinuální a rovnoměrné přenášení napětí
- zesílení konstrukce v místě spoje, kde nýtování a svařování způsobuje oslabení
- možnost spojovat rozdílné materiály a materiály, které vzhledem k jejich vlastnostem nelze nýtovat nebo svařovat
- výsledná hmotnost konstrukce je nižší jako konstrukce nýtovaná nebo svařovaná
- lepený spoj tlumí vibrace, snižuje rezonanci a hluk
- lepený spoj je těsný vůči tlaku a vakuu
- operace lepení nevystavuje spojované materiály takovým tepelným rozdílům jako svařování
- lepený spoj nezpůsobuje rekrystalizaci materiálů ani nevytváří podmínky pro korozi (praskliny)
- lepený spoj má lepší vzhled a dává relativně rovnější povrch
- je použitelný pro různě veliké rozměry (drobné výrobky tak i velké plochy)
- proces lepení je poměrně jednoduchý
- možnost použít technologii v terénu a za relativně nízkých teplot

4.2.2 Nevýhody

- lepený spoj je citlivý na nárazy, vysoké teploty a na některé chemikálie
- většina lepených spojů je citlivá na namáhání v odlupování a kroucení
- lepený spoj vyžaduje náročnou povrchovou úpravu
- lepený spoj vyžaduje přesnou práci, hlavně při použití vícesložkových lepidel a lepidel, které mají složitý způsob vytvrzování
- od začátku lepení zbývá málo času operaci dokončit
- výsledné pevnosti se dosáhne až po určité době
- lepení v průmyslovém měřítku je náročné na vybavení a bývá obtížné oddělit díly nedestruktivní metodou. [6] [1]

Kromě uvedených předností a nedostatků třeba uvést i některé další vlastnosti, které však nelze jednoznačně zařadit mezi výhody nebo nevýhody, ale je potřeba s nimi počítat. Například lepený spoj může představovat elektricky izolovaný systém (pokud se nepoužije vodivé lepidlo). Tato vlastnost může být někdy užitečná, jindy ne.

Často se uvádějí nároky na kvalifikaci pracovníků a na zařízení potřebná hlavně v automatizovaném provozu. Pokud však zmíníme např. svařování v ochranné atmosféře nebo svařování speciálních slitin, můžeme říci, že vysoké nároky si nevyžaduje jenom lepení.

4.2.3 Porovnání základních způsobů spojování kovů podle pevnosti spoje

Pevnost lepeného spoje závisí nejenom na adhezi, ale i na kohezi jednotlivých složek. Kohezi můžeme nazývat i „mechanickou pevností“. Pak můžeme vidět určité rozdíly v pevnosti spojů rozdílných materiálů lepených tím samým lepidlem. Všeobecně se dá říci, že materiál s vyšší pevností může dosáhnout vyšší pevnost spoje, ale na druhé straně podíl pevnosti spoje vůči pevnosti materiálu bude nižší jako u materiálu, který má hodnoty pevnosti blízké hodnotám lepidla. Lepené spoje kombinací kovů není možné dobře porovnávat se svařováním, protože je nelze svařovat.

Tab. 1 Porovnání různých způsobů spojování kovů podle pevnosti

Materiál	Pevnost mat. [MPa]	Zatížení při přetrhnutí [N]		
		Lepný spoj ¹	nýtovaný spoj	svařovaný spoj
Al Cu Mg	350	7 000	4 800	3 750
Ocel	480	5 980	28 8000**	38 500*

Poznámka: * vypočítané jako 80% pevnosti základního materiálu

** vypočítané jako 60% pevnosti základního materiálu

¹ rozměr spoje podle ČSN 66 85 10

Třeba zdůraznit, že spoje vytvrzované za tepla mají vyšší pevnost i odolnost.

Z porovnání vyplývá, že hlavní oblast využití lepení bude spojování lehkých kovů a jejich slitin a spojování kombinací kovových materiálů, které neumíme svařovat, nebo u kterých by bylo svařování celkově nevýhodné. Sem patří i spojování kovů s nekovy. [1]

4.2.4 Ekonomické aspekty

V technice jsou případy, kdy náklady jsou až na druhém místě za požadovanými technickými parametry. Všeobecně však ve výrobě, hlavně ve velkých sériích, rozhodují náklady o tom, zda se ten či onen technologický postup uplatní. To se týká i lepení. Vlastní cena lepidla má význam až po celkovém zhodnocení nákladů na technologii výroby, proto se často uplatní lepidla, která jsou drahá.

Porovnáním celkových nákladů, počínaje materiálem, energií, zařízením, kvalifikací pracovníků a konče velikostí série, vychází lepení ekonomičtěji jako nýtování a v některých případech i jako svařování.

V současnosti se považuje za fakt, že pokud lepení se považuje z hlediska nákladů za 100%, svařování vychází na 80% až 160% a nýtování na 120% až 180%. [1]

5 PEVNOST LEPENÝCH SPOJŮ

Pevnost i deformace lepených spojů závisí na mechanických vlastnostech spoje a na napětovo-deformačním stavu lepené konstrukce. Pevnost lepeného spoje je soubor dílčích pevností, jako jsou pevnosti stanovené krátkodobými zkouškami, pevnosti spoje při dlouhodobém statickém a dynamickém zatěžování, při zvýšené a snížené pevnosti, pevnosti za vlivu okolního prostředí. Za optimální pevnost se považují hodnoty odpovídajícím hodnotám spojovaného materiálu.

Napětovo-deformační stav lepených konstrukcí je obvykle nerovnoměrný a lom spoje začíná v místě, kde napětí dosahují pro daný spoj kritických hodnot. Z toho vyplývá, že objektivní informaci o pevnosti spoje a adhezních vazeb je možno získat jen na základě posouzení jeho stavu napětí, nebo při použití vzorků, u kterých nerovnoměrnost rozdělení napětí na ploše spoje můžeme zanedbat. [2]

Na hodnocení pevnosti lepených spojů standartně používáme vzorec pro určení smykové pevnosti:

$$\tau = F/S \quad [\text{MPa}] \quad (1)$$

$$S = b \cdot l \quad [\text{mm}^2] \quad (2)$$

F – síla potřebná na lom

S – lepená plocha, b – šířka přeplátovaného spoje, l – délka přeplátovaného spoje

Maximální pevnost a životnost lepeného spoje kovů dosáhneme za předpokladu, že:

- vybrané kovové adherenty jsou homogenní co do makrostruktury i mikrostruktury a mají odpovídající fyzikálně-mechanické parametry a optimální geometrické parametry.

Rozdílné adherenty by měli mít co nejpodobnější vlastnosti, a to hlavně modul pružnosti a koeficient tepelné roztažnosti. Pokud toto nelze dodržet, musíme volit lepidlo, které tyto rozdíly snižuje. Pokud nenalezneme vhodné lepidlo, musíme volit lepící systém. Například ve spoji pružného a tvrdého adherentu použijeme na straně pružného adherentu pružné

lepidlo, které s ohledem na přechod k tvrdému adherentu bude obsahovat plniva. Na straně tvrdého adherentu použijeme tvrdé lepidlo, případně lepidlo modifikované pružnou složkou. Obě dvě lepidla musí mít vzájemnou adhezi, snášenlivost a musí představovat vhodný kompromis mechanických vlastností.

- vybrané adherenty mají homogenní povrch, to znamená, že po celém povrchu mají stejné vlastnosti. Odstranili se všechny povrchové nerovnosti a slabé vrstvy, a to buď mechanicky, nebo chemicky.

Povrchová úprava kovů před lepením má rozhodující vliv na dosažené výsledky. V této oblasti není zcela objasněn vliv zdrsnění povrchu, který má být důsledkem mechanického ukotvení lepidla. Naproti tomu stojí prostředky na vyrovnání nerovností mezi adherenty. Důkazem jsou vysoké pevnosti, které se dosahují na mořených površích kovů. Povrchové nerovnosti po moření jsou podstatně jemnější jako po mechanickém zdrsňování.

- důležitou podmínkou jsou vlastnosti lepidla, jeho adheze a koheze, které do značné míry závisí na způsobu vytvrzování. Kromě procesu vytvrzování se používají různé přísady do lepidel (chlorované kaučuky, PVA apod.), nebo primery (základní nátěry), které mají vysokou přilnavost k adherentu a pomáhají odstraňovat rozdíly v mechanických konstantách adherentu a lepidla. Lepidlo se musí dobře snášet s adherentem (nesmí způsobovat korozi) a případné plnivo nesmí být z materiálu, který tvoří s kovovým adherentem galvanický člunek. Kovy jsou zpravidla dobré vodiče tepla, proto lepidla, která působením tepla značně mění své vlastnosti, používáme jen v prostředích, kde se nemění teplota. V současnosti existují lepidla, která dlouhodobě snášejí teplotu 80 až 110°C, pro náročnější podmínky existují lepidla, které snášejí dlouhodobě teploty 120 až 180°C a krátkodobě až do 500°C.

- lepený spoj dobře odolává namáhání ve smyku, méně už v tahu a nejméně v odlupování respektive kroucení. To bereme do úvahy při konstrukci spoje a snažíme se vhodným způsobem nepříznivé namáhání omezit.

- často lepené spoje využíváme v podmínkách, kde působí vlhkost, voda a různé chemikálie. Odolnost vytvrzených spojů proti danému prostředí závisí od struktury lepidla, jeho chemické odolnosti, od difuzních schopností a od odolnosti kovu. Nejjednodušším způsobem jak chránit spoj je použití kvalitního ochranného nátěru, hlavně v místech na okraji lepidla. Používají se epoxidové a silikonové nátěry, kterými se upravuje i celkový vzhled.

- v technologické praxi je důležité, aby spoj vznikl rychle, aby povrch adherentů nebyl ovlivněn působením okolního prostředí a nesnížila se tak kvalita spoje. Úspěšně se například využívají tavná lepidla, která je možno indukčně nebo vysokofrekvenčně roztavit, spoj pak vznikne ztuhnutím taveniny za přiměřeného tlaku vyvolaného zařízením. [1]

5.1 Poruchy lepených spojů

Při zatížení, které je dostatečné na zničení spoje, nastává destrukce, při které se zpravidla hodnotí nejen výsledná pevnost, ale i průběh lomu. Lom může nastat ve třech vrstvách:

- v adherentu
- v adhezivu
- na rozhraní adhezivum – adherent

Podle reologické teorie pevnost lepeného spoje je dána fyzikálně-mechanickými a reologickými vlastnostmi lepených materiálů. Při zkoumání lomů se zjistilo, že roztrhnutí spoje nikdy neprobíhá na jeho ostrém rozhraní, ale v jednom nebo v druhém materiálu, lom je tedy kohezní. Proto má koheze velký význam. Z toho je možné dojít k závěru, že pevnost spoje je dána mechanickými vlastnostmi materiálů, a ne mezifázovými silami, protože lom je v podstatě vždy kohezní.

Pokud se lom zdá být adhezní, je to tím, že lom proběhne v tzv. přechodových zónách, které vznikají při difuzních, krystalizačních a chemických procesech, a tvoří „neostrou hranici“ mezi adherentem a lepidlem. Pokud tedy neexistuje ostrá hranice mezi dvěma fázemi, nemůže existovat ani skutečně adhezní lom. V praxi namísto dokonalého povrchu a dokonalého rozhraní (v atomárním smyslu) existuje jen různým způsobem poškozená nebo nerovnoměrná molekulová struktura, a to buď na povrchu adherentu nebo na povrchu lepidla. Jde o soudržnost složek, a tedy o kohezní lom. [1]

5.2 Nejčastější příčiny poruch lepených spojů

Lepený spoj je složitý systém a jeho kvalita závisí na mnoha faktorech. Abychom se při tomto způsobu spojování konstrukcí, velmi výhodných pro podmínky dynamického zatížení, vyhnuli nepříznivým výsledkům, musíme analyzovat chyby a jejich příčiny.

nízká pevnost, která vyplývá z toho, že

- jde o nepravý spoj, jehož příčinou je slabá vazbová vrstva, příčinou jsou:
 - nesprávná technologie lepení (nedostatečná povrchová úprava, tenká vrstva lepidla atd.)
 - v nesprávném výběru materiálu (nedostatečná smáčivost, nevhodné mechanické vlastnosti atd.)
- ve spoji vznikla velká koncentrace napětí, příčiny jsou:
 - bubliny v lepicí vrstvě, které vznikly při nanášení nebo vlivem nerovného povrchu adherentu
 - nerovnoměrnost lepicí vrstvy, která může být zapříčiněna špatnou fixací při vytvrzování, špatným nanášením, vysokou viskozitou lepidla, nerovnoměrná zrnitost plniva atd.
 - nevhodná tloušťka lepicí vrstvy způsobená vysokou nebo nízkou viskozitou, nevhodným tlakem při vytvrzování, nesprávnou fixací atd.
 - nesprávná konstrukce spoje – nesprávný poměr plochy spoje k tloušťce lepicí vrstvy,
 - nevhodný typ spoje pro dané namáhání
- materiály, z kterých jsou jednotlivé složky spojené (dutiny, praskliny, únava materiálů, nedostatečně vytvrzené lepidlo, nekvalitně připravené lepidlo atd.

nízká odolnost složek spoje proti prostředí

- ztráta pevnosti vlivem podmínek mimo spoj. Příčinou je proniknutí agresivních látek, nevhodný výběr materiálů spoje pro dané prostředí, nedokonalá povrchová úprava spoje, rozpustnost, koroze adherentu, nízká tepelná odolnost složek spoje, křehnutí za nízkých teplot atd.

nízká životnost

- ztráta pevnosti vlivem chyb ve spoji. Tyto chyby vznikají hlavně při technologii lepení, např. nezreagované zbytky tvrdidel vyvolávají korozi adherentu, nebo migrací k povrchu lepidla způsobí vznik slabé vrstvy v hotovém spoji. Špatným výběrem materiálu nebo některé parametry dynamického namáhání (vysoká frekvence kmitů, rezonance, nerovnoměrnost namáhání) vyvolají předčasnou únavu spoje a jeho destrukci.

chyby vzhledu

- důležité předcházet těmto vadám je zejména tam, kde lepení je součástí dokončovacího procesu výroby. Jde především o přetoky vytvrzeného lepidla, nevhodná barva lepidla atd.

funkční nedostatky

- poruchy spoje ovlivňují funkčnost výrobku. Jde např. o elektroizolační vlastnosti lepidla (tam, kde se má zachovat vodivost), snížení průtoku (ve spojovaném potrubí), nevhodné umístění spoje v celkové konstrukci.

jiné nedostatky a nevýhodnost lepení v konstrukci

- citlivost na náhlé změny teploty, hlavně u materiálů s různým koeficientem tepelné roztažnosti, dlouhý čas do dosažení konečné pevnosti, složitá oprava poškozeného spoje, zdravotně náročné prostředí při lepení.

Některé nedostatky zde uvedené se zpravidla vyskytují při nedodržení správného technologického postupu a technických podmínek lepení, a lze je tedy považovat za vliv lidského faktoru. [1]

6 ZKOUŠKY LEPENÝCH SPOJŮ

Pro stanovení vlastností lepeného spoje, jako jsou pevnost a mechanické vlastnosti provádíme zkoušky lepených spojů. Tyto vlastnosti závisí od konstrukce a tvaru spoje, a od materiálů, z kterých se spoj skládá.

6.1 Rozdělení zkoušek

Zkoušky rozdělujeme na dvě základní skupiny:

- destruktivní
- nedestruktivní

6.1.1 Destruktivní zkoušky

- rozdělujeme je dále podle charakteru odtrhávání jednotlivých složek na:

Metody nerovnoměrného odtrhnutí

- zkoušky spojů tuhých materiálů
- zkoušky spojů, kde alespoň jeden adherent je ohybný resp. pružný

Metody rovnoměrného odtrhnutí

- používají se zejména při zkoušení kombinovaných systémů

- zkoušky systémů guma – kov
- zkoušky systému plast – kov
- zkoušky jiných kombinací adherentů

Metody s využitím namáhání ve smyku

- tyto zkoušky se využívají zejména při zkoušení pevnosti tuhých spojů spojených přeplátováním, často se využívá i pro spojení pružných materiálů. Smykové napětí působí v rovině spoje a vzniká při smykovém namáhání (tahem, tlakem nebo krutem v rovině spojovaných dílů, při kterém nevznikají kolmá napětí).

Mezi destruktivní zkoušky patří i únavové zkoušky a zkoušky studeného toku. Můžeme sem zahrnout nejen zkoušky mechanických vlastností, ale i zkoušky tepelné odolnosti a životnosti.

Metody nerovnoměrného odtrhnutí

- destrukční síla působí vždy blíž k některému okraji spoje a může svírat úhel do 180° . Trhlina ve spoji zpravidla postupuje od některého okraje, až se odtrhne po celé ploše.

Je-li jeden nebo oba dva adherenty pružné, mluvíme o zkouškách odlupování. Při těchto zkouškách je důležitý úhel, který svírá směr odtrhávání s původní rovinou spoje. Čím větší úhel bude působící síla svírat s rovinou spoje, tím menší bude pevnost spoje.

Metody rovnoměrného odtrhnutí

- na rozdíl od metody nerovnoměrného odtrhnutí se u této metody měří velikost síly potřebná na odtrhnutí spoje po celé dotykové ploše současně. Rozdíl je i ve směru působící síly, kde zde působí na rovinu plochy kolmo. Pevnost spoje je pak dána velikostí působící síly na jednotku plochy v MPa.

Metody s využitím namáhání ve smyku

- tyto metody jsou nejvíce rozšířené a jsou především určeny pro spoje tuhých substrátů. Síla zde působí v rovině spoje – tahem, tlakem nebo krutem. U jednoduše přeplátovaných spojů se tato zkouška nedoporučuje používat u pružných materiálů (kov-plast, kov-guma), a to proto, že v důsledku deformace adherentu dochází postupně k nárůstu podílu odlupovacích napětí. Vzniku odlupovacích napětí se zabráňuje vhodnou konstrukcí spoje nebo rotačními způsoby zkoušení pevnosti ve smyku, které nejlépe odstraňují možnost vzniku odlupovacích napětí.

Únavové zkoušky

- k destruktivním zkouškám patří i únavové (dynamické) zkoušky, které se používají pro náročné aplikace. U této zkoušky namáháme spoj opakovaným zatížením se stanovenou frekvencí a amplitudou. Směr napětí může být v rovině spoje i kolmo na rovinu spoje.

Zkoušky se provádí za určité teploty a výsledky udávají čas resp. počet cyklů do zničení spoje za daných podmínek.

Zkoušky odolnosti lepených spojů

- stanovení životnosti lepených spojů pro různá prostředí a jejich použití je pro průmysl důležité. Pro hodnocení kvality spoje se používají např. zkoušky pod vlivem vlhkosti, při zvýšené teplotě, při ponoření do kapalin atd. Jsou to vlastně zkoušky mechanických vlastností uvedených výše kombinované s náročnými zkušebními podmínkami. Zkouška se tedy vykonává během nebo po vystavení spoje vlhkosti, zvýšené teplotě, chemickým látkám apod.

6.1.2 Nedestruktivní zkoušky

Metody nedestruktivních zkoušek jsou založeny na použití akustických a ultrazvukových zařízeních, elektronové mikroskopie, laserů a dalších zařízeních zkoumajících vlastnosti materiálů, rovnoměrnosti tloušťky lepidla a celistvosti materiálů. Nestanovuje se tedy jen pevnost, ale i vlastnosti konstrukce spoje. Pevnost spoje je pak stanovena jednotlivými vztahy mezi pevností a vlastnostmi spoje například určitá tloušťka lepidla vykazuje určitou pevnost, než jiná tloušťka lepidla.

Druhy zkoušky:

- zjišťování dokonalosti odmaštění povrchu
- měření změn tepelné vodivosti a tepelné kapacity
- měření průniku radioaktivního záření
- měření přenosu zvukových nebo ultrazvukových vln. [1]

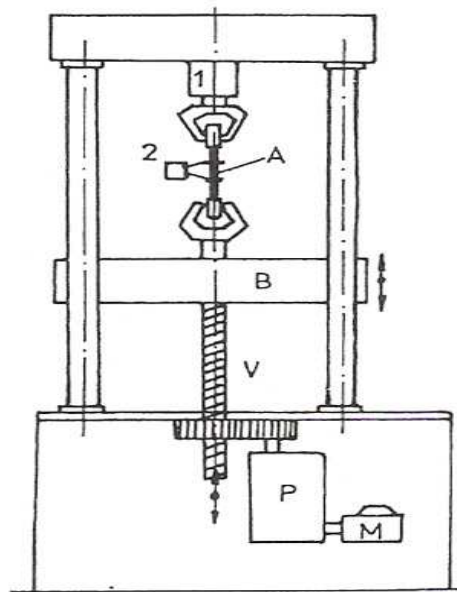
6.2 Základní mechanické zkoušky

Jak jsem již zmínil v kapitole 2.2, při výběru materiálů přihlížíme krom chemického složení, bodu vzplanutí atd., k mechanickým vlastnostem jako je pružnost, pevnost a houževnatost. Mechanickým zkoušením získáváme materiálové charakteristiky, které nám vypovídá-

jí o těchto vlastnostech. K nejzákladnější zkoušce vzorku lepidla patří zkouška tahem a zkouška spoje v namáhání ve smyku.

6.2.1 Zkušební zařízení

K základnímu vybavení laboratoře patří univerzální zkušební stroj, na kterém se tyto zkoušky provádějí. Stroj je tvořen pevným rámem, v jehož horní části je umístěn dynamometr 1- zařízení pro měření síly. Zkušební těleso A je jedním koncem uchyceno k dynamometru a druhým koncem k pohyblivému příčnicku B. Příčnick je uváděn do pohybu motorem M, přes vřeteno V a převodovou skříň P. Při pohybu příčnicku dochází k postupnému zatěžování a deformaci zkušebního tělesa. Deformace tělesa je registrována průtahoměrem 2. Vhodnou úpravou zkušebního tělesa a průtahoměru se na tomto přístroji provádí i ostatní mechanické zkoušky.



Obr. 4 Schéma univerzálního zkušebního stroje

Pohon zkušebních strojů může být mechanický nebo hydraulický (stroje pro zatížení větší než 200 kN). Mechanické stroje byly původně vybaveny dynamometry, které měřily sílu na principu mechanické váhy. U hydraulických strojů se síla snímala z hydrostatického tlaku oleje v pracovním válci.

6.2.2 Zkouška tahem

Touto zkouškou získáváme závislost napětí-deformace. Závislost se určuje experimentálně na hladkých zkušebních tělesech. Zkušební těleso, nejčastěji kruhového nebo obdélníkového průřezu, uchytíme do čelistí zkušebního stroje a na těleso nasadíme průtahoměr. Během zkoušky se na zapisovači registruje, příp. do paměti počítače ukládá závislost působící síly F (zatížení-snímané dynamometrem) na prodloužení zkušební tyče (snímané průtahoměrem, příp. určené z pohybu příčnicku zkušebního stroje).

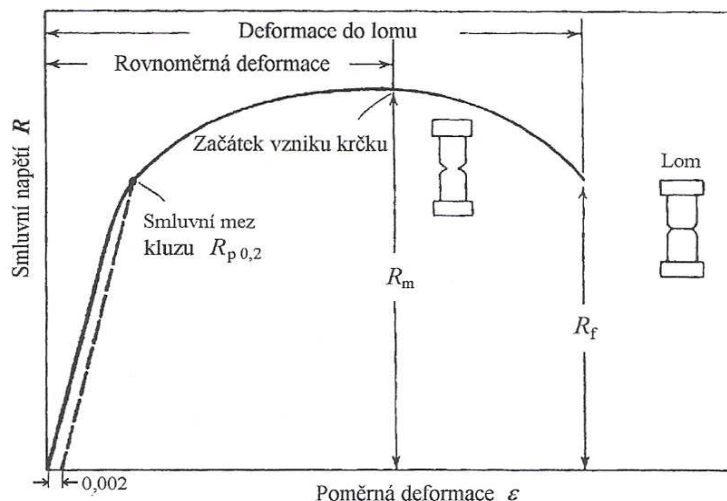
6.2.3 Smluvní diagram napětí-deformace

Závislost síla-prodloužení, získané na zkušebních tělesech různých velikostí, zhotovených z jednoho materiálu, je možné přepočítat na jedinou závislost smluvní napětí-poměrná deformace podle vztahů:

$$\text{smluvní napětí} \quad \sigma = F/S_0 \quad [\text{MPa}] \quad (3)$$

$$\text{poměrná deformace} \quad \epsilon = (L-L_0)/L_0, \quad \epsilon = [(L-L_0)/L_0] \cdot 100 \quad [\%] \quad (4)$$

kde S_0 je původní průřez tělesa, L_0 je původní měrná délka zkušebního tělesa, výraz $(L-L_0)$ vyjadřuje přírůstek délky tělesa.



Obr. 5 Smluvní diagram napětí-deformace

Počáteční úsek diagramu je přímkový a odpovídá elastické deformaci. V případě, že prodloužení je snímáno snímačem umístěným na zkušebním tělese, pak tato přímka je přímo popsána Hookeovým zákonem $\sigma = E\epsilon$, kde E je modul pružnosti v tahu materiálu zkušební tyče. Pro spolehlivý výpočet modulu pružnosti E je nutné, aby zvětšení snímače bylo (500

– 1000) násobné. Je-li prodloužení zkušebního tělesa odvozeno pouze z posuvu příčnicku zkušebního stroje, potom sklon počátečního úseku tahového diagramu zahrnuje vedle elastické deformace zkušebního tělesa i elastické deformace zkušebního stroje. Elastická deformace zkušebního stroje je řádově větší, proto nelze modul E vyhodnotit.

V další části diagramu napětí-deformace dochází k odklonu od přímkové závislosti (v důsledku vzniku plastické deformace), přírůstek napětí v závislosti na deformaci postupně klesá až na nulovou hodnotu. Až do tohoto okamžiku se měrná část zkušební tyče deformuje rovnoměrně (dochází k rovnoměrnému zužování průřezu). Další deformace je provázena poklesem napětí a vznikem krčku na měrné části tyče. V praxi se na základě průběhu závislosti smluvní napětí-poměrná deformace vyhodnocují dvě napět'ové materiálové charakteristiky, smluvní mez pevnosti a mez kluzu. [3]

6.2.4 Určení smluvní meze pevnosti

Mez pevnosti R_m je maximální napětí dosažené ve smluvním diagramu napětí-deformace, což je poměr mezi hodnotou maximální síly dosažené při zkoušce a původního průřezu zkušebního tělesa

$$R_m = F_{\max}/S_0 \text{ [MPa]} \quad (5)$$

U tvárných materiálů je mez pevnosti dána hodnotou smluvního napětí, při němž se začíná vytvářet na zkušební tyči krček, K lomu tělesa dojde při smluvním napětí R_f (lomové napětí) až po vzniku krčku. V případě, že k porušení zkušební tyče dojde po malé nebo nulové plastické deformaci, pak hodnota R_m odpovídá napětí v okamžiku lomu R_f , což je lomové napětí.

Smluvní mez pevnosti se nejčastěji uvádí jako základní mechanická charakteristika určená zkouškou tahem. Ve skutečnosti tato veličina nevystihuje přesně pevnost materiálu. Pro tvárné materiály smluvní mez pevnosti vyjadřuje zatížení, které materiál přenese za velmi přísných podmínek jednoosé napjatosti. Tato veličina prakticky nevystihuje skutečnou únosnost součástí, které jsou vystaveny působení víceosé napjatosti.

Pro výpočty součástí mnoho let tvořila základ smluvní mez pevnosti vhodně redukováná faktorem bezpečnosti. Současný trend při výpočtu konstrukcí v případě tvárných materiálů používá druhou, výše zmíněnou charakteristiku – mez kluzu. Smluvní mez pevnosti i tak nadále zůstává v materiálových listech. [3]

6.2.5 Určení meze kluzu

Mez kluzu je napětí, při kterém začíná vznikat plastická deformace. Podle diagramu napětí-deformace bychom měli považovat za mez kluzu napětí, při kterém dochází k odklonu diagramu od přímky. Takto zjištěná hodnota by však byla závislá na citlivosti snímače prodloužení. Proto se zavádí smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$, což je napětí, které vyvolá plastickou deformaci o velikosti $\varepsilon_p = 0,002$ (0,2%). I v tomto případě je nutné použít při měření snímač prodloužení. Ve srovnání s měřením modulu pružnosti E však zvětšení snímače může být o řád menší (50 – 100), ze záznamu napětí-deformace určíme mez kluzu následovně: na ose poměrných deformací vyznačíme hodnotu deformace 0,2%. Tímto bodem vedeme rovnoběžku s přímkovou částí tahového diagramu. Bod, kde protíná rovnoběžka závislost napětí-deformace je napětí smluvní meze kluzu $R_{p0,2}$. Celková deformace ε zkušební tyče při napětí $R_{p0,2}$ je tedy dána součtem deformace elastické $\varepsilon_e = R_{p0,2} / E$ a deformace plastické $\varepsilon_p = 0,002$. [3]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

7.1 Cíl laboratorních testů

Cílem praktické části bylo zjistit, jak jsou vybraná lepidla odolná proti smykovému namáhání při teplotě $t=20^{\circ}\text{C}$, a jak se změní velikost působící síly do porušení spoje při teplotě $t=80^{\circ}\text{C}$. Hodnoty maximální síly byly vyhodnoceny v tabulkách a grafech pro jednotlivá lepidla, poté srovnány hodnoty jednotlivých lepidel mezi sebou a nakonec srovnány s hodnotou pro lepený materiál. Praktická část se stávala ze dvou částí, a to z přípravy vzorků a jejich zkoušení na univerzálním zkušebním stroji Zwick 1456 za použití teplotní komory. Jako zkušební tělíska byly použity ocelové plechy o rozměrech 100x10x0.8 mm a pozinkované plechy o rozměrech 100x10x0.5 mm. Smykového namáhání bylo dosaženo tahem v podélném směru lepidlem spojených zkušebních tělísek.

7.2 Příprava a provedení

Pro testování lepených spojů za normální (20°C) a zvýšené (80°C) teploty bylo použito sedm typů lepidel na různých základech – akrylát, syntetický kaučuk a polyuretan. Použitá lepidla byla následující: metylmetakrylátový, 2 kompozitní Plexus MA 422 a Plexus MA 310, kaučukový UHU-Greenit a Chemoprén Extrém, kyanoakrylátový Loctite Super Bond a Loctite Super Attak (obě sekundová lepidla) a polyuretanový Sikaflex 252. U každého typu lepidlo pro oba typy kovových materiálů bylo zhotoveno 5 zkušebních těles. Lepený spoj měl u každého tělesa plochu 10 mm^2 .



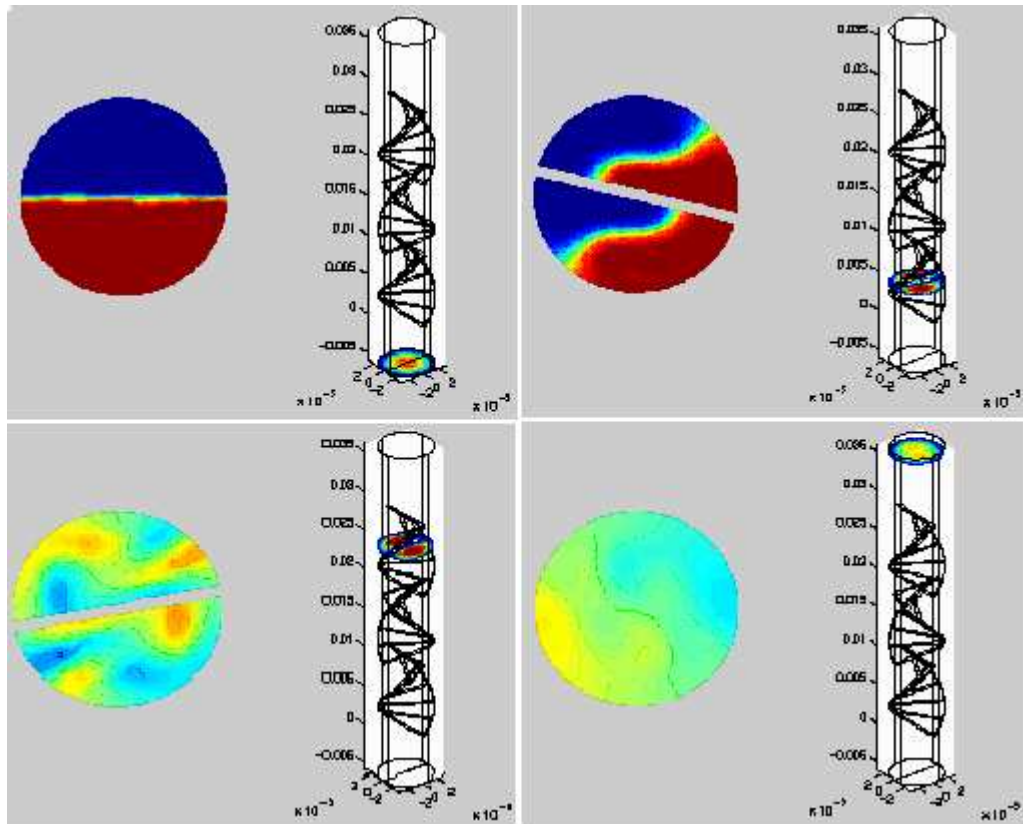
Obr. 6 Tvar zkušebního tělíska pro lepidla Plexus a Sikaflex

Zkušební tělesa pro lepidla Plexus a Sikaflex byla navržena ve tvaru dle obrázku 6 z důvodu dosažení jeden milimetr tlusté vrstvy lepidla mezi tělisky. Před nánosem lepidla byly tělíska zbaveny nečistot a v případě lepidla Sikaflex ošetřena přípravkem SikaCleaner 205 a poté použit primer SikaPrimer 206 G+P. Aby spoj vykazoval určitou nosnost, je nutné, aby se lepidlo nanaslo na lepenou plochu ve správné tloušťce a po celé ploše rovnoměrně. Po přiložení druhé části zkušebního tělíska a po zaschnutí spoje došlo k odstranění přebytečného lepidla, vytlačeného ze spoje při spojení obou částí, aby se toto neprojevovalo do výsledků měření. Pro konstantní zafixování lepeného spoje bylo použito kolíků na prádlo, které vyvozují konstantní svěrnou sílu.

U dvou komponentních lepidel Plexus MA 422 a MA 310 byl použit statický mixér k dokonalému promíchání obou složek lepidla, který je dodáván spolu s lepidlem.



Obr. 7 Statické mixéry



Obr. 8 Průběh promíchání lepidla v statickém mixéru

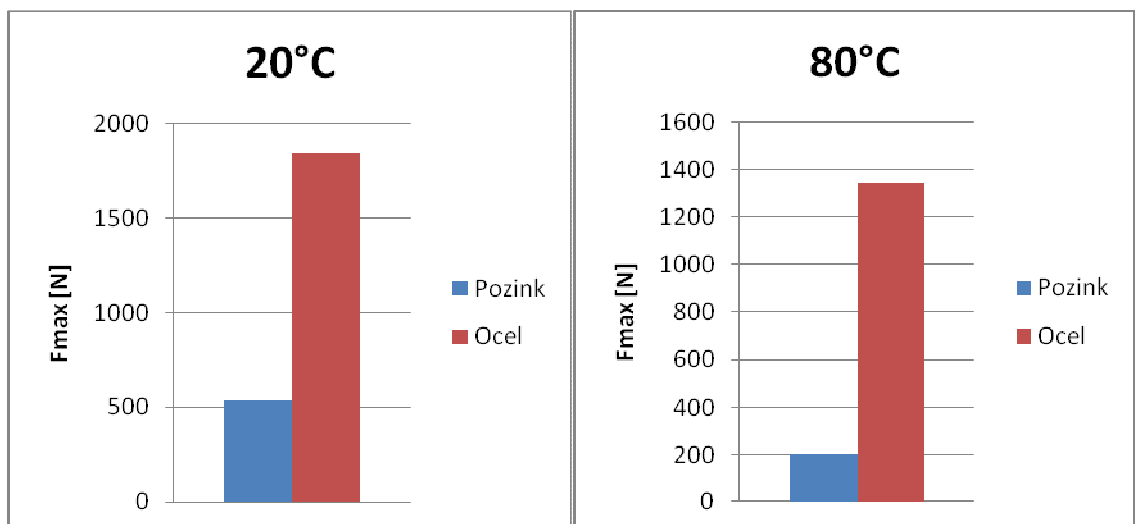
7.3 Vyhodnocení

Parametry sledovanými při zkoušce nosnosti lepeného spoje byla maximální síla, stanovená při porušení spoje tj. při mezi pevnosti lepeného spoje. U polyuretanového lepidla a u kaučukových a akrylátových lepidel jsme mohli sledovat, že přístroj dál měřil sílu i po překročení meze pevnosti. Spoj zůstal nepřetržen, i když už nemohl být kvalifikován jako dostatečný. To dává lepeným spojům, při použití těchto lepidel, výhodu z hlediska bezpečnosti práce vůči spojům např. svařovaným nebo nýtovaným, u kterých dojde při porušení spoje k oddělení obou materiálů.

Jak se změnila hodnota maximální síly při vystavení vzorků teplotě $t = 80^{\circ}\text{C}$ můžeme vidět z následujících tabulek a grafů:

Tab. 2 Naměřené hodnoty F_{max} [N] při porušení spoje

Plexus MA 422					
	20 °C			80 °C	
	Pozink	Ocel		Pozink	Ocel
1	389,4	1511,2		206,35	1191,82
2	439,11	2021,5		170,14	1481,87
3	1160,72	1841,94		220,59	1379,63
4	402,55	1905,68		134,03	1615,36
5	280,52	1946,19		249,66	1063,76
x	534,46	1845,3		204,36	1346,49
s	355	197,8		58,81	221,12

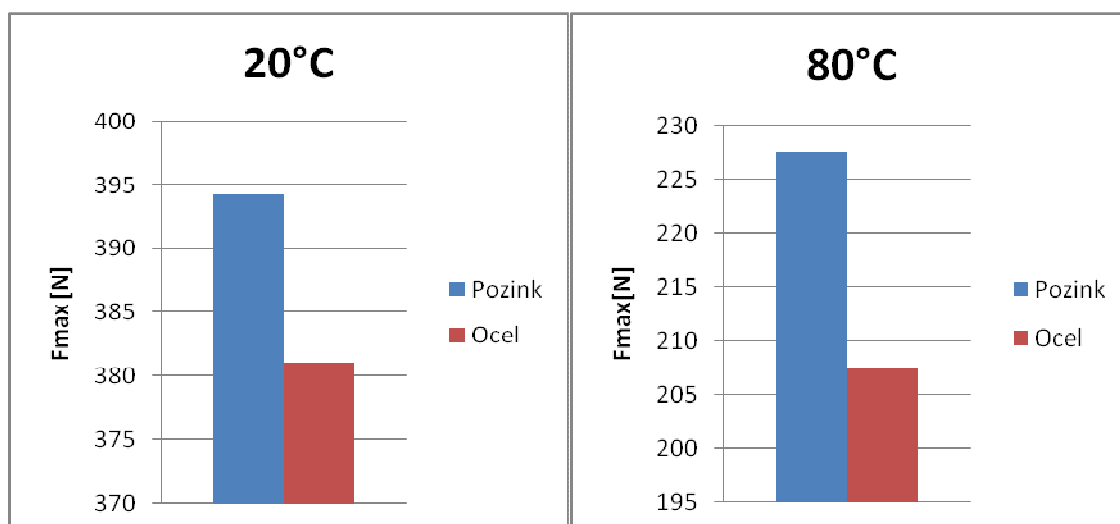


Obr. 9 Maximální únosnost spoje-Plexus MA 422

Při použití lepidla Plexus MA 422 na ocelových tělískách dosáhl spoj při teplotě 20°C o řád větší nosnosti než na pozinkovaném plechu. Největší hodnota F_{max} naměřena u ocelového plechu byla 1946,19 N. U pozinkovaného plechu byla naměřena hodnota 160,72 N. Při teplotě 80°C byla největší hodnota u ocelového plechu 1615,36 N. U pozinkovaného plechu byla hodnota F_{max} 249,66 N

Tab. 3 Naměřené hodnoty F_{max} [N] při porušení spoje

Sikaflex 252					
	20 °C			80°C	
	Pozink	Ocel		Pozink	Ocel
1	345,81	332,45		281,75	223,89
2	495,13	564,4		226,29	190,97
3	405,88	310,79		162	183,83
4	345,94	326,82		278,56	198,04
5	378,9	371,17		167,15	240,81
x	394,33	381,13		227,57	207,51
s	55,45	104,82		52,87	23,98

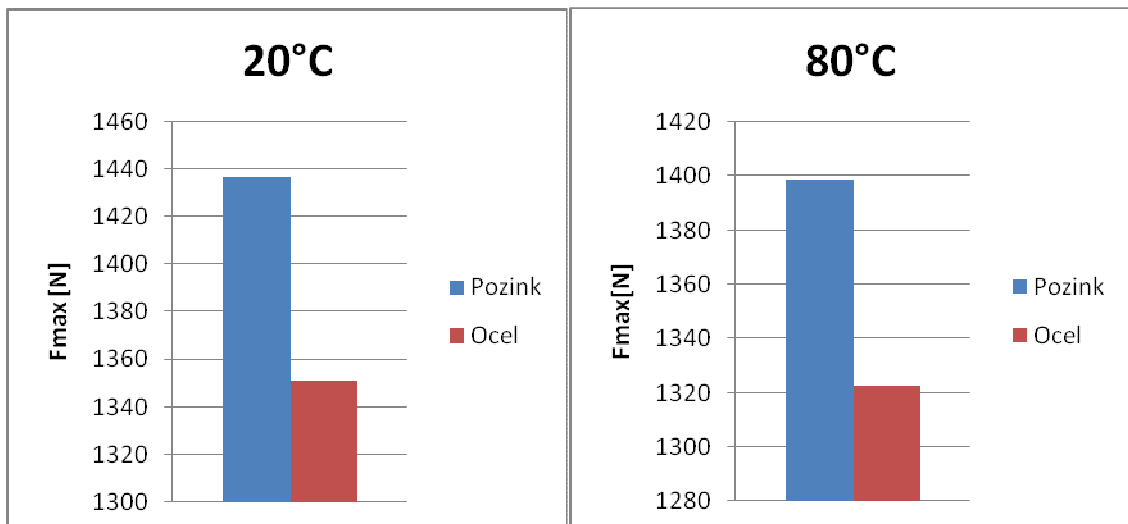


Obr. 10 Maximální únosnost spoje-Sikaflex 252

U polyuretanového lepidla Sikaflex 252 byla při teplotě 20°C naměřena hodnota maximální síly 495,13 N u pozinkovaného plechu, a u ocelového plechu 564,4 N. Při teplotě 80°C u pozinkovaného plechu byla největší hodnota F_{max} 281,75 N a u ocelového plechu 240,81 N.

Tab. 4 Naměřené hodnoty F_{max} [N] při porušení spoje

Plexus MA 310					
	20 °C			80°C	
	Pozink	Ocel		Pozink	Ocel
1	1260,75	989,95		1198,78	1806,05
2	1470,56	1752,65		1424,59	1268,42
3	1218,8	1865,07		1594,69	1041,38
4	1581,3	1609,1		1082,57	1189,89
5	1653,79	539,68		1693,34	1307,79
x	1437,04	1351,29		1398,79	1322,71
s	192,11	565,86		257,78	288,78

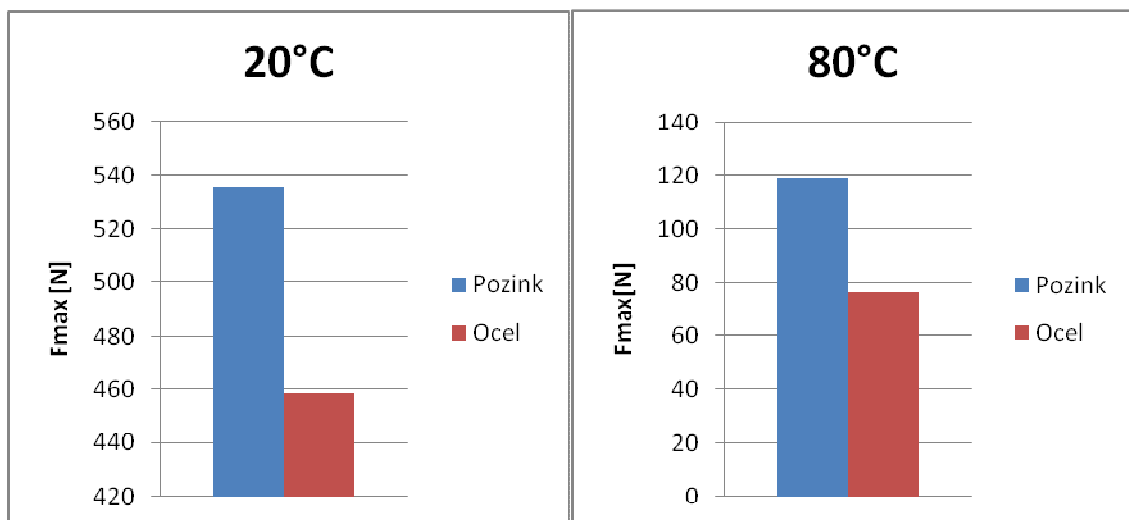


Obr. 11 Maximální únosnost spoje-Plexus MA 310

U lepidla Plexus MA 310 byla největší hodnota F_{max} při teplotě 20°C u pozinkovaného plechu 1653,79 N a ocelového plechu 1865,07 N. Při teplotě 80°C dosahovala největší hodnota F_{max} u pozinkovaného plechu 1693,34 N a u ocelového plechu 1806,05 N.

Tab. 5 Naměřené hodnoty F_{max} [N] při porušení spoje

UHU Greenit				
	20 °C		80°C	
	Pozink	Ocel	Pozink	Ocel
1	521,53	513,12	122,91	36,59
2	337,33	370,56	105,47	86,05
3	705,14	376,43	124,69	95,73
4	615,34	628,73	116,83	62,5
5	498,32	405,5	125,17	102,38
x	535,53	458,87	119,02	76,65
s	137,84	110,87	8,27	27,02

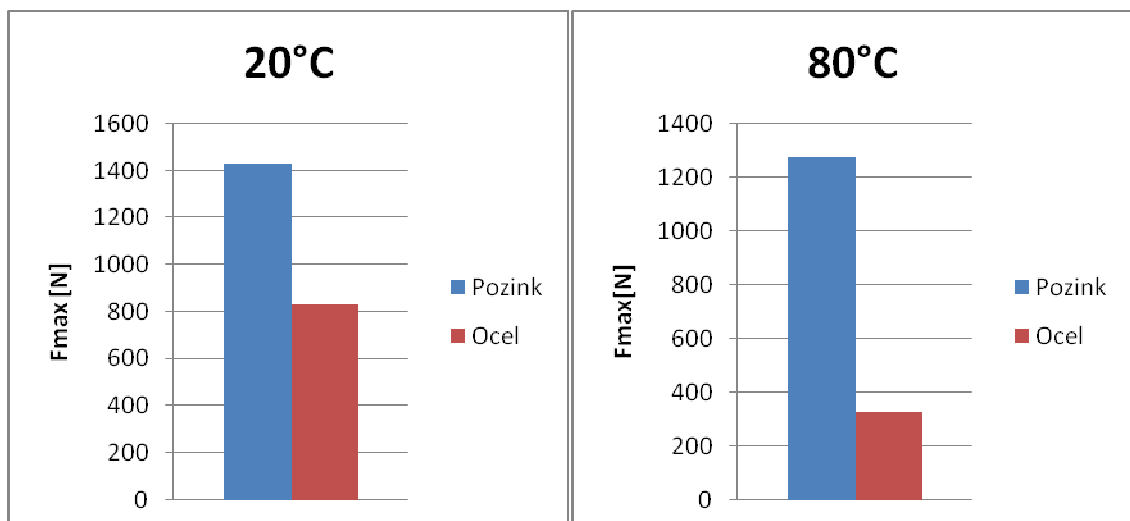


Obr. 12 Maximální únosnost spoje-UHU Greenit

Největší hodnota F_{max} při teplotě 20°C u pozinkovaného plechu byla 705,13 N a u ocelového plechu 628,73 N. Při teplotě 80°C u pozinkovaného plechu byla naměřena hodnota F_{max} 125,17 N a u ocelového plechu 102,38 N.

Tab. 6 Naměřené hodnoty F_{max} [N] při porušení spoje

Super Bond					
	20 °C			80 °C	
	Pozink	Ocel		Pozink	Ocel
1	1542,78	1667,66		1025,65	289,44
2	1335,17	670,33		1452,87	373,26
3	1487,34	527,53		1456,1	204,25
4	1298,45	635,11		1111,29	360,7
5	1495,99	660,58		1325,26	422,48
x	1431,95	832,87		1274,24	330,03
s	125,36	470,46		325,5	84,89

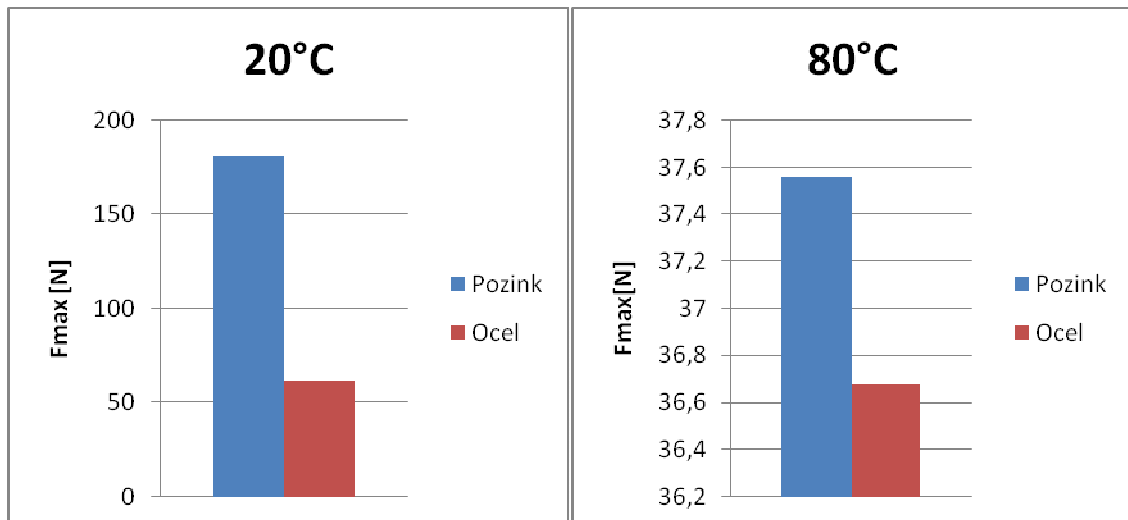


Obr.13 Maximální únosnost spoje-Loctite Super Bond

Největší Hodnota F_{max} při teplotě 20°C u pozinkovaného plechu byla 1542,78 N a u ocelového plechu 1667,66 N. Při teplotě 80°C u pozinkovaného plechu byla naměřena hodnota F_{max} 1025,65 N a u ocelového plechu 422,48 N.

Tab. 7 Naměřené hodnoty F_{max} [N] při porušení spoje

Super Attak					
	20 °C			80 °C	
	Pozink	Ocel		Pozink	Ocel
1	371,24	-		48,05	26,05
2	79,12	44,04		26,67	54,68
3	136,48	-		38,37	49,22
4	300,53	59,87		71,39	3,16
5	178,84	144,41		3,33	50,28
x	180,93	62,06		37,56	36,68
s	82,88	60,47		25,23	21,81

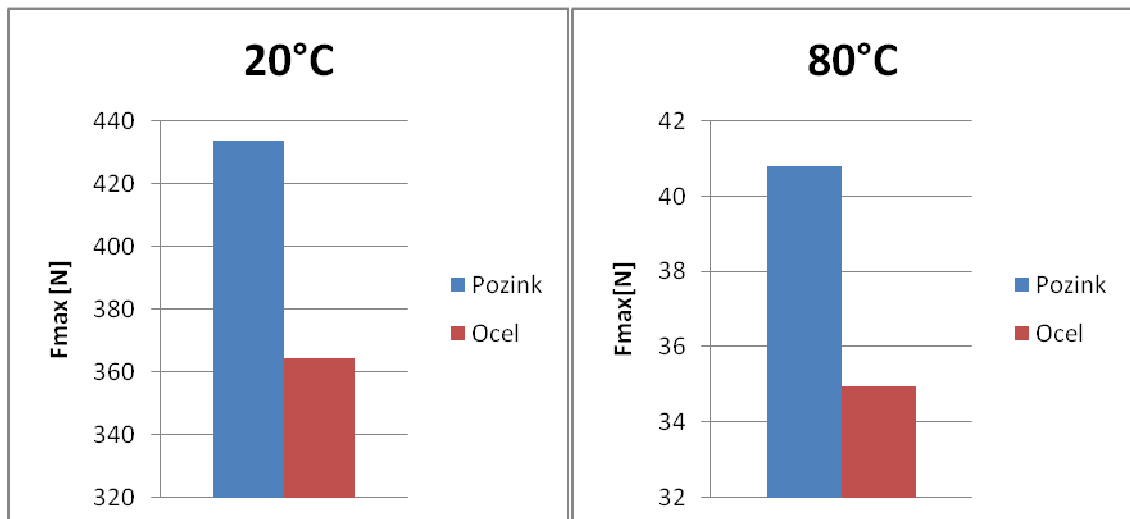


Obr.14 Maximální únosnost spoje-Loctite Super Attak

Největší hodnota F_{max} při teplotě 20°C u pozinkovaného plechu byla 300,53 N a u ocelového plechu 144,41 N. Při teplotě 80°C pro pozinkovaný plech byla naměřena hodnota F_{max} 71,39 N a u ocelového plechu 54,68 N.

Tab. 8 Naměřené hodnoty F_{max} [N] při porušení spoje

Extrém					
	20 °C			80°C	
	Pozink	Ocel		Pozink	Ocel
1	426,65	319,17		37,21	-
2	401,42	328,2		69,02	56,12
3	510,58	316,6		29,31	42,63
4	552,45	578,23		35,76	35,52
5	278,6	279,97		32,71	24,44
x	433,94	364,43		40,8	34,95
s	106,26	120,93		16,06	15,61

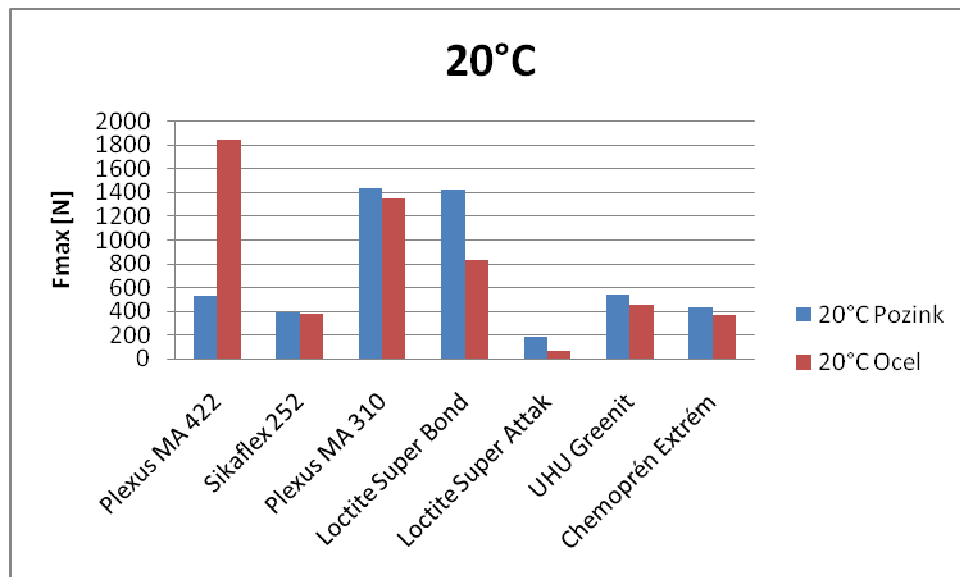


Obr.15 Maximální únosnost spoje-Chemoprén Extrém

Největší hodnota F_{max} při teplotě 20°C pro pozinkovaný plech byla 552,45 N a pro ocelový plech 578,23 N. Při teplotě 80°C pro pozinkovaný plech byla hodnota F_{max} 69,02 N a pro ocelový plech 56,12 N.

Tab. 9 $F_{max}[N]$ při 20°C

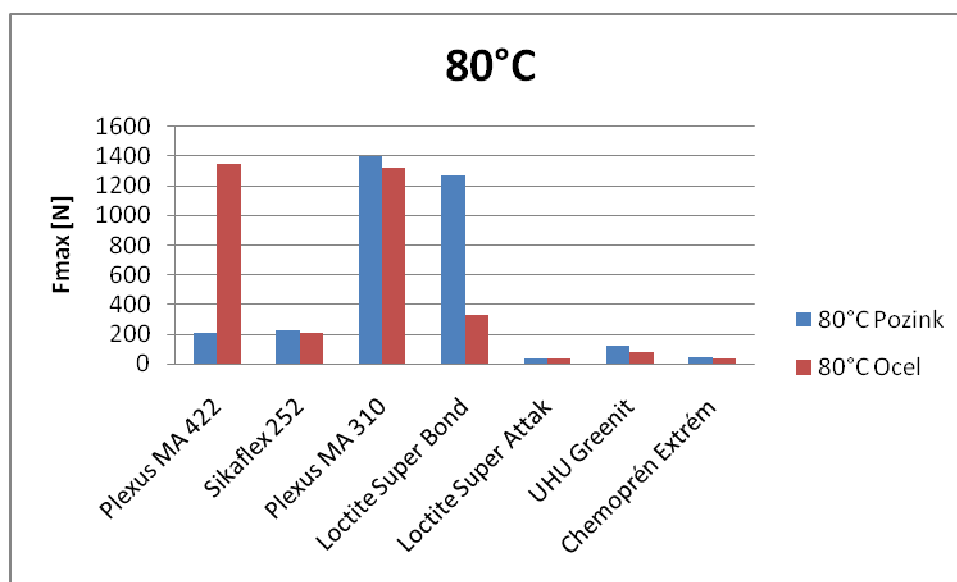
20°C		
	Pozink	Ocel
Plexus MA 422	534,46	1845,3
Sikaflex 252	394,33	381,13
Plexus MA 310	1437,64	1351,29
Loctite Super Bond	1431,95	832,87
Loctite Super Attak	180,93	62,06
UHU Greenit	535,53	458,87
Chemoprén Extrém	433,94	364,43

Obr. 16 Srovnání F_{max} [N] jednotlivých lepidel

Největších hodnot při 20°C vykazovalo lepidlo Plexus MA 422 pro ocelový plech. Vysokých hodnot dosahovalo další lepidlo plexus MA 310 pro oba druhy plechu a sekundové lepidlo Super Bond pro použití na pozinkovaný plech. Malých hodnot vykazovaly obě kaučuková lepidla UHU Greenit a Chemoprén Extrém a kyanoakrylátové lepidlo Loctite Super Attak.

Tab. 10 F_{max} [N] při 80°C

80°C		
	Pozink	Ocel
Plexus MA 422	204,36	1346,49
Sikaflex 252	227,57	207,51
Plexus MA 310	1398,79	1322,71
Loctite Super Bond	1274,24	330,03
Loctite Super Attak	37,56	36,68
UHU Greenit	119,02	76,65
Chemoprén Extrém	40,8	34,95

Obr. 17 Srovnání F_{max} [N] jednotlivých lepidel

Při teplotě 80°C největších hodnot dosahovalo opět lepidlo Plexus MA 310 pro oba druhy plechu, Plexus MA 422 na ocelovém plechu a sekundové lepidlo Super Bond na pozinkovaném plechu. Malých hodnot bylo podobně jako při 20°C dosaženo u lepidel Loctite Super Attak, UHU Greenit a Chemoprén Extrém.

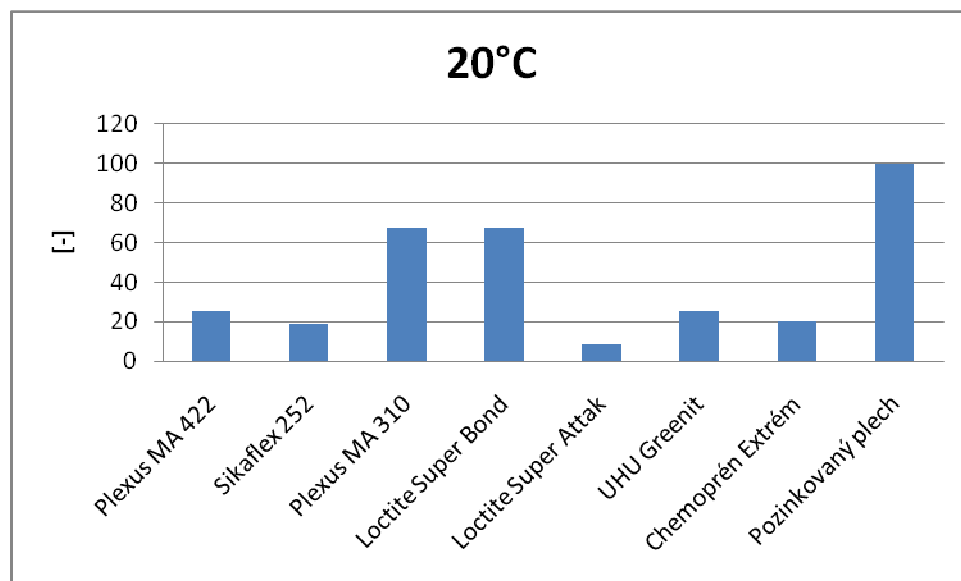
7.4 Diskuze výsledků

V experimentální části bylo použito sedm typů lepidel pro lepení, u nichž byla sledována maximální síla dosažená při porušení lepeného spoje zkušební tělesa. Materiál vybraný pro zkušební tělesa byl použit pozinkovaný a ocelový plech. Pro každý vybraný typ lepidla bylo připraveno 10 kusů zkušebních těles, kde pět kusů bylo zkoušeno při teplotě okolí (20°C) a pět kusů bylo testováno za zvýšené teploty (80°C). Pro temperaci zkušebních těles na zvýšenou teplotu (80°C) byla použita teplotní komora, která je součástí trhacího stroje Zwick 1456.

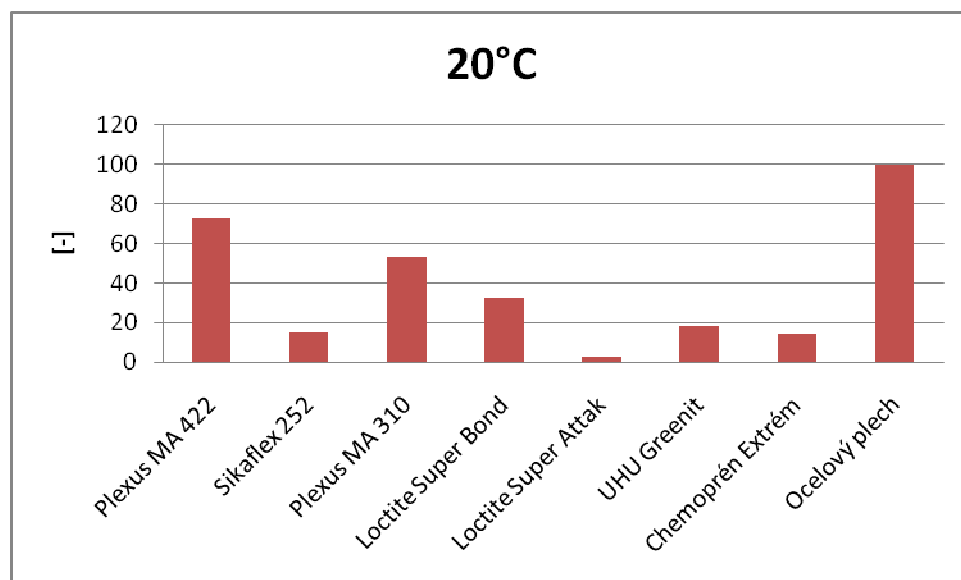
Z naměřených výsledků vyplývají nosnosti lepených spojů za teploty okolí (20°C) a za zvýšené teploty (80°C). Při hodnocení výsledků lepených spojů testovaných při teplotě 20°C bylo zjištěno, že jako nejvhodnější typ lepidla pro pozinkovaný plech jsou Plexus MA 310 a Loctite Super Bond, které vykázaly únosnost lepeného spoje v porovnání s lepeným materiálem okolo 65 %. Ostatní tyty lepidel jsou pro lepení pozinkovaného plechu méně vhodná z důvodu malé únosnosti lepeného spoje, který dosahuje 20% pevnosti základního materiálu. U ocelového plechu byla naměřena největší nosnost spoje u lepidla Plexus MA 422 s 70% pevnosti základního materiálu a u lepidla Plexus MA 310 s 55% pevnosti základního materiálu. Ostatní tyty lepidel jsou z důvodu nízké únosnosti lepeného spoje nevhodná.

Při testování únosnosti lepených spojů za zvýšené teploty (80°C) bylo zjištěno, že dvoukomponentní lepidlo Plexus MA 310 se ukázalo jako nejvhodnější typ lepidla pro pozinkovaný plech. Hodnota nosnosti lepeného spoje zde dosáhla přes 60% nosnosti základního materiálu. Také jednokomponentní lepidlo Loctite Super Bond se ukázalo jako vhodné s 60% nosnosti základního materiálu. Všechny ostatní typy lepidel vykazovaly výrazně menší únosnost lepených spojů testovaných za zvýšené teploty. U lepených spojů, kde byl jako materiál použit ocelový plech, byla situace diametrálně odlišná. Zde se prosadily typy dvoukomponentních lepidel Plexus MA 422 a Plexus MA 310, jejichž nosnost lepeného spoje dosáhla 50% nosnosti základního materiálu. U ostatních typů lepidel, včetně jednokomponentních byla nosnost lepeného spoje minimální a dosáhla hodnoty pouhých 10% nosnosti základního materiálu.

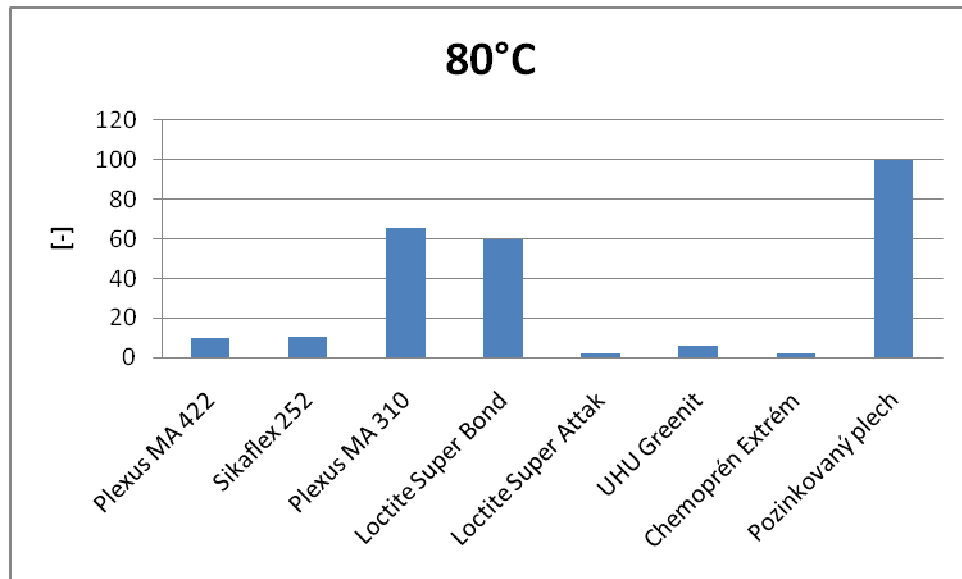
Hodnota F_{max} pro pozinkovaný plech je 2130,38 N, pro ocelový plech 2542,94 N.



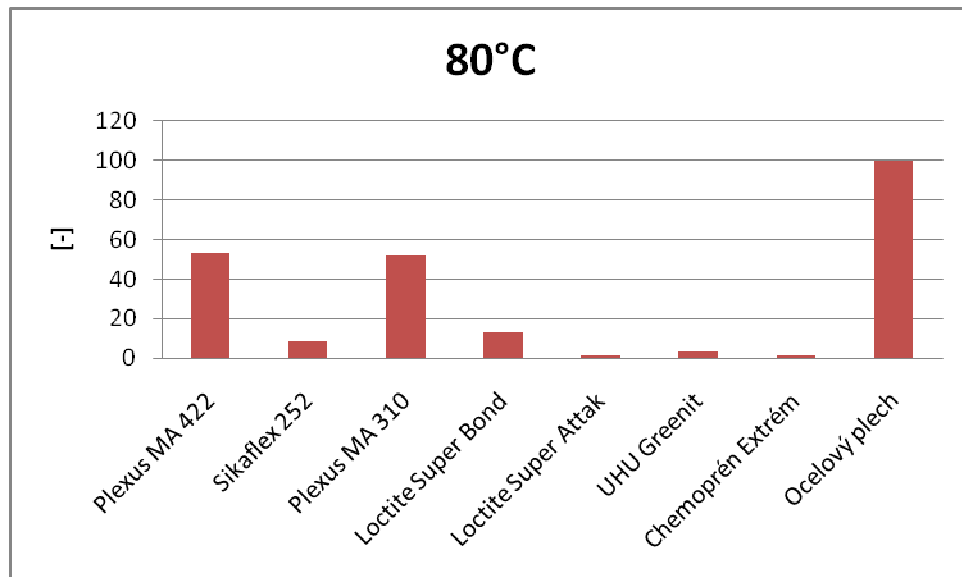
Obr. 18 Procentuální srovnání lepidel s lepeným materiálem



Obr. 19 Procentuální srovnání lepidel s lepeným materiálem



Obr. 20 Procentuální srovnání lepidel s lepeným materiálem



Obr. 21 Procentuální srovnání lepidel s lepeným materiálem



Obr. 22 Roztržený vzorek spoje – Sikaflex 252

Závěr

Bakalářská práce řeší problém nosnosti lepených spojů u dvou typů kovových materiálů (pozinkovaný, ocelový plech), lepených vybranými typy jedno a dvou komponentních lepidel. Zkušební tělesa byla testována za teploty okolí (20°C) a zvýšené teploty (80°C). Zkoušky byly realizovány na trhacím stroji ZWICK 1456 vybaveném teplotní komorou v laboratořích Ústavu výrobního inženýrství.

Z naměřených výsledků vyplynulo, že nejvyšší nosnosti lepených spojů za teploty okolí (20°C) pro pozinkovaný a ocelový plech dosáhly lepidla Loctite Super Bond a Plexus MA 422 a Plexus MA 310. Jejich nosnost se pohybovala okolo 60% nosnosti základního materiálu. Ostatní typy lepidel jsou pro lepení za teploty okolí nevhodná.

Testování lepených spojů zkušebními tělesy za zvýšené teploty (80°C) ukázalo, že nejvhodnější typ lepidla pro lepení ocelového plechu Loctite Super Bond. U pozinkovaného plechu tento typ lepidla (Loctite Super Bond) dosáhl výrazně menší nosnosti a nejlepších výsledků naopak dosáhly dvou komponentní lepidla Plexus MA 310 a Plexus MA 422.

Pro lepení kovových materiálů je nutné pečlivě zvážit, jaký typ kovového materiálu bude lepen, a jaká bude jeho provozní teplota.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Adherent	Lepený materiál, na který se nanáší adhezivum
Adhezivum	Materiál schopný přilnout k tuhému povrchu a držet ho při sobě adhezními silami, lepidlo
Adheze	Schopnost přilnout k povrchu materiálu
Koheze	Vnitřní soudržnost lepidla
F _{max}	Maximální síla dosažená při porušení lepeného spoje

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Struktura lepeného spoje	13
Obr. 2 Koutové spoje	18
Obr. 3 Překlávané spoje	18
Obr. 4 Schéma univerzálního zkušebního stroje	38
Obr. 5 Smluvní diagram napětí-deformace	39
Obr. 6 Tvar zkušebního tělíška pro lepidla Plexus a Sikaflex	43
Obr. 7 Statické mixéry	44
Obr. 8 Průběh promíchání v statickém mixéru	45
Obr. 9 Maximální únosnost spoje-Plexus MA 422	46
Obr. 10 Maximální únosnost spoje-Sikaflex 252	47
Obr. 11 Maximální únosnost spoje-Plexus MA 310	48
Obr. 12 Maximální únosnost spoje-UHU Greenit	49
Obr. 13 Maximální únosnost spoje-Loctite Super Bond	50
Obr. 14 Maximální únosnost spoje-Loctite Super Attak	51
Obr. 15 Maximální únosnost spoje-Chemoprén Extrém	52
Obr. 16 Srovnání F_{max} [N] jednotlivých lepidel	53
Obr. 17 Srovnání F_{max} [N] jednotlivých lepidel	54
Obr. 18 Procentuální srovnání lepidel s lepeným materiálem	56
Obr. 19 Procentuální srovnání lepidel s lepeným materiálem	56
Obr. 20 Procentuální srovnání lepidel s lepeným materiálem	57
Obr. 21 Procentuální srovnání lepidel s lepeným materiálem	57
Obr. 22 Roztržený vzorek spoje – Sikaflex 252	58

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Porovnání různých způsobů spojování kovů podle pevnosti	29
Tab. 2 Naměřené hodnoty F_{max} při porušení spoje	46
Tab. 3 Naměřené hodnoty F_{max} při porušení spoje	47
Tab. 4 Naměřené hodnoty F_{max} při porušení spoje	48
Tab. 5 Naměřené hodnoty F_{max} při porušení spoje	49
Tab. 6 Naměřené hodnoty F_{max} při porušení spoje	50
Tab. 7 Naměřené hodnoty F_{max} při porušení spoje	51
Tab. 8 Naměřené hodnoty F_{max} při porušení spoje	52
Tab. 9 $F_{max}[N]$ při 20°C	53
tab. 10 $F_{max}[N]$ při 80°C	54

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Kovačič, L.: Lepenie kovov a plastov, ALFA SNTL Bratislava 1980, 392 s
- [2] Frejdin, A.: Pevnosť a životnosť lepených spojov, ALFA VTEL Bratislava, 1988, 288 s
- [3] Ptáček, L. a kolektiv: Nauka o material I, CERM, s.r.o., Brno 2001, 505s
- [4] Interní předpisy firmy SIKA CZ s.r.o.
- [5] <http://gluetechnology.eu/4852/lepení-lepenice> [cit. 2010-04-05]
- [6] <http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/28913/1/text.pdf> (bakalářská práce) [cit. 2010-10-04]
- [7] http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/28775/1/KrasulaJ_Lepeni_karoserie_LB_1cast_2008.pdf (bakalářská práce) [cit. 2010-04-04]
- [8] Peterka, J.: Lepení konstrukčních material ve strojírenství, SNTL Praha, 1980, 792 s

PŘÍLOHA P I: NÁZEV PŘÍLOHY