

Lepení kovů

Jan Vaclach

Bakalářská práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan VACLACH**
Osobní číslo: **T10326**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Lepení kovů**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracování literární studie na dané téma.**
- 2. Příprava zkušebních těles pro experimentální část.**
- 3. Provedení experimentu.**
- 4. Vyhodnocení naměřených výsledků.**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího BP.

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. David Maňas, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

8. února 2013

Termín odevzdání bakalářské práce:

17. května 2013

Ve Zlíně dne 11. února 2013



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan



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

Příjmení a jméno: Vaclach Jan

Obor: Technologická zařízení

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně 14.5.2013

Vaclach Jan
.....

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá lepením vybraných typů kovových materiálů (ocelový a pozinkovaný plech) s jedním jednokomponentním (Cyberbond 1008) a dvěma dvoukomponentními lepidly (E705, Tekutý kov). Pevnost lepených spojů je měřena tahovou zkouškou na trhacím stroji Zwick 1456.

Teoretická část bakalářské práce se zabývá seznámením s problematikou základů technologie lepení.

Praktická část bakalářské práce se zabývá přípravou lepených spojů a vyhodnocením jejich pevnosti naměřené tahovou zkouškou.

Klíčová slova: lepený spoj, pevnost lepeného spoje, tahová zkouška

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with bonding metal materials with 1 K (Cyberbond 1008) and 2 K (E705) adhesives. The strength of bonded splices was measured by tensile test in tensile test machine Zwick 1456.

The theoretical part focused introduction of basic of bonding technology.

The practical part focused made of bonding splices and evaluation of results from tensile test.

Keywords: splice bonded, strength of splice bonded, tensile test

Tímto bych chtěl velmi poděkovat vedoucímu moji Bakalářské práce panu doc. Ing. Davidu Maňasovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, připomínky a pomoc, které mi při vypracovávání Bakalářské práce věnoval. Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům za podporu ve studiu.

Motto:

„Když už člověk jednou je, tak má koukat, aby byl. A když kouká, aby byl a je, tak má být to, co je a nemá být to, co není, jak tomu v mnoha případech je.“

Jan Werich

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 TECHNOLOGIE LEPENÍ	13
1.1 LEPENÍ – ZÁKLADNÍ POJMY	13
1.2 TEORIE LEPENÍ	17
1.2.1 Molekulová teorie (adsorpční)	17
1.2.2 Elektrostatická teorie.....	18
1.2.3 Difúzní teorie	18
1.2.4 Chemická teorie	18
1.2.5 Reologická teorie	19
2 TECHNOLOGICKÝ POSTUP LEPENÍ	20
2.1 KONSTRUKCE LEPENÝCH SPOJŮ.....	20
2.2 VÝHODY A NEVÝHODY LEPENÝCH SPOJŮ	22
2.2.1 Výhody lepení	22
2.2.2 Nevýhody lepení	22
2.3 SKLADOVÁNÍ LEPIDEL	23
2.4 SLÍCOVÁNÍ LEPENÝCH DÍLŮ.....	23
2.5 ČIŠTĚNÍ A ODMAŠŤOVÁNÍ.....	23
3 ROZDĚLENÍ LEPIDEL	24
3.1 ROZDĚLENÍ PODLE CHEMICKÉ BÁZE	24
3.2 ROZDĚLENÍ LEPIDEL PODLE ZPŮSOBU TUHNUTÍ VE SPOJI.....	24
3.2.1 Lepidla tuhnutí vlivem vsáknutí a odtěžení rozpouštědel	24
3.2.2 Lepidla reaktivní	25
3.2.3 Tavná lepidla	25
3.2.4 Lepidla nastavitelná (zažehlovací).....	25
3.2.5 Lepidla stále lepivá	25
3.3 VÝBĚR LEPIDLA.....	26
3.3.1 Určení lepeného materiálu	26
3.3.2 Požadované vlastnosti spoje.....	26
4 ODOLNOST LEPENÝCH SPOJŮ	27
4.1 ODOLNOST PROTI PŮSOBENÍ ZVÝŠENÉ A SNÍŽENÉ TEPLOTĚ	27
4.2 ODOLNOST PROTI VLIVU VODY.....	27
4.3 VLIV CHEMICKÉHO PROSTŘEDÍ NA PEVNOST LEPENÝCH SPOJŮ	28
4.4 ZVÝŠENÍ ODOLNOSTI LEPENÝCH SPOJŮ PROTI VODĚ	28
5 PROGNOZOVÁNÍ VLASTNOSTÍ LEPENÝCH SPOJŮ	29
5.1 ZKOUŠENÍ LEPENÝCH SPOJŮ	29
5.1.1 Destruktivní zkoušky	30
5.1.1.1 Metody nerovnoměrného odhrnutí	30
5.1.1.2 Metody rovnoměrného odtrhnutí	30
5.1.1.3 Metody s využitím namáhání ve smyku	31
5.1.2 Nedestruktivní zkoušky.....	32
5.1.3 Zkoušky odolnosti lepených spojů.....	33

5.2	CHARAKTER DESTRUKCE SPOJŮ	33
II	PRAKTICKÁ ČÁST	34
6	CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI.....	35
6.1	ZKOUŠKA TAHEM	36
6.2	PŘÍPRAVA A PROVEDENÍ	38
6.3	VYHODNOCENÍ NEMĚŘENÝCH HODNOT	41
6.3.1	Neměřené hodnoty pro vteřinové lepidlo.....	42
6.3.2	Naměřené hodnoty pro dvousložkové epoxidové lepidlo E705	43
6.3.3	Naměřené hodnoty pro dvousložkové lepidlo Tekutý Kov	44
7	DISKUSE VÝSLEDKŮ	45
8	ZÁVĚR.....	49
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	50
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	51
	SEZNAM OBRÁZKŮ	52
	SEZNAM TABULEK.....	53

ÚVOD

Obsahem Bakalářské práce je technologie lepení a zjišťování pevnosti daných lepených spojů za normální a zvýšené teploty.

Lepené spoje jsou nerozebíratelné spoje s materiálovým stykem. Vlastnost, která je příčinou přilnutí dvou látek k sobě je adheze (přilnavost). Mechanická adheze vzniká při lepení látek (kovových i nekovových), u nichž tekuté lepidlo proniká do pórů a nerovností povrchu. Dalším faktorem je koheze (soudržnost), tj. výslednice přitažlivých sil mezi molekulami lepidla. Lepení se v dnešní době stalo jednou ze základních technologií pro spojování kovových i nekovových materiálů.

K lepení se ve starověku získával albumin ze zvířecí krve, dextrin z papyrusu, vaření kostí, kůží a zbytků ryb se vyráběl glutin. Ve starověku se k lepení nejvíce používal rybí klič. K lepení zlatých fólií na papír se používaly vaječné bílky. Roku 1690 byly v Holandsku založeny první plantáže, které zajišťovali suroviny pro výrobu kliču. První továrny na výrobu rybího kliču vznikaly v Anglii kolem roku 1700, první patent na výrobu lepidla byl udělen v Americe roku 1814. V roce 1823 bylo v Anglii patentováno lepení kaučukovým lepidlem. Počátek průmyslového použití syntetických lepidel se váže k roku 1890, pro výrobu překližek. V roce 1930 přechází překližkárny na lepidla na bázi močoviny a fenolic- kých pryskyřic. Obuvnictví začíná využívat ve značné míře polychloroprenová lepidla. Až do druhé světové války byly lepeny pouze materiály, které byly schopné lepidlo vsáknout (dřevo, kůže, textil, papír). Výjimkou v této předválečné éře byla folie na bázi fenolické pryskyřice, která byla použita ve stavbě větroňů a dřevěných motorových letadel. Umožni- la poznat přednosti lepených spojů, zejména co do úspor hmotnosti a vyšší únavové pev- nosti. Z období před druhou světovou válkou mají pro lepení značný význam objevy někte- rých polymerů. Nesporným mezníkem v historii techniky lepení je objev fenolformalde- hydové pryskyřice, modifikované polyvinilformalem (výroba letounů DH-103 Hornet). Byl to letoun smíšené konstrukce ze dřeva a kovu, kde bylo dosaženo snížení množství dřeva na sklápěcích křídlech lepením duralu na překližku. Od té doby se vůdčím oborem techniky stává letectví – a zůstává v čele prakticky až do současnosti.

Technika spojování konstrukčních materiálů lepením dnes zasahuje prakticky do všech průmyslových odvětví. Jednou z hlavních výhod spojování lepením je možnost spojovat různé konstrukční materiály.

Výsledná pevnost lepeného spoje nejvíce závisí na:

- Přílnavosti lepidla k lepenému povrchu (adheze)
- Soudružnosti (vnitřní pevnosti) lepidla (koheze)
- Smáčivosti lepeného materiálu
- Na pevnosti lepeného materiálu

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNOLOGIE LEPENÍ

1.1 Lepení – základní pojmy

Absorpce – 1. Fyzikálně chemický jev

2. kapilární anebo korpuskulární přitažlivost mezi povrchem adherendu a kapalným filmem lepidla.

3. termín používaný pro jev pohlcení plynů anebo jiných vrstev na povrchu adherendu lepidlem

Adherend – část lepeného spoje, těleso, resp. materiál, na který se nanáší adhezivum a který utváří s jiným anebo stejným materiálem spoj působením adheze.

Adheze – vzájemné přitahování dvou povrchů adhezivními silami. Pojem adheze se odlišně používá v technologii, fyzikální chemii, dopravě a jiných odvětvích.

Adhezivum – Materiál schopný držet při sobě povrchy tuhých látek adhezivními a kohezivními silami (lepidlo)

Čas schnutí lepidla – je čas od nanesení lepidla až do okamžiku, kdy při dotyku prstem a jeho oddálení lepidlo už netvoří tzv. vlas, ale je ještě lepitelné bez „oživování“ povrchu.

Difúzní teorie adheze – tvrdí, že pevnost spoje vzniká vzájemnou difúzí povrchu napříč jejich společným rozhraním

Difúzní lepení – způsob lepení založený na difúzi lepidla do spojovaného materiálu. K tomuto procesu dochází např. při chemickém svařování.

Elektrostatická teorie adheze – předpokládá vznik dvojitého odlišně nabitých vrstev na povrchu adherendů, které tvoří adhezivní spoj.

Hustota kohezivní energie – fyzikální veličina udávající míru přitažlivosti molekul jako množství energie potřebné na vypaření jednoho ml kapaliny.

Hystereze smáčení – jev, který vysvětluje, že na stejné základně kapky může být odlišný objem kapaliny, tzn. odlišný kontaktní úhel. Je projevem schopnosti smáčení a povrchového napětí.

Chemická teorie adheze – tvrdí, že na vznik adhezivního spoje je nevyhnutelná vzájemná reakce povrchů, při které mezi nimi vzniknou primární chemické vazby napříč rozhraním.

Pro vznik takových vazeb však často chybí základní termodynamické podmínky. Tato teorie se někdy zaměňuje s chemisorbcí.

Chemisorpce – adsorpce, kde jsou hlavním podílem při vzniku přitažlivosti částic a povrchem chemické vazby.

Koheze – stav, ve kterém částice látky působením vzájemných valenčních a mezimolekulových sil drží pohromadě. Označuje se i jako vnitřní adheze. Velikost koheze udává tzv. kohézní energie, kterou je možné vyjádřit energií potřebnou na oddělení částičky od ostatních

Kohezivní lom – kohezivní porucha – Destrukce spoje, při které trhлина prochází materiálem lepidla. Znamená to, že adheze mezi lepidlem a adherendem je větší než koheze lepidla. Obvykle se udává podíl kohezivní poruchy na celkové poruše spoje v procentech.

Lepená plocha – plocha každého z obou adherendů určená na slepení. Zpravidla se rozumí geometrická plocha, někdy se uvažuje i její specifický povrch.

Lepení – proces spojování adherentů prostřednictvím lepidel (adheziv), při kterém se využívají adhezivní síly mezi adherendem a lepidlem a kohezí lepidla.

Lepený spoj – soustava dvou adherendů spojených adhezivem. Adhezivní vrstvu může podle potřeby tvořit vícevrstvý systém jednoho nebo více adheziv. Podle způsobu spojení hlavních částí rozeznáváme spoje: koutové, přeplátované. Které mohou mít mnoho konstrukčních modifikací.

Lepidlo – prostředek na adhezivní spojení, slepení dvou adherendů. Může být jednosložkové nebo více složkové. Vždy obsahuje adhezivní základ a často ještě rozlišné rozpouštědla a přísady.

Lepkavost – vlastnost kontaktního lepidla, která umožňuje vznik spoje s pevností, kterou je možno měřit bezprostředně po stlačení adherendu a lepidla relativně nízkým tlakem.

Mechanická adheze – soudržnost lepidla a adherendu zapříčiněná mechanickým zakotvením lepidla v povrchových nerovnostech a pórech adherendu.

Moření – způsob úpravy povrchu adherendu před lepením pomocí činidel, se kterým povrch reaguje, přičemž se mění chemická a povrchová struktura vrchní vrstvy adherendu.

Nedestruktivní zkoušky spojů - skupina zkušebních metod kvality spojů, při nichž rozlišnými fyzikálními prostředky měří vlastnosti spoje, ze kterých se potom nepřímo posuzu-

je kvalita a pevnost lepeného spoje bez jeho poškození. Nejznámější jsou ultrazvukové metody a použití radioaktivního záření.

Odmaštění – povrchová úprava adherendu před lepením, jejímž cílem je odstranit z povrchu mastné částice. Povrch adherendu při tomto procesu nereaguje odmašťovadlem chemicky, i když může dojít k jeho rozpuštění. Na odmašťování se používají organická rozpouštědla a alkalické odmašťovadla, při čemž jejich účinek lze kombinovat s působením ultrazvuku.

Penetrace – vnikání adheziva do adherendu. Udává se hloubkou proniknutí do adherendu.

Pravý spoj - spoj utvořený adhezí dvou povrchů, kde jsou vazebné vrstvy tak pevné, že lom probíhá mimo ně. Pravý spoj může teda vykazovat jen kohezivní lom.

Reologická teorie adheze – nevysvětluje vlastní příčinu adheze. Tvrdí, že pevnost lepeného spoje závisí jedině na reologických vlastnostech (teda i kohezi) lepidla a adherendu. [3]

Smáčivost – z teorie adsorpce je známo, že má-li kapalina pevnou látku smáčet, což je jedním z předpokladů adheze, musí být její povrchové napětí menší než povrchové napětí smáčené hmoty. [4]

Smíšený lom – destrukce spoje, při které je část trhliny mezi lepidlem a adherendem a část v hmotě některého z těchto součástí spoje. Je to přechod mezi adhezivním a kohezivním lomem.

Tloušťka štěrbin spoje – střední tloušťka mezery mezi spojovanými adherendy. Odpovídá skutečné vrstvě lepidla ve spoji

Tloušťka vrstvy lepidla - střední tloušťka vrstvy lepidla naneseného na adherendu.

Termodynamická adheze – přitažlivost dvou povrchů, kterou je možné měřit a vyjádřit termodynamickými veličinami. Vztahuje se fyzikálněchemické charakter adheze a používá se v teoretické literatuře

Tmel – materiál s adhezivními vlastnostmi, který se vyznačuje dlouhodobou lepkavostí a nanáší se zpravidla v hrubých vrstvách a jeho úlohou není tvorba spoje, ale zpravidla utěsňuje spoj vytvořený jiným způsobem.

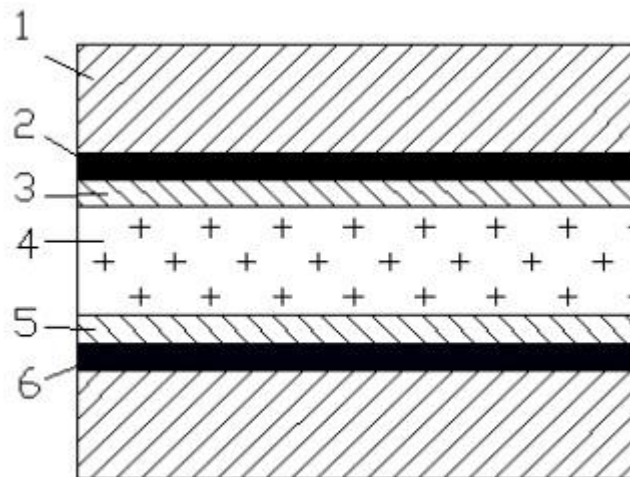
Vrstva lepidla – prostor mezi dvěma spojovanými adherendy vyplněný lepidlem

Vytvrzení – změna fyzikálních vlastností adheziva v důsledku chemického nebo fyzikálního procesu. Chemické příčiny: polymerizační reakce, zesíťování, vulkanizace. Fyzikální příčiny: odpaření rozpouštědel, ztuhnutí taveniny.

Vytvrzovací čas - čas, po který je potřeba udržovat lepicí vrstvu ve spoji na stanovené teplotě a tlaku.

Vytvrzovací podmínky – veličiny, resp. vlivy, které působí na vrstvu lepidla ve spoji (měřené v jeho těsné blízkosti) s cílem vyvolat vytvrzení. Zpravidla je to teplota, tlak a čas. [3]

Lepený spoj můžeme podle vnitřní struktury rozložit do tří vrstev a dvou mikrovrstev (obr.1).



Obr. 1 Struktura lepeného spoje

1. Lepený materiál (adherend)
2. Adhezní zóna
3. Přejídná adhezní zóna
4. Kohezní zóna
5. Přejídná kohezní zóna
6. Adhezní zóna

1.2 Teorie lepení

V literatuře i praxi je známo více teorií lepení. Charakteristika jednotlivých teorií se u většiny autorů rozlišným způsobem odlišuje i prolíná. Nejvíce úvah se v současnosti opírá o vztahy molekul, k tomuto názoru se propracoval už Eley: „Možná lze považovat za dokázané, že celý komplex adhezivních jevů je výsledkem vzájemného působení molekul. Adheze tedy souvisí s molekulovou strukturou. Z toho vyplývá, že při adhezi se budou mezi molekulami uplatňovat 1. fyzikální síly, 2. chemické vazby a 3. mezimolekulové síly.“ [3]

Nejčastěji citované teorie adheze:

- Molekulová (adsorpční teorie)
- Elektrostatická teorie
- Difúzní teorie
- Reologická teorie
- Chemická teorie [3]

Často se vzpomíná pojem mechanická adheze. V teorii mechanické adheze se pokusili vysvětlit soudržnost lepených spojů tím, že lepidlo nejprve pronikne do pórů a nerovností povrchů, kde po ztuhnutí vytvoří mechanicky prolnutý systém, podobný spojení pomocí velkého počtu miniaturních kolíčků. Tato teorie dlouho neobstála. McLaren totiž prokázal, že spoje dřeva na řezech podélných k vláknům vykazují vyšší mechanické pevnosti než spoje čelních řezů, kde je četnost pórů vyšší a mělo by tedy docházet k lepšímu zakotvení. Pro vysvětlení adheze lepidel k neporézním materiálům např. ke sklu a kovům, je teorie mechanické adheze nepoužitelná. [4]

1.2.1 Molekulová teorie (adsorpční)

Základem adheze je vzájemné působení molekul adherendu a lepidla, proto je nevyhnutelné, aby oba dva druhy molekul měly polární funkční skupiny schopné vzájemného působení. Proces vzniku adhezivního spoje (vazby) je možné rozdělit na dvě stádia:

- Transport molekul adheziva k povrchu adherendu
- Vzájemné působení mezimolekulových sil po přiblížení se molekul adheziva na vzdálenost menší než 0,5 nm. Tento proces trvá až do dosáhnutí adsorbční rovnováhy

Jako důkaz pro tuto teorii se předpokládají rozličné závislosti pevnosti spoje od počtu funkčních skupin v systému. [3]

1.2.2 Elektrostatická teorie

Tato teorie předpokládá dvojitou vrstvu vytvořenou dotykem dvou odlišných substancí ve spoji jako základ pro vznik adheze. Podle této teorie je spoj kondenzátorem, jehož rozdílně nabyté desky se přitahují. Když je rozdělíme, vzniknutý potencionální rozdíl se musí vybit anebo vyzářit jako elektronová emise.

Zatím se však nedokázalo, že dva elektricky nabitě povrchy zlomeného spoje jsou identické s dvěma neutrálními povrchy, ze kterých byl spoj původně vytvořený (náboj údajně vzniká až po dotyku obou vrstev). [3]

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 na čase, teplotě, viskozitě, relativní molekulové hmotnosti apod. ovlivňuje pevnost spoje.

Tato teorie nevysvětluje možnost spojování materiálů, které navzájem nedifundují a přitom se úspěšně lepí jako např. systém sklo-kov. [3]

1.2.4 Chemická teorie

Na získání pevného spoje, který nebude vykazovat adhezivní, ale jen kohezivní lom, je podle této teorie potřebné, aby materiály, které se mají spojit, navzájem reagovaly vytvořením primárních chemických vazeb napříč rozhraním. Přestože takové vazby někdy vznikají, všeobecné lepení probíhá v termodynamických podmínkách, které vznik chemických vazeb neumožňují. Pokud by takové podmínky nastaly, nelze tvrdit, že vazebné reakce budou probíhat jen na povrchu materiálu, ani to, v jakém rozsahu takové reakce pevnost spoje ovlivňují, anebo jestli pevnost jednoznačně zvyšují. [3]

1.2.5 Reologická teorie

Je to nejnovější teorie, podle které člověk způsobuje adhezi na rozhraní dvou materiálů, pevnost lepeného spoje je dána zásadně fyzikálně-chemickými a reologickými vlastnostmi materiálů, které vytváří lepený systém. Při podrobném zkoumání lomů se zjistilo, že roztrhnutí pravého spoje nikdy neprobíhá na jeho rozhraní, v jednom nebo druhém materiálu, tedy lom je kohezivní. Proto velký význam bude mít koheze jednotlivých součástí systému. Z toho lze dojít k závěru, že pevnost lepeného spoje je dána mechanickými vlastnostmi materiálů tvořící spoj a místními napětími ve spoji, a ne mezifázovými silami, protože lom je v podstatě vždy kohezivní.

Toto vysvětlení neřeší otázky příčiny vzniku spoje, ale umožňuje realistické výpočty pevnosti spoje. [3]

2 TECHNOLOGICKÝ POSTUP LEPENÍ

Tak jako jiné zpracovatelské metody, vyznačuje se i lepení nejen mnoha výhodami, ale i některými zápornými a limitujícími činiteli, např. vyššími nároky na čistotu a přesnost práce. Při rozhodování typu spoje je třeba uvážit přednosti a nevýhody lepení ve srovnání s tradičními způsoby spojování. [4]

Pro vznik kvalitního lepeného spoje je třeba, aby lepený materiál a lepidlo prošly těmito fázemi:

- Lepidlo musí být nanášeno nebo přeneseno na obě vhodně připravené kontaktní plochy a musí je v tekutém stavu smáčet
- Musí být dány podmínky k tomu, aby se ve spáře vytvořil stejnoměrný film lepidla,
- Film lepidla musí za daných technologických podmínek ve spáře ztuhnout a podle zásad adheze vázat povrchy obou adherendů.

2.1 Konstrukce lepených spojů

Lepené spoje jsou mechanicky namáhány v tahu, tlaku, ve smyku, kroucení v odlupování, kroucení, v rázové pevnosti apod. Ne všem těmto vlivům lepidla dobře odolávají. Proto musí být konstrukce upraveny tak, aby byl spoj namáhán co nejméně v odlupování a kroucení, na němž je většina lepidel velmi citlivá. [4]

Podle definice prvním krokem technologie lepení je konstruktérská a ekonomická analýza. Konstruktérská analýza vychází u potřeby vytvořit spojení dvou konstrukčních částí, které může být nerozebíratelné, ale musí zaručovat žádanou pevnost, bezpečnost a možnost ho vytvořit co nejjednoduššími prostředky. [3]

Napříč přednostmi lepení je lepený spoj náročný kombinovaný systém, kterého pevnost a životnost závisí na mnoha faktorech. Na druhou stranu zvažuje schopnosti vytvořené konstrukce, které jsou dané:

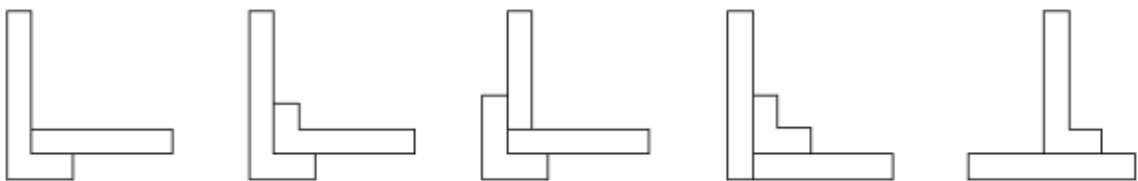
- a) Fyzikálně-mechanickými vlastnostmi lepených materiálů
- b) Fyzikálně-mechanickými vlastnostmi lepidla
- c) Charakterem a velikostí adhezivních na rozhraní adherendů a lepidla
- d) Geometrie spoje[3]

Konstruktér nakonec hodnotí lepený spoj z hlediska technologičnosti, účelnosti a estetičnosti. Abychom dosáhli žádaný úspěch, musíme respektovat tyto základní principy:

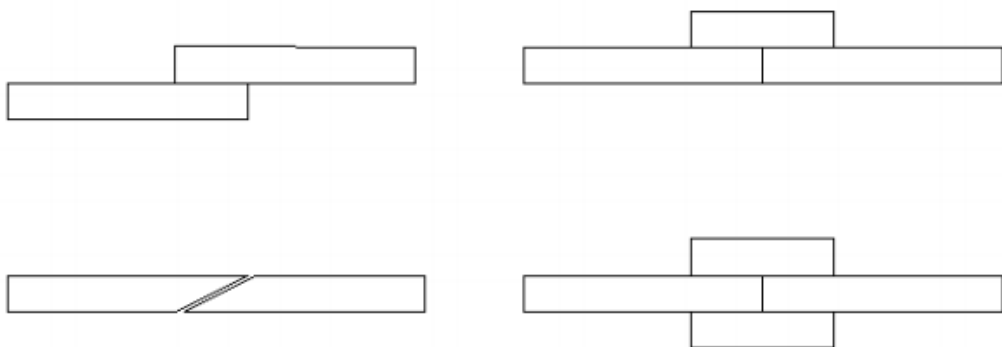
- Největší pevnost spoje se musí orientovat ve směru maximálního namáhání
- Plocha lepeného spoje musí být co největší
- Lepící vrstva musí být maximálně rovnoměrná, souvislá a co nejtenčí
- Koncentraci napětí, se snažím snížit na minimum[3]

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

Hloubka lepícího filmu je velmi důležitá, protože ovlivňuje smykovou pevnost. Čím je film tenčí, tím větší je smyková pevnost. [3]



Obr. 2 Koutové spoje



Obr. 3 Přeplátované spoje

2.2 Výhody a nevýhody lepených spojů

2.2.1 Výhody lepení

- lepení dovoluje spojovat stejné i různorodé materiály bez ohledu na jejich tloušťku
- aplikací lepidel není narušena celistvost spojovaných dílců
- je možné připravit spoje vodotěsné i plynotěsné
- není narušen profil ani estetický vzhled lepeného souboru
- lepený spoj tlumí vibrace v konstrukci a zvyšuje tuhost i vzpěrovou pevnost souboru
- lepený spoj zabraňuje elektrolytické korozi kovových adherendů
- nezvyšuje hmotnost souboru, což je jedním z předpokladů miniaturizace
- spoje mohou být průhledné nebo i barevně přizpůsobené
- lze dosáhnout vysoké pevnosti spojů, zejména při namáhání ve smyku a rázové pevnosti [4]

2.2.2 Nevýhody lepení

- Klade vysoké požadavky na rovinnost a čistotu povrchu lepených dílců (adherendů)
- Jsou nutné speciální úpravy povrchu u adherendů se špatnými adhezními vlastnostmi
- Konstrukčně použitelné spoje nejsou rozebíratelné
- Většina lepených spojů je citlivá vůči namáhání v odlupování
- Životnost reaktivních lepících směsí je omezena
- Maximální pevnosti spoje je dosaženo až po určité době
- Odolnost vůči vyšším teplotám je omezena
- Film termoplastických je citlivý vůči dlouhodobému statickému namáhání (vede k tečení polymerní složky lepidla)
- Lepení v průmyslovém měřítku je náročnější na vybavení pracoviště (nanášecí zařízení, lisy, přípravky apod.) [4]

2.3 Skladování lepidel

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

U mnoha lepidel je předepsáno skladování za teplot do 5°C. Je správné tento předpis dodržovat. Například kyanoakrylátová lepidla se mohou při skladování za laboratorních podmínek znehodnotit už za měsíc, i když výrobce zaručuje jejich skladovací dobu 6 měsíců a prakticky je lze skladovat v lednici asi po dobu jednoho roku [5]

2.4 Slícování lepených dílů

Než se začne upravovat povrch adherendu pro lepení, je třeba lepené díly zkušebně sestavit v lepicím přípravku a přizpůsobit je navzájem i s dosedacími plochami přípravku. Není-li je možno přizpůsobit v předepsaných tolerancích, musí se vyměnit. U lepených dílů se nedá počítat s dodatečnou tvarovou úpravou po slepení, jaká je obvyklá například u nýtování. Pokud nejdou lepené díly před lepením dobře slícovány, vznikne během vytvrzování ve spoji místní koncentrace napětí, která pak oslabuje pevnost spoje. [5]

2.5 Čištění a odmašťování

Povrchová úprava před lepením se obvykle skládá z předběžného čištění a odmašťování a z vlastní úpravy adherendu. Stav povrchu určeného pro lepení může být obecně velmi odlišný. A tak jsou někdy lepeny plochy bez jakékoliv úpravy, někdy postačí jednoduché odmaštění, jindy se plochy jen pískují, brousí apod.

Ve strojírenské výrobě přicházejí díly k lepení už předběžně odmaštěny. Předchozí dílenské zpracování si takové odmaštění vynucuje. To znamená, že díly jsou zbaveny podstatné části konzervačních tuků, ale stále jsou ještě značně zamaštěny. K čištění a odmaštění se používá v podstatě tři způsoby:

- Alkalické odmašťování
- Tamponování rozpouštědly
- Odmašťování v parách rozpouštědla [5]

3 ROZDĚLENÍ LEPIDEL

Nejobecnější rozdělení lepidel je podle jejich:

- Chemické báze
- Principu tuhnutí ve spoji

3.1 Rozdělení podle chemické báze

Lepidla na přírodní bázi

- Organického původu (živočišný nebo rostlinný původ – škrobová lepidla, živočišné klíhy, kaseinová a glutinová lepidla atd.)
- Anorganického a minerálního původu (vodní sklo, sádra, cement, asfalt, keramická lepidla, apod.)

Lepidla na syntetické bázi

- Na bázi reaktoplastů, termopatika, elastomerová (kaučuková) a směsná- epoxidová, polyuretanová a akrylátová lepidla a silikony.

3.2 Rozdělení lepidel podle způsobu tuhnutí ve spoji

- Lepidla tuhnoucí vlivem vsáknutí a odtěkání rozpouštědel
- Lepidla reaktivní
- Lepidla tavná
- Lepidla nastavitelná (zažehlovací)
- Lepidla stále lepivá

3.2.1 Lepidla tuhnoucí vlivem vsáknutí a odtěkání rozpouštědel

Tato lepidla obsahují 20-60% přírodní nebo syntetické filmotvorné látky rozpuštěné nebo dispergované ve vodě anebo rozpuštěné v organických rozpouštědlech. Mohou být aplikována jen tehdy, je-li jeden z adherendů propustný pro plyny. Pokud to konstrukce dovoluje, nanášejí se na obě kontaktní plochy. Při vysychání rozpouštědel a dispergačních látek se původní objem naneseného lepidla zmenšuje. Aby se vytvořil neporušený tenký film, musí styčné plochy dobře přiléhat. Tato lepidla jsou charakterizována jako lepidla se špatnými „výplňovými“ vlastnostmi. [4]

3.2.2 Lepidla reaktivní

Tuhnou vlivem změn ve vnitřní struktuře filmotvorného polymeru. Společným znakem těchto změn je propojení (síťování) lineárních makromolekul do jediného prostorového útvaru. Tato lepidla rozlišujeme:

- a) Jednosložková – aktivace zpravidla zvýšením teploty
- b) Vícesložková – aktivace smíšením daných složek ihned, nebo následně zvýšenou teplotou.

Reaktivní lepidla většinou ztrácejí po aktivaci na viskozitě, a teprve po určitém časovém intervalu (zpravidla v závislosti na teplotě okolí a poměru složek) postupně houstnou, gelovatí a tuhnou. Proto je možné i dodatečně poopravit polohu spojovaných dílů. [4]

3.2.3 Tavná lepidla

Výchozí surovinou těchto lepidel jsou termoplastické polymery nebo kopolymery, jejichž vlastností jsou upraveny pryskyřičnými produkty a antioxidačními stabilizátory. Nanášejí se na adherend ve formě taveniny, vždy jednostranně, z pravidla při teplotách 160-200°C. Maximální pevnosti spoje se dosáhne ihned po vychladnutí filmu lepidla ve spoji ochlazením. Tavná lepidla se vyznačují vyšší viskozitou, a proto se i méně vsakují. Tato lepidla se hodí pro lepení porézních i neporézních materiálů na malých až středně velkých plochách. Dodávají se ve formě granulátů, válečků, strun nebo pásků. [4]

3.2.4 Lepidla nastavitelná (zažehlovací)

Aplikační formou těchto lepidel je tuhý vysušený film nanesený na jeden z adherendů z disperze nebo roztoku. Aktivuje se zvýšením teploty za současného působení tlaku, např. zažehlením horkými válci. Hodí se k úpravě dýhovacích folií, textilií a pásků. [4]

3.2.5 Lepidla stále lepivá

Ve spoji nemění svou konzistenci, zůstávají stále vláčná a lepivá a jsou označována jako lepidla se samolepícím efektem. Jsou známa v podobě samolepících pásků, štítků a samolepících tapet, tedy vždy ve spojení s vhodným nosičem. Spoj vzniká pouhým přitlačením lepivé vrstvy k podkladu. Lepidla tohoto druhu slouží k rychlému a na pevnost spoje nenáročnému spojování, např. v kancelářské praxi, v obalové technice. [4]

3.3 Výběr lepidla

3.3.1 Určení lepeného materiálu

Prvním ukazatelem při výběru lepidla, je znalost složení, struktury a propustnosti plynů u obou lepených dílců. Jejich složení určuje druh lepidla z hlediska specifické adheze k oběma povrchům. [4]

3.3.2 Požadované vlastnosti spoje

Důležitým hlediskem pro výběr lepidla a technologie lepení jsou vlastnosti lepeného souboru požadované při jeho použití.

Jsou to nároky na:

- Mechanickou pevnost
- Tepelnou odolnost
- Chemickou stálost
- Vodovzdornost spoje
- Odolnost vůči vlivům povětrnosti, popř. další požadavky.

Ne vždy je možné vyhovět všem nárokům současně, a proto je třeba uvážit, které z nich jsou z hlediska funkce nejdůležitější, a volit kompromisní řešení.

4 ODOLNOST LEPENÝCH SPOJŮ

4.1 Odolnost proti působení zvýšené a snížené teplotě

Spolehlivost lepených spojů záleží na jejich odolnosti proti zvýšeným a sníženým teplotám, to znamená mít schopnost zachovávat si vlastnosti i po dlouhodobém působení zvýšené teploty (tepelná stálost anebo odolnost proti tepelnému stárnutí), při zvýšení nebo snížení zkušební teploty (odolnost proti teplotě a odolnost proti mrazu) a odolnosti proti náhlé změně teploty (tepelný ráz)

Rozdílné podmínky využití lepeného spoje mohou podmiňovat chemický nebo fyzikální mechanismus jeho destrukce. Jak při krátkodobém zahřívání na 700 až 900°C většina lepidel podléhá především tepelnému rozkladu, tak při dlouhodobém působení nižších teplot (100 až 300°C) probíhá zejména termooxidační destrukce. Při změně teploty může v lepidle probíhat fázová přeměna a může se tak změnit jeho struktura. Kromě toho je potřeba brát v úvahu tepelné napětí ve spoji, které vznikají rozdílem v koeficientu tepelné roztažnosti lepených materiálů a lepidla. Tento faktor může působit na spolehlivost lepených konstrukcí při teplotách pod bodem mrazu zejména při rychlém poklesu teploty. [1]

4.2 Odolnost proti vlivu vody

Lepené spoje rozličných materiálů podléhají do určité míry působení vody, jejich pár anebo jiných prostředí, a proto se jejich pevnost snižuje. Působení vody na lepidlo může vést k jeho hydrolyze anebo rozpuštění. Nebobtnávání lepidla ve vodě a jiných prostředích anebo jeho vyschnutí způsobuje vznik napětí ve spoji. Deformace lepených materiálů při změně rovnovážné vlhkosti prostředí se odráží i na stavu lepicí vrstvy. Proto napětí vznikající ve spoji při jeho vlhnutí nebo vysušování ustavičně působí jako dlouhodobé zatížení a způsobuje únavu spoje. Ještě nebezpečnější může být působení proměnlivého navlhávání, které často probíhá v atmosférických podmínkách. Zbytková napětí přitom nabývají cyklický charakter, což výrazně urychluje proces destrukce. Na tomto jevu se zakládají metody zrychleného stárnutí lepených spojů. Skutečné stárnutí lepidla (chemická destrukce) však přitom téměř nikdy nenastává. [1]

Při stanovení odolnosti proti vodě (možno definovat jako stupeň zachování pevnosti při působení vodou) se často používají různá kritéria – krátkodobé (několik dní) anebo dlouhodobé (měsíc, rok a více) působení vody.

4.3 Vliv chemického prostředí na pevnost lepených spojů

Lepené spoje jsou v konstrukcích často vystaveny působení agresivního prostředí, většinou kapalných. Patří k nim anorganické a organické kyseliny, oxidační činidla, zásady, paliva, oleje, organická rozpouštědla, chladicí kapaliny apod.

4.4 Zvýšení odolnosti lepených spojů proti vodě

Zvýšení odolnosti lepených spojů proti vodě je možné dosáhnout rozdílnými způsoby. Tyto jsou založené na:

- povrchové ochraně spojů proti působení vlhkosti,
- snížení navlhání, difúze a pórovitosti lepených materiálů i lepidel,
- jejich modifikaci rozličnými způsoby,
- snížení vlhkostních napětí konstrukčními opatřeními
- modifikací lepidla,
- absorpční úpravě lepených materiálů zvyšujícími odolnost proti vodě, na zvýšení pevnosti a odolnosti adhezivních lepidlo – podklad

Výběr metody závisí na charakteru a vlastnostech lepených materiálů, podmínek využití lepeného spoje a jiných faktorech.

Nejjednodušší způsob zvýšení odolnosti lepeného spoje proti působení vody je povrchová ochrana lepených spojů nátěrem. Další možností je hydrofobizace lepidla při jeho přípravě speciálními přísadami.

Odolnost proti vodě a chemická stabilita lepených spojů kovů se zvyšuje i přidáním inhibitorů koroze do lepící směsi. Přidávají se také inhibitory, které s kovy vstupují do vzájemného absorpčního stavu. [1]

5 PROGNOZOVÁNÍ VLASTNOSTÍ LEPENÝCH SPOJŮ

Pojmem prognózování rozumíme předpověď změny výchozích vlastností spoje v průběhu dlouhodobého využívání při působení rozličných podmínek. Způsoby prognózování se nejčastěji zakládají na zkouškách, při kterých probíhá intenzivní pokles pevnosti anebo jiných vlastností spojů jako v reálných podmínkách. Intenzifikace zkoušek se přitom nemusí projevit na kvalitativní stránce daných zákonitostí. Základní metody prognózování je možno řadit do dvou skupin:

- Metody, u kterých se nebere v úvahu působení vnějších sil
- Metody s dlouhodobým namáháním

Dříve se používali častěji metody první skupiny, ačkoli mají jen omezený význam, jelikož lepené spoje se využívají především pod zatížením. Kromě toho tyto metody dávají jen nepřímou představu o prvním mezním stavu – pevnosti, ale není je možno použít na posouzení dlouhodobého mezního stavu – deformovatelnosti, která se musí brát do úvahy u většiny výrobků současně s pevností. [1]

5.1 Zkoušení lepených spojů

Po zhotovení spoje se zkouší hlavně pevnost a ostatní mechanické vlastnosti.

Tyto vlastnosti jsou závislé:

- Na konstrukci a tvaru spoje
- Na materiálu ze kterých se spoj skládá
- Na směru, způsobu a velikosti namáhání

Zkoušek mechanických vlastností je mnoho. V praxi rozdělujeme tyto zkoušky na dvě hlavní skupiny:

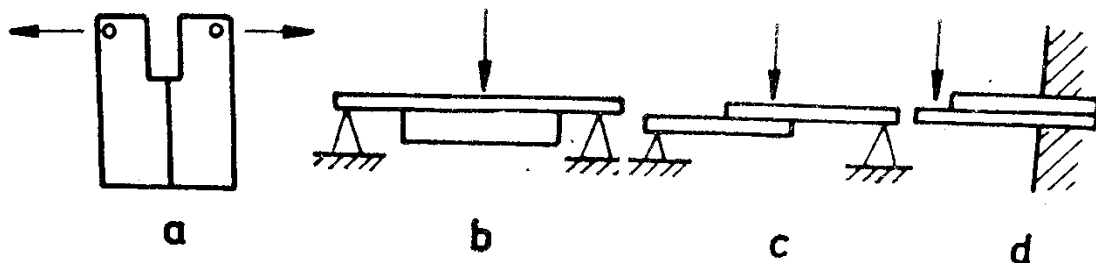
- Destruktivní
- Nedestruktivní [3]

5.1.1 Destruktivní zkoušky

5.1.1.1 Metody nerovnoměrného odtrnutí

Všeobecným znakem této skupiny zkoušek je excentrické působení destruktivní síly, které působí blíže k některému okraji spoje. Na spoje tuhých materiálů se nejčastěji používá některá z následujících metod:

- a) Excentrické roztahování bloků (štípání)
- b) Excentrický ohyb spoje deska-blok
- c) Excentrický ohyb dvou desek
- d) Konzolový ohyb dvou desek



Obr. 4 Zkoušení spojů metodami nerovnoměrného odtrnutí

Při těchto zkouškách vzniká vždy ve spoji komplex napětí. Výsledná hodnota pevnosti závisí na rozměrech bloků a na mechanických vlastnostech, zejména pružnosti a koheze a adheze lepidla k substrátu. Získané hodnoty pevností jsou nižší jako pevnosti při zkouškách v tahu nebo ve smyku. [3]

5.1.1.2 Metody rovnoměrného odtrnutí

Na rozdíl od metod rovnoměrného odtržení, při kterém trhлина ve spoji zpravidla postupuje od některého okraje, až se odtrhne spoj po celé ploše, metodami rovnoměrného odtrnutí se měří velikost síly potřebné na odtrnutí celé dotekové (lepené) ploše součástí.

Rozdíl je i ve směru působení namáhání. Při nerovnoměrném odtrnutí směr působení síly mohl s rovinou spoje svírat různé úhly do 180°. Metody rovnoměrného odtrnutí působí silou kolmou na rovinu spoje. [3]

Pevnost spoje v tomto případě vyjádříme silou potřebnou na přetržení, která se vztahuje na jednotku plochy v MPa. Vyjádřeno rovnicí:

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

Kde S je lepená plocha:

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

F – síla potřebná na přetržení spoje [N]

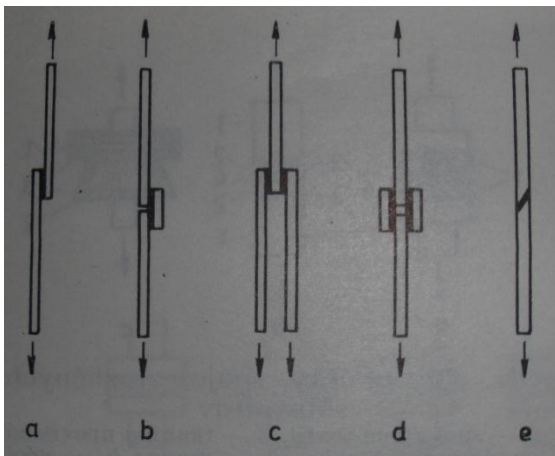
S – plocha lepeného spoje [mm²]

b – šířka lepeného spoje [mm]

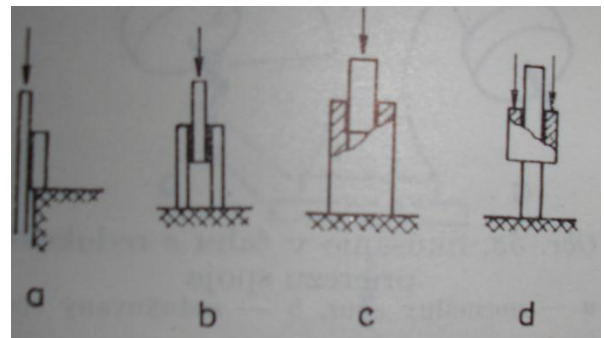
l – délka lepeného spoje [mm]

5.1.1.3 Metody s využitím namáhání ve smyku

Zkušební metody, při kterých probíhají ve vrstvě lepidla smykové (střihové) napětí, jsou nejznámější a nejvíce rozšířené. Ačkoliv se často používají při rozličných materiálech, jsou určeny pro spoje tuhých substrátů, přičemž se na části spoje působí paralelně (tangenciálně) s rovinou spoje – tahem, tlakem anebo kroucením. Hodnoty pevnosti ve spojích, které mají normalizované rozměry, se udávají v MPa. [3]



Obr. 6 Způsoby zkoušek pevnosti ve smyku tahem.



Obr. 5 Způsoby zkoušek pevnosti ve smyku tlakem. a,b – deskové spoje (ploché), c,d – rotační spoje (válcové)

5.1.2 Nedeštruktivní zkoušky

Nedeštruktivní zkoušky kvality materiálů, které se začali rozvíjet v padesátých letech, tvoří dnes rozsáhlý systém na měření mnohých vlastností materiálů a konstrukcí. Na začátku to byly měření rovnoměrnosti tloušťky a celistvosti materiálů, později i povrchových vlastností a koheze.

Metody nedeštruktivních zkoušek jsou založeny na použití:

- radioaktivních záření
- Akustické a ultrazvukové rezonance
- Elektronové mikroskopie
- Elektronové emise
- Porovnávání elektrických impedancí, dielektrické konstanty, tepelné vodivosti
- Infračerveného záření
- Laserových paprsků

Nestanovuje se teda jen pevnost. Vlastnosti materiálů a konstrukcí se však nedeštruktivními zkouškami stanovují jen nepřímou, což je příčinou časté nedůvěry.

Použití nedeštruktivních zkoušek má mnoho ekonomických i technických výhod, vyžaduje si však dokonalou přípravu, v rámci které je potřeba důkladně:

- Stanovit úroveň přijatelnosti údajů z nedeštruktivních testů a jejich převodu na konkrétní hodnoty vlastností spoje
- Vybrat, které metody a na kterém parametry se budou používat
- Vyrobit porovnávací etalony
- Stanovit vzorky na nedeštruktivní zkoušky (tvar, počet, frekvenci a rozsah zkoušek)
- Analyzovat údaje vybraných měřících zařízení a transformovat je na konkrétní technologická opatření
- Stanovit způsob, frekvenci a převod údajů z porovnávacích destruktivních zkoušek

Tímto způsobem se zabezpečí omezení destruktivních zkoušek, které se vyžadují dlouhý čas na přípravu, realizaci a vyhodnocení, stejně jako poměrně vysoké náklady na materiál. Nedeštruktivní zkoušky po správné kalibraci možno provádět současně s technologií výroby a podle potřeby na každém výrobku. [3]

5.1.3 Zkoušky odolnosti lepených spojů

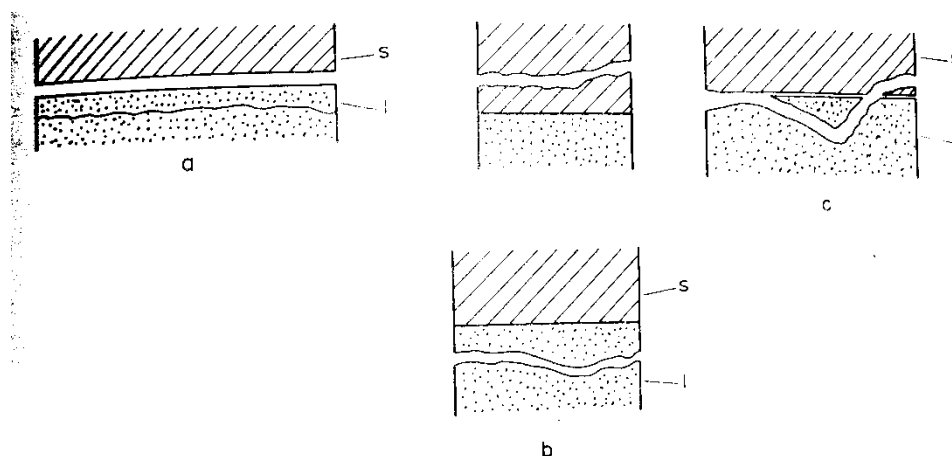
Stanovení životnosti lepených spojů v prostředí využití je pro průmysl velmi důležité a má velký význam i pro rozšíření technologie lepení. Pro hodnocení kvality lepeného spoje se nejčastěji používají zkoušky při zvýšené teplotě, pod vlivem vlhkosti při ponoření do kapalin, při postřikování solnými roztoky, resp. v solné komoře a zkoušky při urychleném stárnutí, resp. po vystavení vnějším podmínkám.

Tyto zkoušky zpravidla vycházejí ze známých zkoušek mechanických vlastností, které se navíc kombinují s náročnějšími zkušebními podmínkami. Zkouška se tady vykonává během anebo po vystavení spoje zvýšené teplotě anebo vlhkosti, chemickým činidlům a podobně. [3]

5.2 Charakter destrukce spojů

Libovolný systém lepidlo-adherend můžeme charakterizovat nejen pevností adhezivního spojení, ale i charakterem jeho narušení. Za všeobecně přijatou je možné považovat následující klasifikaci způsobů narušení – destrukce – spoje:

- Adhezivní charakter destrukce (lomu) – lepidlo se úplně odděluje od adherendu
- Kohezivní charakter destrukce (lomu) trhlinka probíhá v hmotě lepidla anebo adherendu, resp. v obou vrstvách
- Smíšený – trhlinka probíhá částečně mezi lepidlem a adherendem a částečně v adherendu, resp. lepidle



Obr. 7 Charakter lomu lepeného spoje

a – adhezivní lom, b – dvě formy kohezivního lomu, c – smíšený lom,

s – substrát, l - lepidlo

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

Cílem praktické části bakalářské práce bylo porovnání pevnosti lepených spojů u dvou vybraných kovových materiálů (ocelový a pozinkovaný plech). Jako lepidla byla použita dvě dvoukomponentní (2K) a jedno jednocomponentní (1K). Pevnost lepených spojů byla testována tahovou zkouškou na trhacím stroji Zwick 1456, vybaveném mechanickým extenziometrem. Naměřené hodnoty byly graficky znázorněny a vyhodnoceny.

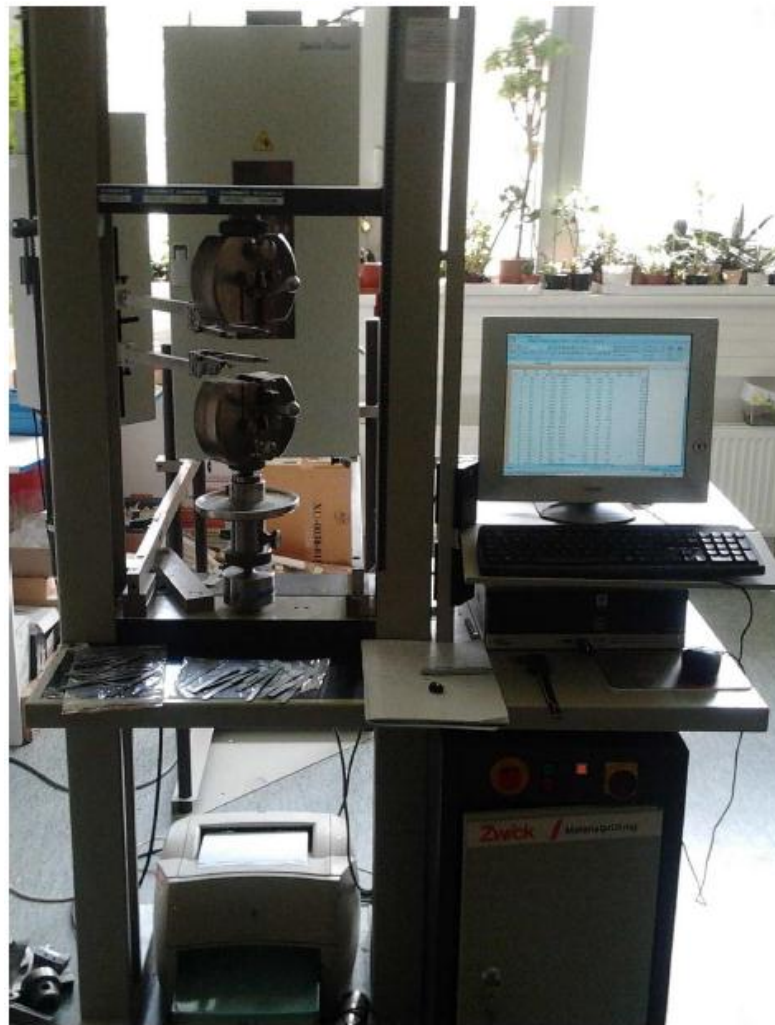
Cílem bakalářské práce bylo:

1. Vypracování literární studie na dané téma
2. Příprava zkušebních těles pro experimentální část
3. Provedení experimentu
4. Vyhodnocení naměřených výsledků

6.1 Zkouška tahem

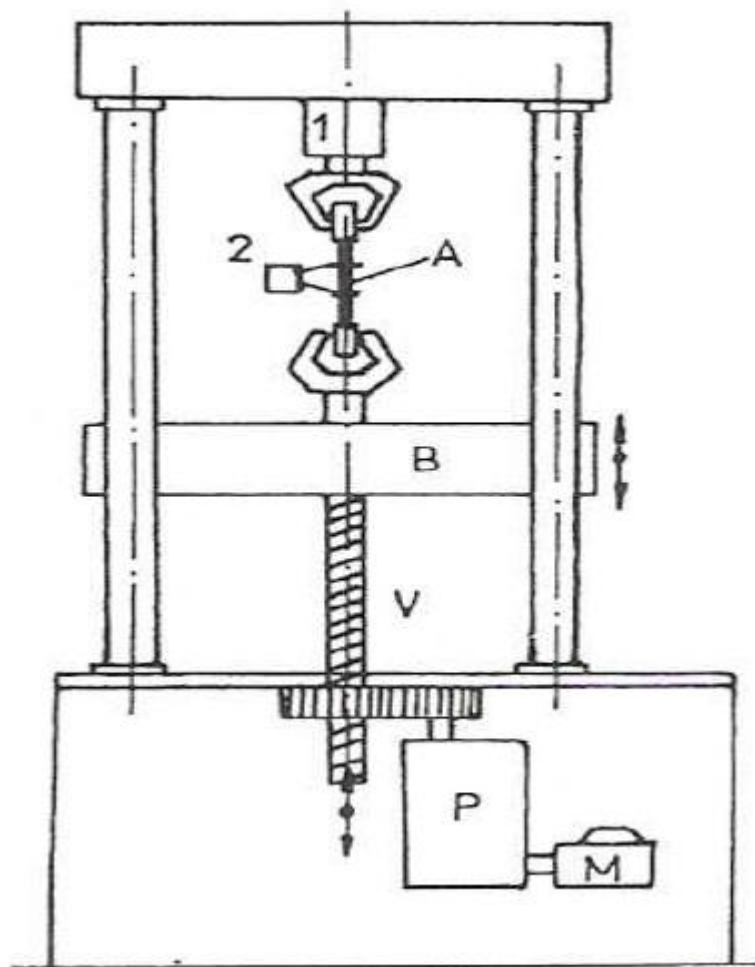
Cílem praktické části této práce, bylo zjistit odolnost lepených spojů proti smykovému namáhání za běžné a zvýšené teploty (20°C a 50°C) a vyhodnotit, které ze zadaných lepidel bude nejvhodnější pro lepení kovů za daných podmínek.

Smykové namáhání bylo dosaženo tahem v podélném směru lepidlem spojených zkušebních tělísek. Posuvová rychlost upínacího zařízení zkušebního stroje byla stanovena 10mm/min.



Obr. 8 Zkušební stroj Zwick 1456

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 příčníku B. Příčník je uváděn do pohybu motorem M, přes vřeteno V a převodovou skříň P. Při pohybu příčníku 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. 9 Schéma univerzálního zkušebního stroje

6.2 Příprava a provedení

Praktická část se skládala z přípravy a lepení zadaných vzorků a jejich následném zkoušení na univerzálním zkušebním stroji Zwick 1456. Jako vzorky byly použity ocelové a pozinkované plechy o rozměrech 135x10x0,6 mm a 75x10x0,6 mm.

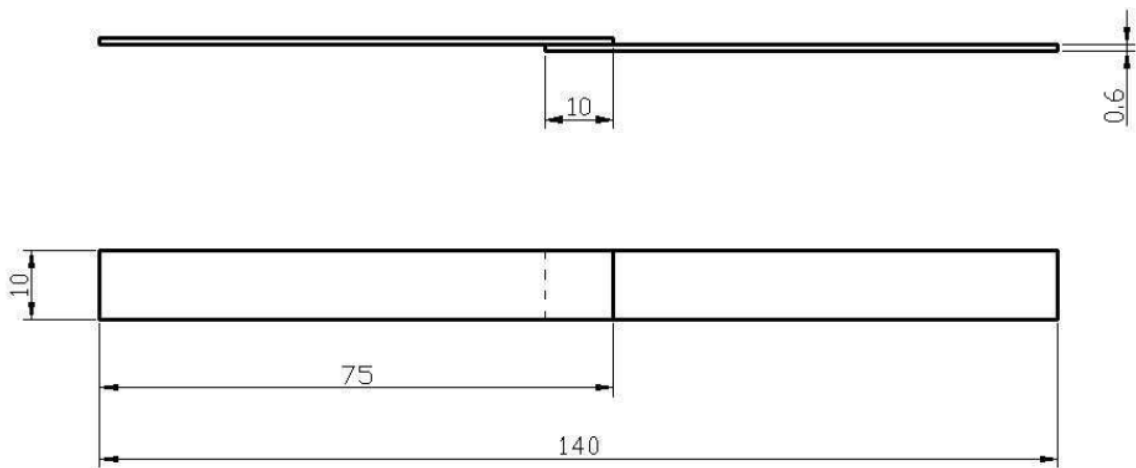
Při testování lepených spojů za normální (20°C) a zvýšené (50°C) teploty byly použity tři různá lepidla:

Vteřinové lepidlo Cyberbond 1008 – jedná se o kyanakrylátové vteřinové lepidlo určené pro lepení kovů, kombinace kov-kov, kov-pryž. kov-plast.

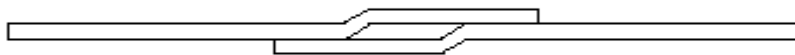
Dvousložkové epoxidové lepidlo E705 – lepí většinu ploch plastů, kovů, skla, keramiky, dřeva a některých gum.

Dvousložkové epoxidové lepidlo (tekutý kov) - po rozmíchání rychle vytvrzuje při pokojové teplotě. Je vhodné pro lepení kovů a dosahuje vysoké pevnosti. Schopnost vyplňovat spáry činí tento produkt vhodným pro lepení hrubých nebo špatně slícovaných povrchů u součástí z kovů, keramiky, tuhých plastů nebo dřeva.

Pro každé lepidlo bylo pro oba typy kovových materiálů zhotoveno 5 zkušebních těles. Plocha lepeného spoje měla rozměr 10x10 mm.



Obr. 10 Ukázka přeplátovaného vzorku pro vteřinové lepidlo



Obr. 11 Tvar zkušebního tělíska pro dvousložková lepidla



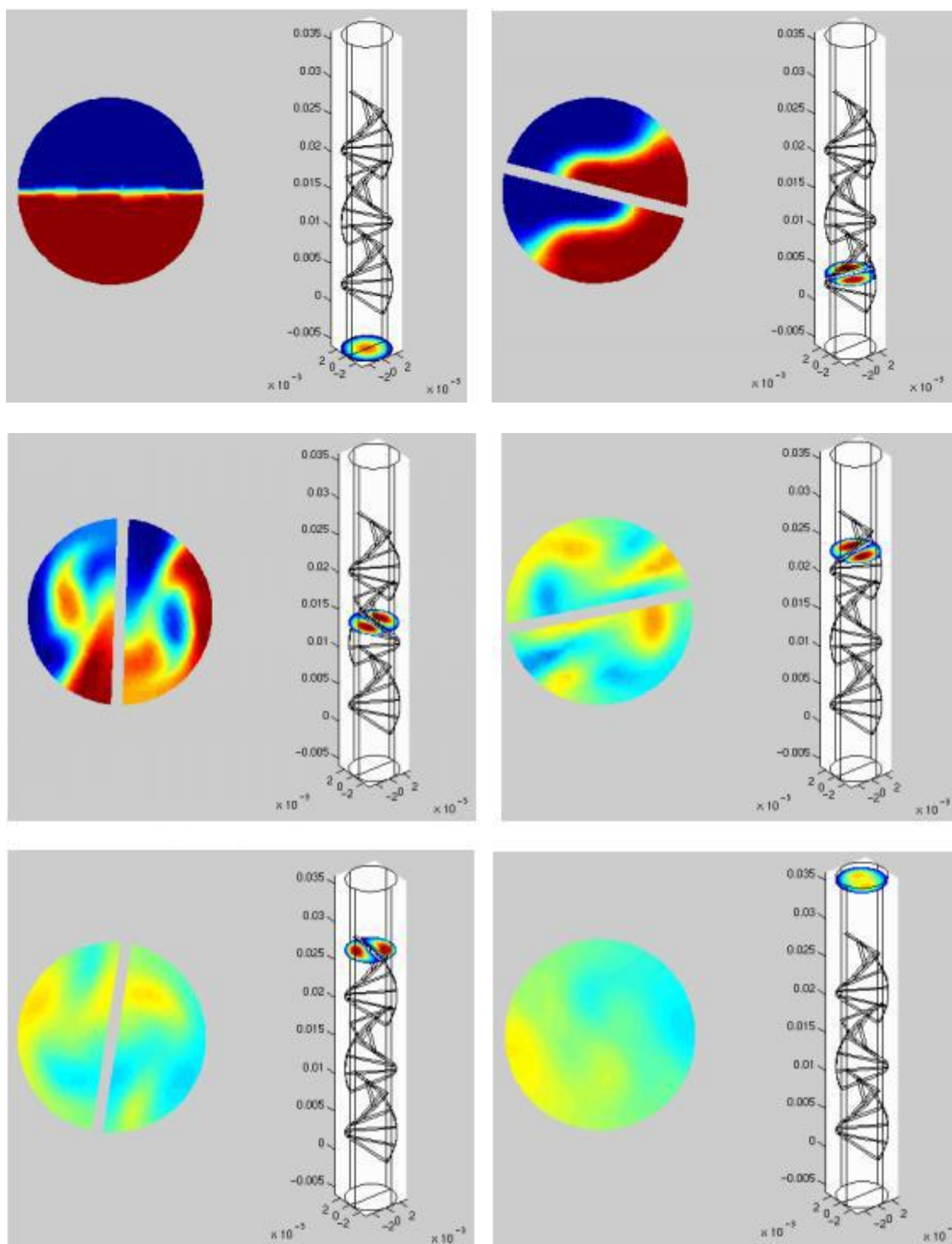
Obr. 12 Přípravek na úpravu plechu pro zkušební tělíska

Zkušební tělesa pro dvousložková lepidla byla navržena ve tvaru dle obrázku 9 z důvodů dosažení vrstvy jeden milimetr. Připravené plechy byly upraveny pomocí přípravku dle obrázku 10. Před nánosem lepidla byly plochy pro nanosení lepidla zbaveny nečistot a u lepidla vteřinového lepidla Cyberbond 1008 ošetřeny přípravkem Primer CB 9056. Pro dosažení určité nosnosti musí být lepidlo nanášeno ve správné tloušťce a po celé ploše rovnoměrně. Pro nanášení dvousložkových lepidel byl použit statický mixér pro správné zamíchání obou komponent. Pro zafixování lepeného spoje byly použity připínáčky na prádlo, které vyvozují konstantní svěrnou sílu. Po zaschnutí spoje byly odstraněny vytlačené přebytky lepidla, aby se tyto přebytky neprojevovaly do výsledků měření.



Obr. 13 Statický mixér

Statický mixér je zařízení, díky kterému dosáhneme dokonalé homogenizace lepidla (obrázek 12) pomocí lopatek uvnitř těla válcového tvaru.



Obr. 14 Průběh homogenizace lepidla ve statickém mixéru

6.3 Vyhodnocení neměřených hodnot

Při zkoušce nosnosti lepeného spoje byla sledovaným parametrem maximální síla stanovená při porušení spoje tj. při mezi pevnosti lepeného spoje.

V následujících tabulkách a grafech můžeme vidět porovnání chování daných lepidel pro dané lepené materiály a změnu při vystavení spoje zvýšené teplotě:

Výpočtové vztahy:

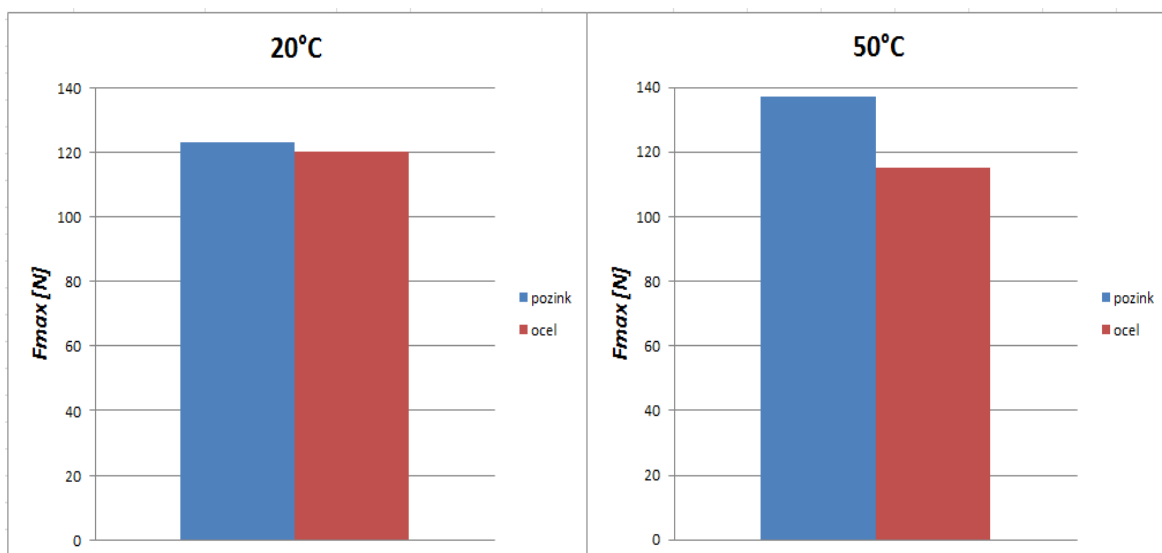
$$\text{Směrodatná odchylka: } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

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

6.3.1 Neměřené hodnoty pro vteřinové lepidlo

Tabulka 1 Neměřené hodnoty F_{max} [N] při porušení spoje

Vteřinové lepidlo					
	20°C			50°C	
	pozink	ocel		pozink	ocel
1	93	138	1	121	71
2	103	101	2	193	174
3	198	111	3	96	98
4	126	129	4	150	123
5	95	120	5	125	105
x	123	120	x	137	114
s	39	13	s	33	34



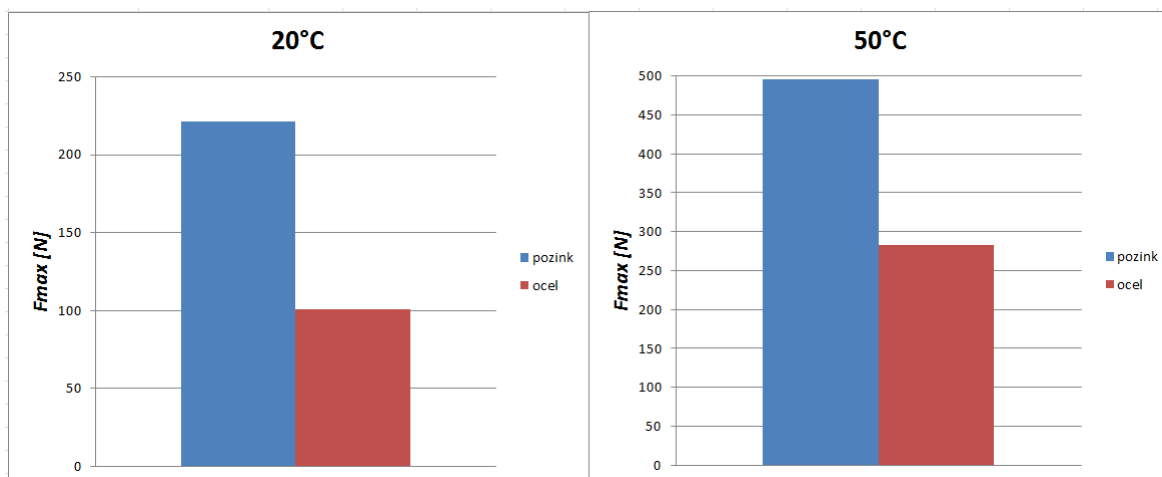
Obr. 15 Maximální síla F_{max} – Cyberbond 1008

Při použití vteřinového lepidla Cyberbond 1008 byly naměřené hodnoty maximální síly při tahové zkoušce pro oba druhy plechu velmi podobné. Největší hodnota F_{max} byla naměřena u ocelového plechu při teplotě 20°C 138N a u pozinkovaného plechu 198N. Při teplotě 50°C byla naměřena nejvyšší hodnota F_{max} u ocelového plechu 98N a u pozinkovaného plechu 193N

6.3.2 Naměřené hodnoty pro dvousložkové epoxidové lepidlo E705

Tabulka 2 Neměřené hodnoty F_{max} [N] při porušení spoje

E705					
20°C			50°C		
	pozink	ocel		pozink	ocel
1	223	90	1	499	346
2	288	102	2	438	273
3	170	120	3	459	294
4	200	89	4	691	217
5	222	108	5	389	260
x	221	102	x	495	278
s	39	12	s	104	42



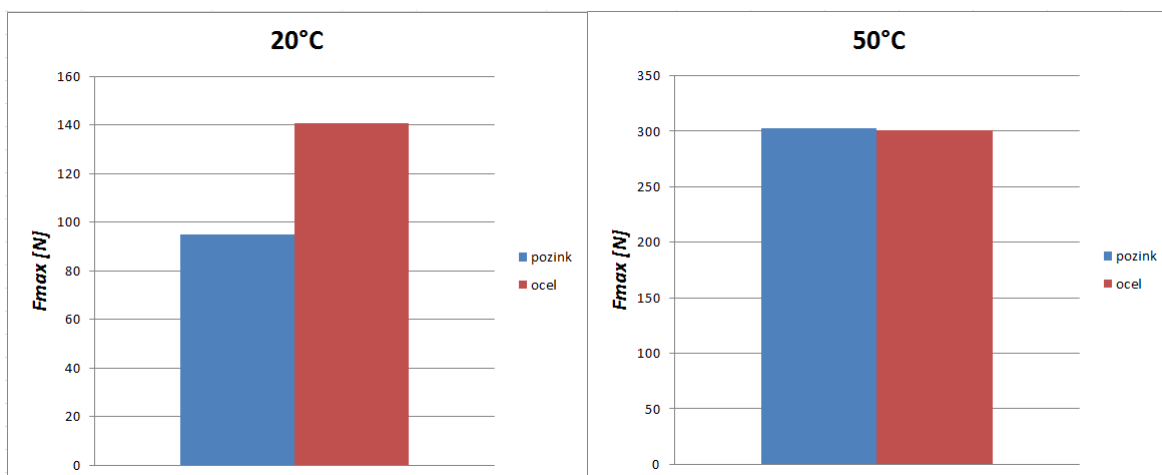
Obr. 16 Maximální síla F_{max} – E705

Při použití dvousložkového epoxidového lepidla E705 byly naměřené hodnoty maximálního zatížení při zkoušce tahem pro pozinkovaný plech znatelně vyšší než pro plech ocelový. Při teplotě 50°C lepený spoj dosahoval vyšší pevnosti než při teplotě 20°C. Největší hodnota F_{max} naměřena u ocelového plechu při teplotě 20°C byla 120N a u pozinkovaného plechu 288N. Při teplotě 50°C byla naměřena nejvyšší hodnota F_{max} u ocelového plechu 346N a u pozinkovaného plechu 691N.

6.3.3 Naměřené hodnoty pro dvousložkové lepidlo Tekutý Kov

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

tekutý kov					
	20°C			50°C	
	pozink	ocel		pozink	ocel
1	80	91	1	313	304
2	88	119	2	333	344
3	126	164	3	228	255
4	97	136	4	343	341
5	86	193	5	297	260
x	95	141	x	303	301
s	16	35	s	41	38



Obr. 17 Maximální síla F_{max} – Tekutý kov

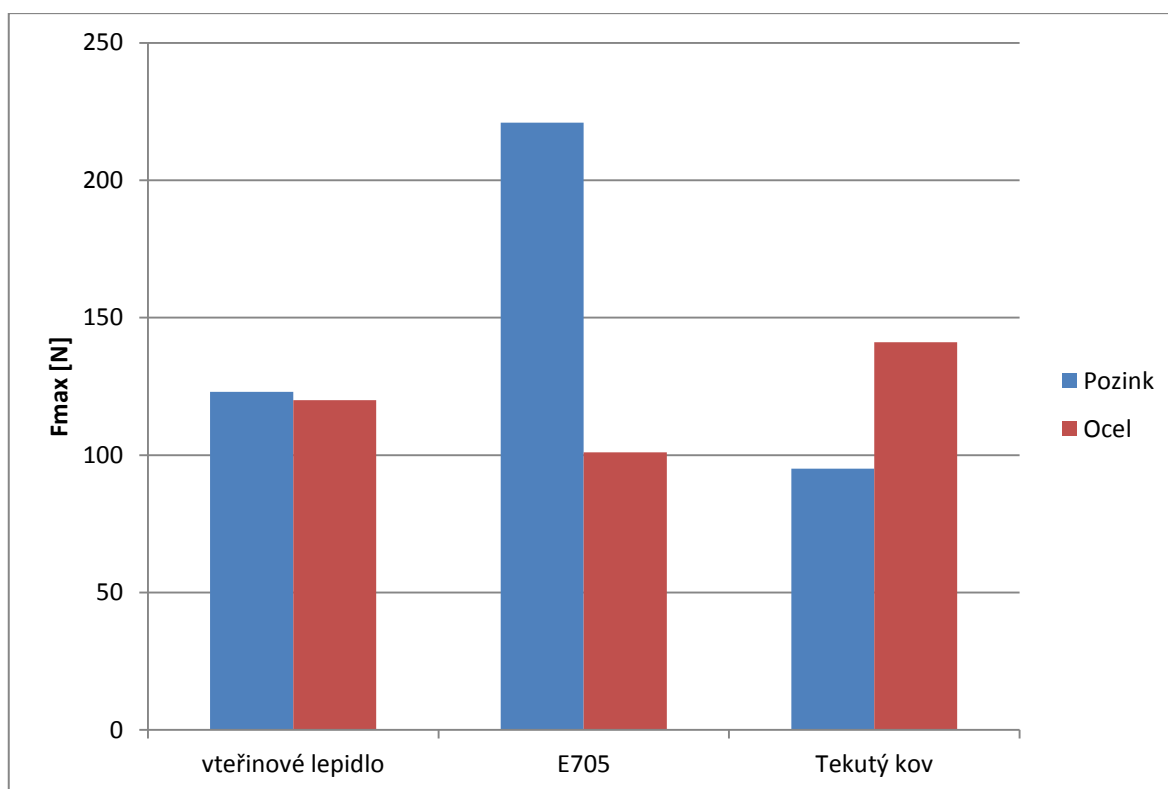
Při použití dvousložkového lepidla Tekutý kov byly naměřené hodnoty maximální síly při zkoušce tahem pro pozinkovaný plech při teplotě 20°C nižší než pro plech ocelový. Při teplotě 50°C lepený spoj dosahoval vyšší pevnosti než při teplotě 20°C a pevnost spoje byla velmi podobná pro oba druhy lepeného materiálu. Největší hodnota F_{max} naměřena u ocelového plechu při teplotě 20°C byla 193N a u pozinkovaného plechu 126N. Při teplotě 50°C byla naměřena nejvyšší hodnota F_{max} u ocelového plechu 344N a u pozinkovaného plechu 343N.

7 DISKUSE VÝSLEDKŮ

Cílem praktické části bakalářské práce bylo porovnání pevnosti lepených spojů u dvou vybraných kovových materiálů (ocelový a pozinkovaný plech). Jako lepidla byla použita dvě dvoukomponentní (2K) a jedno jednokomponentní (1K). Pevnost lepených spojů byla testována tahovou zkouškou na trhacím stroji Zwick 1456, vybaveném mechanickým extenziometrem. Naměřené hodnoty byly graficky znázorněny a vyhodnoceny.

Tabulka 4 F_{max} [N] při teplotě 20°C

20°C		
	Pozink	Ocel
vteřinové lepidlo	123	120
E705	221	102
Tekutý kov	95	141



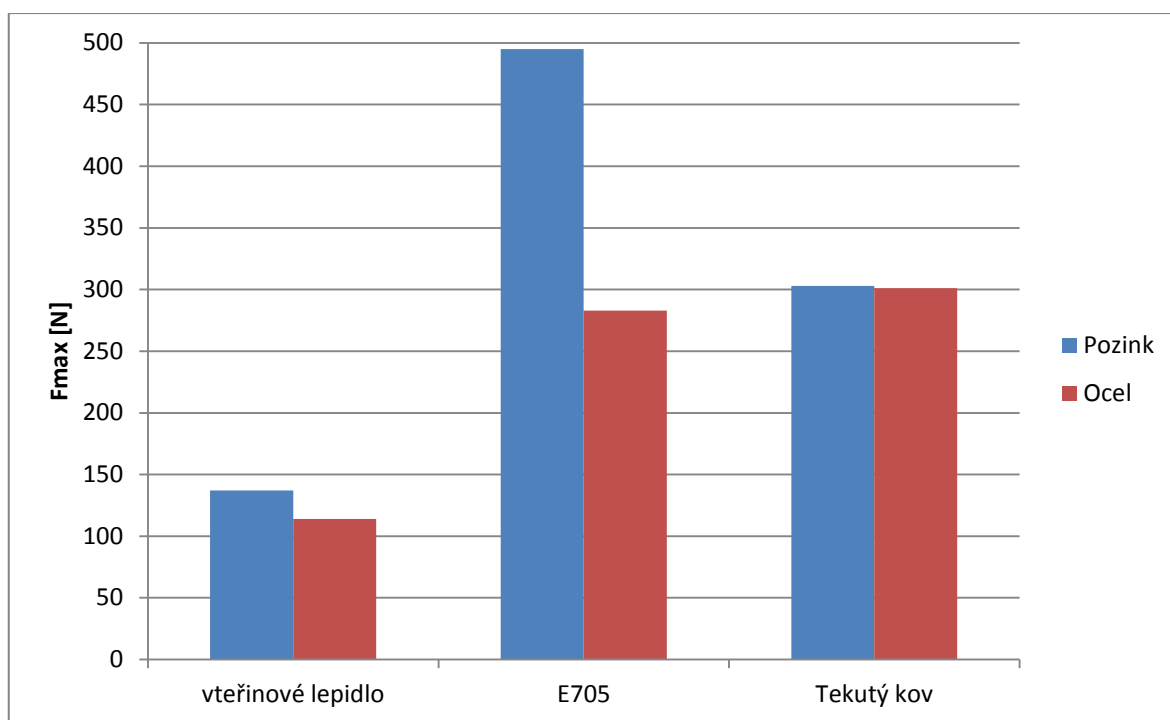
Obr. 18 Porovnání F_{max} u jednotlivých lepidel

Z výsledků měření vyplynulo, že při teplotě okolí (20°C) bylo dosaženo největší pevnosti lepeného spoje reprezentovaného maximální silou u lepidla E705. Testovaný materiál, který dosáhl největší pevnosti lepeného spoje vyjádřeného hodnotou maximální síla byl po-

zinkovaný plech. U materiálu ocelového plechu byla za teploty okolí dosažena největší pevnost lepeného spoje u lepidla tekutý kov. U lepidla vteřinového byla pro oba testované kovové materiály dosažena druhá největší pevnost lepeného spoje.

Tabulka 5 F_{max} [N] při teplotě 50°C

50°C		
	Pozink	Ocel
vteřinové lepidlo	137	114
E705	495	283
Tekutý kov	303	301



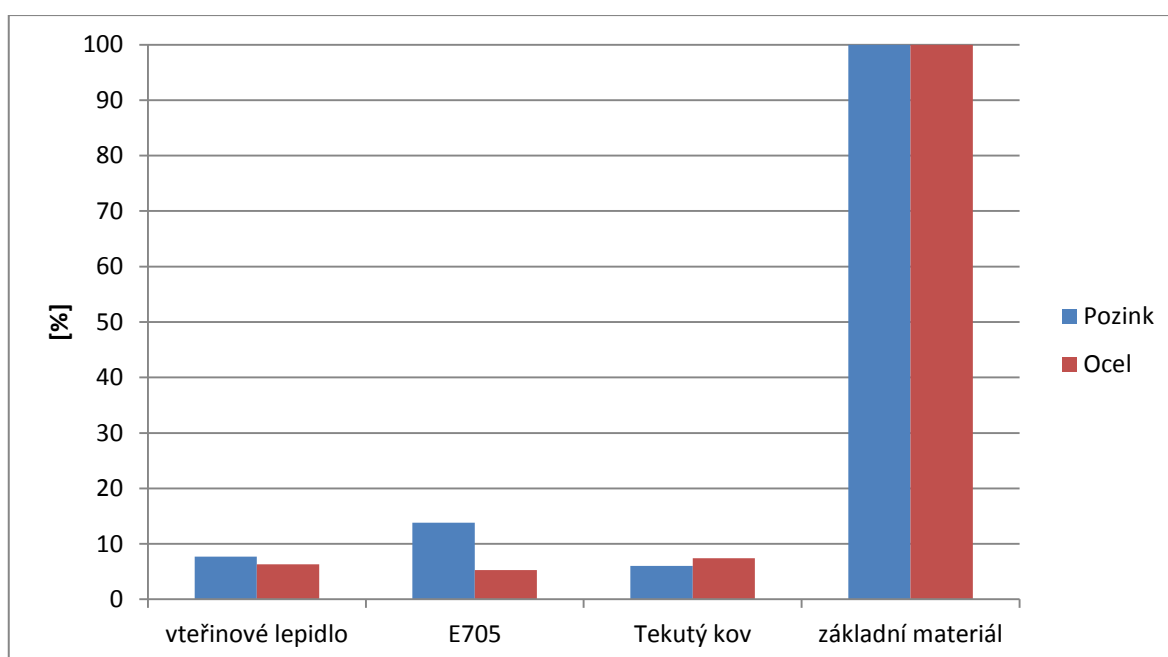
Obr. 19 Porovnání F_{max} u jednotlivých lepidel

Z výsledků měření vyplynulo, že při zvýšené teplotě (50°C) bylo dosaženo největší pevnosti lepeného spoje reprezentované maximální silou u lepidla E705. Testovaný materiál, který dosáhl největší pevnosti lepeného spoje vyjádřeného hodnotou maximální síla byl pozinkovaný plech. U materiálu ocelového plechu byla za teploty okolí dosažena největší pevnost lepeného spoje u lepidla tekutý kov. U lepidla vteřinového byla pro oba testované kovové materiály dosažena nejnižší pevnost lepeného spoje.

Pevnosti základních materiálů: Pozinkovaný plech 1598N, ocelový plech 1907N

Tabulka 6 procentuální srovnání lepidel se základním materiálem

20°C		
	Pozink	Ocel
vteřinové lepidlo	7,7	6,3
E705	13,8	5,3
Tekutý kov	6	7,4

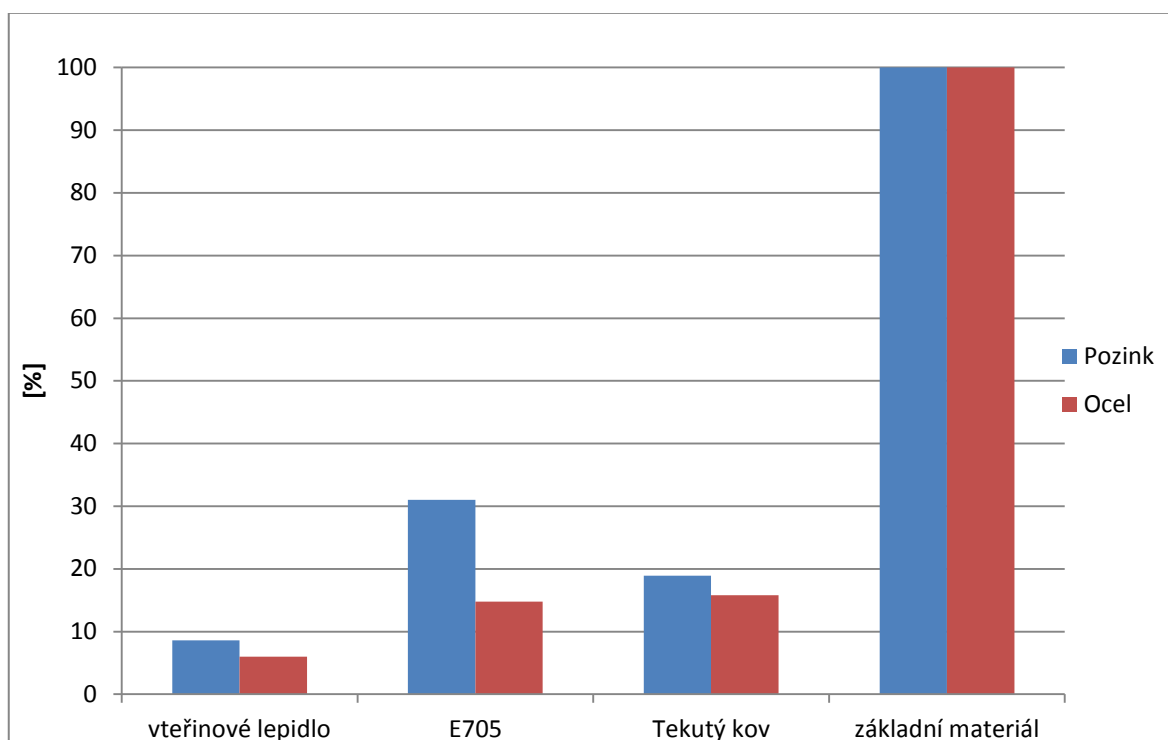


Obr. 20 procentuální srovnání pevnosti lepených spojů se základním materiálem při teplotě 20°C

Z výsledků měření vyplynulo, že při procentuálním srovnání pevnosti lepených spojů se základním materiálem při teplotě okolí (20°C) dosáhl nejlepších výsledků testovaný materiál pozinkovaný plech v kombinaci s lepidlem E705. U materiálu ocelového plechu dosáhlo nejvyššího poměru pevnosti lepeného spoje a základního materiálu lepidlo tekutý kov.

Tabulka 7 procentuální srovnání lepidel se základním materiálem

50°C		
	Pozink	Ocel
vteřinové lepidlo	8,6	6
E705	31	14,8
Tekutý kov	18,9	15,8



Obr. 21 procentuální srovnání pevnosti lepených spojů se základním materiálem při teplotě 50°C

Z výsledků měření vyplynulo, že při procentuálním srovnání pevnosti lepených spojů se základním materiálem při zvýšené teplotě (50°C) dosáhl nejlepších výsledků testovaný materiál pozinkovaný plech v kombinaci s lepidlem E705. U materiálu ocelového plechu dosáhlo nejvyššího poměru pevnosti lepeného spoje a základního materiálu lepidlo tekutý kov.

8 ZÁVĚR

Bakalářská práce řeší problém pevnosti lepených spojů u vybraných kovových materiálů, které byly lepeny jednokomponentním a dvoukomponentním lepidlem. Pevnost lepených spojů byla měřena tahovou zkouškou na trhacím stroji Zwick 1456.

Z naměřených výsledků lze vyčíst, že nejvyšší nosnosti lepených spojů za teploty okolí (20°C) pro pozinkovaný plech dosáhlo dvousložkové lepidlo E705 a to přibližně 14% nosnosti vztažené k základnímu materiálu. U dvou dalších lepidel bylo pro pozinkovaný materiál naměřeno přibližně 7% nosnosti k poměru k základnímu materiálu. U lepení oceli jsme dosáhli nejvyšší nosnosti u lepidla Tekutý kov a poměru nosnosti k základnímu materiálu 7,4%. Dále to bylo 6,3% pro vteřinové lepidlo a 5,3% pro dvousložkové lepidlo E705.

Při měření za zvýšené teploty (50°C) bylo zjištěno u lepení pozinkovaných vzorků nejvyšší poměr nosnosti 31% pro dvousložkové lepidlo E705, přibližně 19% u dvousložkového lepidla Tekutý kov a pouhých 8,6% u vteřinového lepidla. U lepených vzorků oceli mělo nejlepší výsledky z testovaných lepidel dvousložkové lepidlo Tekutý kov a to poměr nosnosti vůči základnímu materiálu 15,8%, podobná hodnota byla zjištěna i u dvousložkového lepidla E705 a u vteřinového lepidla Cyberbond 1008 byl procentuální poměr nosnosti vůči základnímu materiálu pouhých 6%.

Při teplotě okolí lze tedy vyhodnotit jako nejlepší dvousložkové lepidlo E705 pro lepení pozinkovaných materiálů a dvousložkové lepidlo Tekutý kov pro lepení ocelových materiálů. Při zvýšené teplotě (50°C) lze vyhodnotit jako nejlepší lepidlo pro lepení pozinkovaných materiálů dvousložkové lepidlo E705 a pro lepení ocelových materiálů taktéž dvousložkové lepidlo Tekutý kov.

Při navrhování lepeného spoje je nejdůležitější zjistit, jakým způsobem bude spoj zatížen, jaký druh materiálů bude lepen a je také potřeba uvážit jaká bude provozní teplota lepeného spoje.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Fredin, A: Pevnosť a životnosť lepených spojov, ALFA VTEL Bratislava, 1988, 282 s
- [2] Hluchý, M.: Strojírenská technologie 1 – Nauka o materiálu, Scienta Praha, 2002, 266s
- [3] Kovačič, Ľ.: Lepenie kovov a plastov, ALFA SNTL Bratislava, 1980, 392 s
- [4] Osten, M.: Práce s lepidly a tmely, SNTL Praha1982, 288s
- [5] Peterka, J.: Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství, SNTL Praha, 1980, 792 s

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

τ	Napětí ve smyku
F	Síla potřebná na přetržení spoje [N]
S	Plocha lepeného spoje [mm ²]
b	Šířka lepeného spoje [mm]
l	Délka lepeného spoje [mm]
s	Směrodatná odchylka
\bar{x}	Aritmetický průměr

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1</i> Struktura lepeného spoje	16
<i>Obr. 2</i> Koutové spoje	21
<i>Obr. 3</i> Přeplátované spoje	21
<i>Obr. 4</i> Zkoušení spojů metodami nerovnoměrného odtrhnutí	30
<i>Obr. 5</i> Způsoby zkoušek pevnosti ve smyku tlakem. <i>a, b</i> – deskové spoje (ploché),	31
<i>Obr. 6</i> Způsoby zkoušek pevnosti ve smyku tahem.	31
<i>Obr. 7</i> Charakter lomu lepeného spoje	33
<i>Obr. 8</i> Zkušební stroj Zwick 1456	36
<i>Obr. 9</i> Schéma univerzálního zkušebního stroje	37
<i>Obr. 10</i> Ukázka přeplátovaného vzorku pro vteřinové lepidlo	38
<i>Obr. 11</i> Tvar zkušebního tělíska pro dvousložková lepidla	39
<i>Obr. 12</i> Přípravek na úpravu plechu pro zkušební tělíska	39
<i>Obr. 13</i> Statický mixér	39
<i>Obr. 14</i> Průběh homogenizace lepidla ve statickém mixéru	40
<i>Obr. 15</i> Maximální síla F_{max} – Cyberbond 1008	42
<i>Obr. 16</i> Maximální síla F_{max} – E705	43
<i>Obr. 17</i> Maximální síla F_{max} – Tekutý kov	44
<i>Obr. 18</i> Porovnání F_{max} u jednotlivých lepidel	45
<i>Obr. 19</i> Porovnání F_{max} u jednotlivých lepidel	46
<i>Obr. 20</i> procentuální srovnání pevnosti lepených spojů se základním materiálem při teplotě 20°C	47
<i>Obr. 21</i> procentuální srovnání pevnosti lepených spojů se základním materiálem při teplotě 50°C	48

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 <i>Neměřené hodnoty F_{max} [N] při porušení spoje</i>	42
Tabulka 2 <i>Neměřené hodnoty F_{max} [N] při porušení spoje</i>	43
Tabulka 3 <i>Neměřené hodnoty F_{max} [N] při porušení spoje</i>	44
Tabulka 4 <i>F_{max} [N] při teplotě 20°C</i>	45
Tabulka 5 <i>F_{max} [N] při teplotě 50°C</i>	46
Tabulka 6 <i>procentuální srovnání lepidel se základním materiálem</i>	47
Tabulka 7 <i>procentuální srovnání lepidel se základním materiálem</i>	48