

Lepení kovů

Petr Gajoš

Bakalářská práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr GAJOS**
Osobní číslo: **T08591**
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Lepení kovů**

Zásady pro vypracování:

- 1.-Vypracujte literární studii na dané téma
- 2.-Příprava zkušebních těles pro zkoušku pevnosti spojů
- 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:

Ing. David Mañas, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

14. února 2011


Termín odevzdání bakalářské práce:

3. června 2011

Ve Zlíně dne 6. ledna 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Mañas, CSc.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: Petr Gajoš

Obor: Procesní inženýrství

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně dne 18.8.2011

.....


¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola 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 nahlázení 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, užití-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 užit 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 přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Lepení kovů je tématem této práce. V části teoretické se seznámíme se základy lepení kovů, s přípravou pro lepení, s materiály, lepidly a s případnými problémy které mohou při lepení nastat.

V části praktické pak budeme zkoumat vlastnosti lepených spojů při použití různých materiálů a různých lepidel za nestejných teplot.

Klíčová slova: lepení, lepidlo, adheze, koheze, pevnost spoje

ABSTRACT

The subject of this work is the adhesive bonding. In the theoretical part we apprise of the elementals of the adhesive bonding, the preparation for the bonding, the materials, the adhesives and the relevant problems, which can come during the bonding procedure.

In the practical part we will research the characteristics of the bonded connections with the use of the different materials and the different adhesives in the unequal temperatures.

Keywords: bonding, adhesive, adhesion, cohesion, the bond strength

Poděkování:

Tímto bych chtěl 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.

Motto

„Nejmocnější je ten, kdo přemůže sám sebe“

Lao-Tse

Prohlašuji, že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Obsah

ÚVOD	10
TEORETICKÁ ČÁST	11
1 TECHNOLOGIE LEPENÍ	12
1.1 ZÁKLADNÍ POJMY LEPENÍ	12
1.2 ZÁKLADY TEORIE LEPENÍ	13
1.2.1 TEORIE MOLEKULOVÁ (ABSORPČNÍ)	14
1.2.2 TEORIE ELEKTROSTATICKÁ.....	15
1.2.3 TEORIE DIFÚZNÍ.....	15
1.2.4 TEORIE CHEMICKÁ.....	15
1.2.5 TEORIE REOLOGICKÁ	16
2 TECHNOLOGICKÝ POSTUP LEPENÍ	17
2.1 KONSTRUKCE LEPENÝCH SPOJŮ	17
2.2 VOLBA MATERIÁLU	19
2.3 VLASTNÍ TECHNOLOGICKÝ POSTUP LEPENÍ	20
2.4 PŘÍPRAVA POVRCHU ADHERENTU	21
2.4.1 FYZIKÁLNÍ OPERACE PRO PŘÍPRAVU POVRCHU ADHERENTU	21
2.4.2 CHEMICKÉ OPERACE PRO PŘÍPRAVU POVRCHU ADHERENTU	22
2.5 PŘÍPRAVA LEPIDLA	22
2.5.1 DRUH LEPIDLA.....	23
2.5.2 STAV LEPIDLA PO USKLADNĚNÍ.....	23
2.5.3 ZPŮSOB NANÁŠENÍ	24
2.5.4 ZPŮSOB VYTVRZOVÁNÍ.....	25
2.6 MONTÁŽ SPOJE	26
2.6.1 UTVOŘENÍ MECHANICKÝCH PODMÍNEK PRO VZNIK SPOJE	26
2.6.2 UTVOŘENÍ PODMÍNEK PRO VZNIK ADHEZNÍCH VAZEB	27
3 ROZDĚLENÍ LEPIDEL	28
3.1 ROZDĚLENÍ PODLE CHEMICKÉ BÁZE	28
3.2 ROZDĚLENÍ LEPIDEL PODLE PRINCIPU TUHNUTÍ VE SPOJI	28
4 VLASTNOSTI SPOJE	30
4.1 TEPELNÁ ODOLNOST	30
4.2 CHEMICKÁ ODOLNOST	30
4.3 PEVNOST PŘI DANÉM NAMÁHÁNÍ	31
4.4 ŽIVOTNOST, SPOLEHLIVOST A BEZPEČNOST	31

4.5	VÝHODY A NEVÝHODY LEPENÍ KOVŮ	31
4.5.1	VÝHODY LEPENÝCH SPOJŮ	32
4.5.2	NEVÝHODY LEPENÝCH SPOJŮ	32
4.6	POROVNÁNÍ RŮZNÝCH SPOJŮ KOVŮ PODLE PEVNOSTI	33
5	PEVNOST LEPENÝCH SPOJŮ	35
5.1	PEVNOSTNÍ PARAMETRY LEPENÝCH SPOJŮ	35
5.1.1	STŘEDNÍ PEVNOST	35
5.1.2	MAXIMÁLNÍ NAPĚTÍ.....	36
5.1.3	DESTRUKTIVNÍ ENERGIE	36
5.2	VÝPOČET PEVNOSTI LEPENÉHO SPOJE V TAHU	37
5.3	CHYBY LEPENÝCH SPOJŮ	38
6	ZKOUŠKY LEPENÝCH SPOJŮ	40
6.1	ROZDĚLENÍ ZKOUŠEK	40
6.2	DESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKY	40
6.2.1	METODA NEROVNOMĚRNÉHO ODTRHNUTÍ.....	41
6.2.2	METODA ROVNOMĚRNÉHO ODTRHNUTÍ	41
6.2.3	METODY S VYUŽITÍM NAMÁHÁNÍ VE SMYKU	42
6.2.4	ÚNAVOVÉ ZKOUŠKY	42
6.3	NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKY	42
6.4	MECHANICKÉ ZKOUŠKY	43
6.4.1	ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ PRO ZKOUŠKU TAHEM/TLAKEM.....	44
6.4.2	ZKOUŠKA TAHEM	45
6.4.3	VÝPOČTY HODNOT U ZKOUŠKY TAHEM	46
	PRAKTICKÁ ČÁST	49
7	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	50
7.1	CÍL LABORATORNÍCH ZKOUŠEK.....	50
7.2	PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	51
7.3	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ	53
	ZÁVĚR	68
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	70
	SEZNAM OBRÁZKŮ	71
	SEZNAM TABULEK.....	72
	SEZNAM GRAFŮ	73

ÚVOD

Obsahem Bakalářské práce je technologie lepení a zjišťování pevnosti daných lepených spojů za normální a zvýšené teploty. V praktické části budeme používat nejčastěji lepené materiály a nejčastěji používaná lepidla.

Lepené spoje jsou nerozebratelné 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.

Historie lepení sahá až do ranného období lidských dějin. Již před 4000 lety používali staří Egypťané lepidla na bázi přírodních materiálů. Mezi takové přírodní materiály patří vaječný bílek, kaseinový glej, glutinový glej nebo třeba latex. První výrobní klíhů rostlinného a živočišného původu vznikly v letech 1700 v USA a v Anglii. V důsledku rychlého rozvoje chemie se v 19. století se objevily první syntetické materiály, které se od začátku 20. století využívají i při výrobě lepidel.

Lepení se v dnešní době stalo jednou ze základních technologií pro spojování kovových materiálů, protože oproti jiným způsobům spojování nám lepení nijak neovlivňuje lepený materiál ani materiál nemusíme obrábět.

Výsledná pevnost lepeného spoje nejvíce závidí na těchto parametrech:

- na přilnavosti lepidla k lepenému povrchu (*adheze*).
- na soudržnosti (vnitřní pevnosti) lepidla (*koheze*).
- na smáčivosti lepeného materiálu.
- na pevnosti lepeného materiálu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNOLOGIE LEPENÍ

1.1 Základní pojmy lepení

Výsledná pevnost lepeného spoje nám závisí na vlastnostech **lepidla**, tzn. na **adhezi** a **kohezi**.

Lepidlo je látka, která umožňuje přilnutí povrchů pevných předmětů a tím jejich pevné spojení. Lepidlo mohou tvořit přírodní směsi nebo syntetické materiály. Využívá se v různých dílnách, kancelářích, průmyslu. Speciální velmi kvalitní lepidlové směsi pak využívají konstruktéři a modeláři.

Adheze (přilnavost) je schopnost materiálu (především dvou rozdílných materiálů) spolu přilnout, odborněji fyzikálně je to schopnost přenosu tečných sil ve styku dvou povrchů bez zřetelného pohybu. Adheze je taktéž definovatelná odborně chemicky jako síla přilnavosti, mezimolekulární přitažlivé chemické a fyzikální síly na styčných plochách v nerovnostech a pórech materiálů (Van der Waalsova síla). Van der Waalsovy síly jsou velmi slabé přitažlivé síly, které působí mezi nepolárními molekulami a jsou důsledkem vzniku okamžitého elektrického dipólu.

Mezi pět základních mechanismů adheze patří mechanická adheze (suchý zip), chemická adheze (dva materiály vzájemně tvoří sloučeninu, a díky tomu drží pohromadě), disperzní adheze (Van der Waalsova síla), elektrostatická adheze, difúzní adheze (polymery).

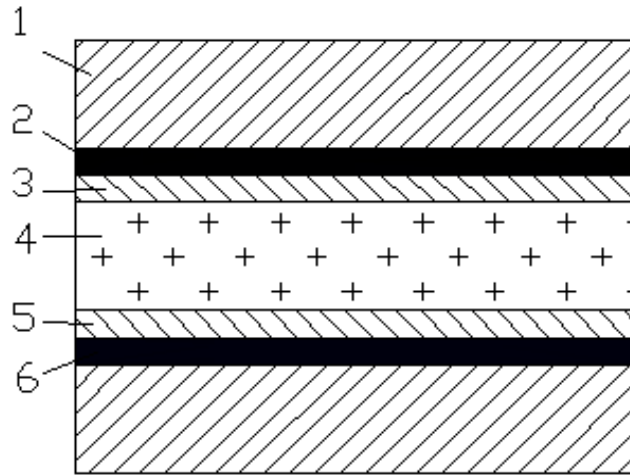
Koheze (koherence), neboli vnitřní adheze, znamená soudržnost, ať už fyzickou nebo logickou. My se budeme zabývat pouze koherencí fyzickou. Tato vlastnost nám udává vlastní pevnost lepidla. Koherence vzniká pomocí mezimolekulárních a valenčních sil.

Koheze nám udává tzv. kohezní energii, to je energie, kterou potřebujeme na porušení spojení mezi vazbami lepidla a jeho následného odtržení.

Smáčivost je další důležitý faktor při lepení, charakterizující povrchové napětí lepidla.

Má-li lepidlo smáčet povrch lepeného materiálu, musí být jeho povrchové napětí menší než povrchové napětí lepeného materiálu. Pokud je hodnota povrchového napětí lepidla vyšší, tak nedojde ke smočení a lepidlo se na lepeném materiálu neudrží, tím nemůžeme dosáhnout vhodných podmínek pro lepení.

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



Obr. 1 Struktura lepeného spoje

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

1.2 Základy teorie lepení

Teorie lepení se opírá o vztahy molekul a vzájemné mezimolekulární působení. U adheze budeme uplatňovat fyzikální a mezimolekulární síly a chemické vazby, neboť adheze nám závisí na molekulové struktuře.

Nejčastěji citované teorie

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

Mechanická teorie se používá zřídka a to například jako adheze pryžových směsí vůči textilním vláknům či při výrobě překližek. Vychází z předpokladu, že dojde k zatuhnutí (zaklínění) adherentu v trhlinách a nerovnostech na povrchu lepeného materiálu. Výslednou pevnost lepeného spoje nám pak určují mechanické vlastnosti lepidla. [1]

Obecně je pro všechny teorie společné že:

- aby mohlo dojít k adhezi, musí být molekuly lepidla a lepeného materiálu dostatečně blízko sebe.
- velikost molekul ovlivňuje adhezi
- vedlejší vlivy při lepení nám ovlivňují adhezi (čas, teplota, tlak)
- pro optimální adhezi je nutné nanést lepidlo v kapalném stavu ve vrstvě o určité tloušťce a musí být nanášeno v určitém časovém intervalu (doba zpracovatelnosti)

1.2.1 Teorie molekulová (absorpční)

Adheze vzniká vzájemným působením molekul adherentu a adheziva, proto je nutné aby oba druhy molekul měly funkční polární skupiny schopné vzájemného působení.

Proces vzniku adhezního spoje lze dělit na dvě stádia:

transport molekul adheziva k povrchu adherentu

vzájemné působení mezimolekulárních sil (van der Waalovy síly) po přiblížení se molekul adheziva na vzdálenost 0,5 nm, přičemž tento proces trvá až do dosažení absorpční rovnováhy.

Míra pevnosti spoje závisí na počtu funkčních skupin. Za předpokladu dostatečného kontaktu (na molekulární úrovni) adherentu a adheziva postačují van der Waalovy síly, vzhledem ke své četnosti, k dobré pevnosti adhezního spojení. Příčina malé pevnosti spoju je především způsobena špatnou snášivostí povrchu adherentu adhezivem, tím je totiž omezen kontakt adherentu a adheziva. [1]

1.2.2 Teorie elektrostatická

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

1.2.3 Teorie difúzní

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 vzájemně difundovat a průběh této difúze závisí především na čase, teplotě, viskozitě, kompatibilitě adherentu a adheziva, relativní molekulové hmotnosti polymerů, což ovlivňuje pevnost spoje.

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

1.2.4 Teorie chemická

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 neakceschopné funkční skupiny často nevedly ke zlepšení vlastností adhezního spoje. [1]

1.2.5 Teorie reologická

Je to nejnovější teorie, podle které může cokoliv působit adhezi na rozhraní dvou materiálů, pevnost spoje je dána zásadně fyzikálně-mechanickými a reologickými vlastnostmi materiálů, které tvoří lepený spoj. Při zkoumání lomu se zjistilo, že roztržení spoje nikdy neproběhlo na jeho rozhraní, ale v jednom z materiálů, lom je tedy 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, protože lom je v podstatě vždy kohezní. Toto vysvětlení neřeší příčinu vzniku spoje, ale umožňuje realistické výpočty pevnosti spoje.[1]

2 TECHNOLOGICKÝ POSTUP LEPENÍ

Ze znalostí, jenž jsme získali v teoriích o lepení můžeme určit základní podmínky pro vytvoření kvalitního lepeného spoje.

Kvalitní lepený spoj musí mít:

- správný návrh konstrukce spoje.
- správně zvolené materiály jak adherentu, tak adheziva.
- vhodnou povrchovou úpravu materiálu.
- lepidlo zpracované podle předepsaného postupu použití.
- dokonalé mechanické a fyzicko-chemické podmínky pro vznik pevných vazeb.

2.1 Konstrukce lepených spojů

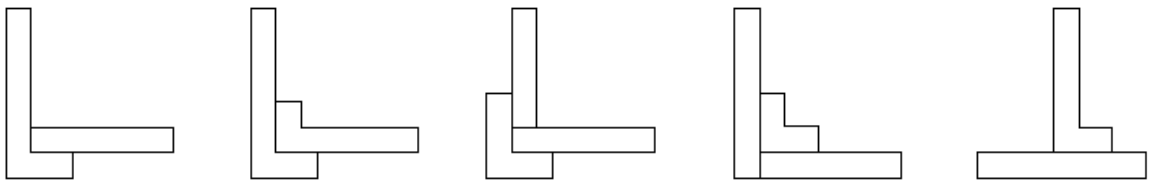
Vzhledem k faktu, že většina lepidel je náchylná na odlupování, musíme se vyvarovat takovým konstrukcím spojů, u kterých by mohlo k odlupování dojít. Proto se snažíme spoje konstruovat tak, aby největší namáhání bylo v ose směru namáhání, protože lepidla mají nejvyšší únosnost při namáhání na smyk.

Proto pro dosažení maximální pevnosti lepeného spoje, musíme respektovat tyto základní principy:

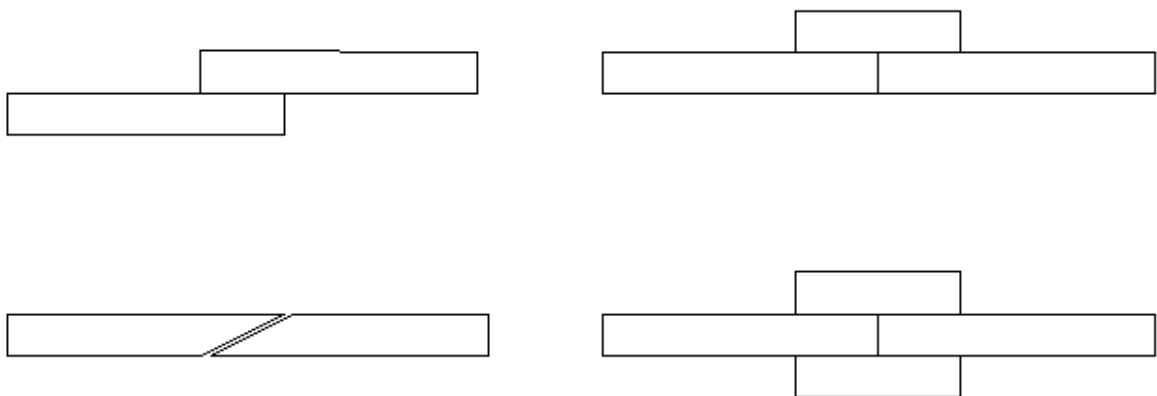
- největší pevnost spoje musí být orientována ve směru maximálního namáhání.
- plocha lepeného spoje musí být dostatečně velká.
- lepicí vrstva musí být rovnoměrná, souvislá a v požadované tloušťce.
- koncentraci napětí se snažíme zmenšit na minimum. [1]

Obecné podmínky pro konstrukci lepených spojů:

- konstrukci je nutno rozdělit na co nejméně složité části vhodné pro lepení.
- je třeba se vyhnout dvojitému lepení.
- není vhodné lepit dílce, které budou při montáži vystaveny odlupujícím silám.
- dílce s velkým a složitým zakřivením se na lepení nehodí.
- namáhání musí být rozloženo po celé ploše spoje.
- v místě spoje by měly mít materiály stejnou, nebo podobnou teplotní roztažnost.
- lepidlo se volí podle požadované pevnosti spoje, podle technologie zpracování a podle ceny.
- pevnost spoje je přímo úměrná šířce spoje na rozdíl od délky překrytí.
- pevnost spoje nezávisí pouze na velikosti překrytí, ale i na pevnosti adherentu.



Obr. 2 Koutové spoje



Obr. 3 Přeplátované spoje

2.2 Volba materiálu

Pro správný výběr lepidla musíme u materiálu adherentu přihlížet na vlastnosti jako jsou:

- chemické složení.
- polarita.
- mechanické, fyzikální, povrchové a chemicko-fyzikální vlastnosti.

U lepidel sledujeme:

- chemické složení
- viskozitu
- povrchové napětí
- bod vzplanutí
- způsob vytvrzování
- teplotní roztažnost
- mechanické vlastnosti
- změnu pevnosti v závislosti na teplotě
- smrštění při vytvrzování

Základní pravidlo pro výběr lepidla je, že lepidlo musí být svými vlastnostmi co nejvíce podobné lepenému materiálu.

Z tohoto pravidla můžeme určit následující požadavky:

- koheze a jeho adheze k adherentu má být tak velká, jaké 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 bodů 1 a 2 by se neměly velmi měnit v širokém rozsahu (průměrně od -30°C do +80°C)
- lepidlo má mít maximální odolnost proti povětrnostním vlivům. Nejzákladnější podmínkou z tohoto hlediska můžeme považovat pokles adheze a koheze vlivem vnějších vlivů, důležitá je také minimální navlhavost a propustnost látek z okolí, odolnost proti chemickým a biologickým činidlům, a proti vlivu teploty. Lepidlo má být odolné také vůči vlivům samotného adherentu (změkčovadla a jiné složky adherentu).
- smrštění lepidla při vytvrzování má být minimální.
- lepidlo má mít vhodné elektrické vlastnosti (izolační schopnost resp. vodivost) z hlediska vzniku elektrických článků a současně odolnost proti zplodinám při vzniku elektrického článku.
- při tvrdnutí nesmí lepidlo uvolňovat látky, které by mohly způsobit korozi nebo jinak narušit 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 adherentu a adheziva. Rozhodujícím faktorem je zde smáčivost povrchu adherentu adhezivem. Cílem úpravy povrchu adherentu je dosažení maximální možné snášivosti 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 výsledná pevnost lepeného spoje. [1]

Pro co nejlepší přilnutí lepidla k povrchu materiálu je třeba, aby na povrchu lepeného materiálu nebyly žádné nerovnosti, vrstvy a cizí látky.

Pro dosažení optimálních vlastností povrchu lepeného materiálu používáme fyzikálních a chemických operací.

2.4.1 Fyzikální operace pro přípravu povrchu adherentu

Mechanické:

- broušení
- pískování
- obrábění
- kartáčování
- tryskání

Jiné fyzikální operace:

- ozařování (infračervené, ultrafialové)
- čištění ultrazvukem
- iontové bombardování
- Do první skupiny řadíme takové operace, kterými odstraňujeme hrubé povrchové nerovnosti a hrubé nečistoty. Druhá skupina se zaměřuje na zvýšení adheze.

2.4.2 Chemické operace pro přípravu povrchu adherentu

- odmašťování
- fosfátování
- moření
- primery

Chemické operace můžeme rozdělit podobně. Odmašťováním odstraňujeme hrubé nečistoty a antiadhezivní vrstvy a například mořením zvyšujeme adhezi.

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

Z hlediska kvality lepených spojů je 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. [4]

2.5 Příprava lepidla

Způsob přípravy lepidla závisí na čtyřech základních faktorech:

- druh lepidla
- stav lepidla po uskladnění
- způsob nanášení
- způsob vytvrzování

Ve všech případech však musíme dbát na dodržování předpisů výrobce lepidla.

2.5.1 Druh lepidla

Patří sem charakteristiky, jako je:

- chemická struktura
- počet složek
- fyzikální stav (tekuté, práškové)
- životnost lepidla

Tyto charakteristiky nám říkají, jestli při použití budeme potřebovat rozpouštědla a jaké, zda budeme muset smíchat více složek lepidla, jaké pomůcky budeme potřebovat, jestli je zapotřebí pro uvedení lepidla do tekutého stavu zdroj tepla a jaké nanášecí zařízení budeme potřebovat.

2.5.2 Stav lepidla po uskladnění

Výrobce stanovuje podmínky při jakých můžeme lepidlo skladovat a čas po který můžeme lepidlo skladovat. V průběhu skladování však dochází ke změnám počátečního stavu lepidla. Změny se většinou projevují jako houstnutí, sedimentace tuhých složek, tvoření tuhých vrstviček na povrchu lepidla, zvýšení nebo snížení reaktivity lepidla. Podle stavu lepidla po skladování, volíme operace, kterými do dostaneme do stavu ve kterém ho můžeme použít.

Lepidlo musí být dokonale homogenní a v žádném případě nesmí obsahovat nežádoucí tuhé složky. Při delším skladování zkusíme také jeho reaktivitu, která může být nižší, což nám způsobuje zpomalení technologického procesu, nebo může být vyšší, tudíž se nám lepidlo začne vytvrzovat během, nebo již přes samotným nanášením. V takovém případě nelze lepidlo použít. [1]

2.5.3 Způsob nanášení

Cílem nanášení lepidla je vytvoření souvislé rovnoměrné vrstvy o určité tloušťce, ta je závislá na vlastnostech lepidla, lepených materiálů a způsobu vytvrzování.

Způsob nanášení závisí na velikosti a tvaru spojovaného materiálu. Tomu přizpůsobujeme prostředky, kterými 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 je tedy daný nanášecími prostředky, které jsou rozdílné podle druhu spoje, jeho konstrukce a viskozity lepidla. Používají se k tomu štětce, tuby, stříkácí pistole, polévání a namáčecí zařízení, válečkové nanášecí systémy. [1]

Vybavení pro ruční nanášení lepidel:

- štětce (s jemným a hustým vlasem)
- tyčinky (sklo, dřevo)
- stěrky (plast, plech, tvrdá guma)
- tuby (možnost výměnných nástavců pro různé způsoby nanášení)
- síta (nanášení práškových lepidel)
- nůžky (přesné stříhání fóliových a páskových lepidel)

Vybavení pro nanášení lepidel pomocí přípravků:

- injekční stříkačky (nanášení velmi tekutých lepidel)
- výtlačné pistole (nanášení hustých tmelů, těsnících hmot apod.)
- ruční válcové natěrače
- ruční nožové natěrače
- mechanické dávkovače a zanašeče lepidla
- automatické dávkovače

Zařízení pro nanášení lepidel na velké plochy:

- polévací zařízení
- válcové zařízení se stíracím nožem
- válcové zařízení se vzduchovým nožem
- válcové zařízení s natíracím válcem
- stříkání vzduchovými pistolemi
- bezvzduchové stříkací zařízení [1]

2.5.4 Způsob vytvrzování

Při vytvrzování lepidla je nutné znát podmínky, při kterých má určitý druh lepidla tendenci tvořit vazby. Zařízení a přípravky používané při vytvrzování se dělí také podle toho, jaké chemické reakce při vytvrzování probíhají, jestli se uvolňují rozpouštědla nebo jestli tuhne tavenina. Úpravou lepidla z hlediska vytvrzování rozumíme přidávání tužidel, urychlovačů a smíchání různých složek.

Nejdůležitější přípravné operace z hlediska vytvrzování jsou:

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

Ředění: pro optimalizaci tloušťky vrstvy lepidla je nutné upravit viskozitu a podíl sušiny v lepidle. Pro ředění se používají ředidla a rozpouštědla, která se musí lehce snášet s ředidly a rozpouštědly, které již lepidlo obsahuje.

Plnění: používá se pro změnu viskozity a tloušťky lepicí vrstvy, pro úsporu lepidla a pro změnu technologie nanášení.

Použitím plniv můžeme dosáhnout také různých vlastností lepidla, jako je třeba změna tuhosti lepicí vrstvy, barvy, tepelné roztažnosti, tepelnou a elektrickou vodivost, rychlost sušení.

Jako plniva používáme kovové, skleněné a keramické prášky. Ve zvláštních případech má plnivo funkci jako nosič lepidla, např. při použití řídkých tkanin (skelná tkanina apod.).[1]

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

Homogenizace a odvzdušnění: vícesložková lepidla je nutné před použitím důkladně homogenizovat, za použití různých míchadel. Při míchání se do lepidla ovšem dostane vzduch, který značně snižuje pevnost konečného spoje. Proto je nutné lepidlo odvzdušnit, toho můžeme dosáhnout např. pomocí vakuování. [1]

2.6 Montáž spoje

Montáž lepeného spoje se rozděluje na dvě části:

- vytvoření mechanických podmínek pro vznik spoje.
- vytvoření podmínek pro vznik adhezních vazeb.

V závislosti na druhu použitého lepidla je zapotřebí určité teploty a tlaku, aby mohli vzniknout adhezní vazby a potřebná koheze.

2.6.1 Utvoření mechanických podmínek pro vznik spoje

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 a 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. [1]

2.6.2 Utvoření podmínek pro vznik adhezních vazeb

Základní podmínky pro utvoření 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, 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, přidavkem tvrdidla nebo kontaktem s kovy. Tavná lepidla tuhnou, po jejich předchozím roztavením, 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 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, silikátová lepidla, keramická lepidla, apod.).

Lepidla na syntetické bázi:

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

3.2 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 roztočová
- tavná lepidla
- lepidla stále lepivá

Lepidla reaktivní:

- tuhnoucí vlivem teploty
- tuhnoucí přidáním tvrdidel
- tuhnoucí při kontaktu s kovem bez přístupu vzduchu (anaerobní 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
- odolnost proti vodě
- pevnost při daném namáhání
- životnost v daných podmínkách
- bezpečnost a spolehlivost

4.1 Tepelná odolnost

Spolehlivost lepených spojů závisí od jejich odolnosti proti působení za snížených a zvýšených 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. Taky je potřeba brát v úvahu tepelné napětí ve spoji, které vzniká rozdílem v koeficientech tepelné roztažnosti lepených materiálů. [2]

4.2 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 působení m vody klesá.

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

4.3 Pevnost při daném namáhání

Lepené spoje jsou nejvíce odolné proti namáhání ve stříhu, proto by se 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. [5]

4.4 Životnost, spolehlivost a bezpečnost

Životnost a spolehlivost je dána odolností správným výběrem lepidla a správnou konstrukcí lepeného spoje. Pokud jsou zvoleny správně, má spoj vysokou odolnost proti vlivům prostředí ve kterém je. Pro dostatečnou bezpečnost by měl být spoj navržen tak, aby při jeho narušení nebo destrukci nedošlo ke zranění nebo škodám na majetku.

4.5 Výhody a nevýhody lepení kovů

Lepení v porovnání s nýtováním a svařováním.

Velkou výhodou lepení je jeho pokrokovost, která spočívá v obrovských možnostech dalšího vývoje a možnostech využití lepení v sériové automatizované výrobě spojů rozmanitých tvarů, velikostí a kombinací materiálů.

4.5.1 Výhody lepených spojů

- 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 než jako u konstrukce nýtované nebo svařované
- lepený spoj tlumí vibrace, snižuje rezonanci a hluk
- lepený spoj je těsný vůči tlaku a vakuu
- lepení nevystavuje materiál 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 velké rozměry (drobné výrobky, velké plochy)
- proces lepení je poměrně jednoduchý
- možnost použití technologie v terénu a za použití relativně nízkých teplot

4.5.2 Nevýhody lepených spojů

- spoj je citlivý na nárazy, vysoké teploty a na některé chemikálie
- jsou citlivé na namáhání v odlupování a kroucení
- spoj vyžaduje náročnou povrchovou úpravu
- potřeba přesné práce, zejména při použití vícesložkových lepidel a lepidel, které mají složitý způsob vytvrzování
- od začátku lepení zbývá málo času na dokončení operace
- výsledné pevnosti se dosáhne až po určité době
- lepení v průmyslovém měřítku je náročné na vybavení a bývá obtížné oddělit díly nedestruktivní metodou. [5][1]

Kromě uvedených předností a nedostatků je třeba si uvést i některé další vlastnosti, které však nelze jednoznačně zařadit mezi výhody, ale je potřeba s nimi počítat. Například lepený spoj může představovat elektricky izolovaný systém (pokud se nepoužívá elektricky vodivé lepidlo).

4.6 Porovnání různých spojů kovů podle pevnosti

Jak vyplývá z teorie, pevnost lepeného spoje závisí nejen na adhezi, ale i na kohezi jednotlivých složek spoje. Kohezi můžeme nazývat mechanickou pevností. Pak zřejmě můžeme očekávat určité rozdíly v pevnosti spoje různých materiálů lepených stejným lepidlem. Všeobecně můžeme říci, že materiál s vyšší pevností může dosáhnout vyšší absolutní pevnost spoje, ale na druhou stranu, podíl pevnosti spoje vůči pevnosti materiálu bude nižší jako při materiálech, jejichž pevnost má hodnoty blízké hodnotám lepidla.

Lepené spoje kombinací kovů není možné dobře porovnávat se svařováním (nedají se svařovat), ale pevnost některých kombinací uvedených v následující tabulce (*Tab.1.*) jsou pozoruhodné.

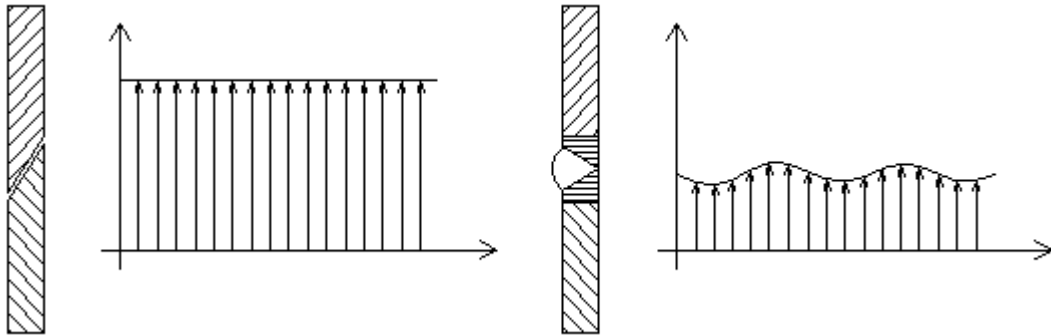
Tab. 1 Porovnání různých spojů kovů podle pevnosti

Materiál	Pevnost materiálu [MPa]	Zatížení při přetržení [N]		
		lepený spoj	nýtovaný spoj	svařovaný spoj
Al, Cu, Mg	350	7000	4800	3750
Ocel (NiCr)	480	5980	28800	38500

Je třeba zdůraznit, že vytvrzované spoje mají zpravidla vyšší pevnost i odolnost. Však mnoho moderních lepidel vytvrzovaných za studena má obdobné výsledky.

Z této analýzy vyplývá, že hlavní doménou lepení bude spojování lehkých kovů a jejich slitin, jako i spojování náročných kombinací materiálů, které neumíme svařovat, nebo materiálů jejichž svařování by bylo celkově nevýhodné vzhledem k lepení.

V teoretické části jsou rozebírána napětí které vznikají v lepeném spoji. Ve správně konstruovaném spoji jsou tyto napětí rovnoměrné, kdežto v nýtovaném spoji jsou vysoká napětí na okrajích děr a ve svařovaných spojích je napětí nerovnoměrné.



Obr. 4 Porovnání napětí v lepeném a svařovaném spoji

5 PEVNOST LEPENÝCH SPOJŮ

Nosnost a v některých případech i deformace lepených konstrukcí závisí na mechanických vlastnostech spoje a napět'ovo-deformačním stavu lepeného spoje. Napět'ovo-deformační stav je dána deformačními vlastnostmi spoje a lepených materiálů, geometrií spoje a způsobem namáhání. Toto se vztahuje jak na konstrukce, tak i na všechny ostatní druhy vzorků používané při zkoumání pevnosti lepených spojů.

Napět'ovo-deformační stav lepených spojů je obvykle nerovnoměrný a lom začíná v zóně, v které napětí dosahuje pro daný spoj kritických hodnot. Z toho vyplývá, že objektivní informace o pevnosti spoje a adhezivních vazeb lze získat jen na základě posouzení stavu jejich napětí, nebo při použití takových vzorků, u kterých můžeme nerovnoměrnost rozdělení napětí v ploše spoje vědomě zanedbat.

Experimentální hodnocení pevnosti spoje ve většině případů vede k určení lomového namáhání lepeného spoje nebo k určení „střední pevnosti“ tím, že se lomové namáhání dělí lepenou plochou. Takové hodnocení dává přinejmenším nejednoznačné výsledky. Často tento postup způsobuje nesprávné vyhodnocování výsledků výzkumu a v konečném výsledku snižuje efektivnost využívání lepených spojů. [2]

5.1 Pevnostní parametry lepených spojů

Na hodnocení pevnosti lepených spojů při krátkodobém namáhání se nejvíce používají tři parametry:

- střední pevnost
- maximální napětí
- destruktivní energie

5.1.1 Střední pevnost

Je to pevnostní parametr charakterizovaný napětím, které je dané poměrem síly potřebné na lom k lepené ploše. Jeho široké použití se vysvětluje jednoduchostí a tím, že při určování tohoto parametru se používají experimentálně jednoduše měřené údaje.

Na parametr střední pevnosti ve smyku významně ovlivňují geometrie vzorku a deformační vlastnosti všech jeho složek, především vlastnosti spoje. Například při zvýšení zkušební teploty se současně mění pevnost a deformovatelnost spoje. Snížení pevnosti lepidla snižuje parametr střední pevnosti spojů, ale zvýšení jeho deformovatelnosti obvykle pomáhá rovnoměrnějšímu rozdělení napětí. [2]

5.1.2 Maximální napětí

Většina způsobů zkoušení lepených spojů nezabezpečuje rovnoměrnost namáhání všech adhezivních vazeb spoje a spoje se začínají lámat tam, kde se projevují maximální napětí. Z fyzikálního hlediska parametr maximální napětí má blíže k pevnosti adhezivních vazeb daného páru lepidlo-substrát, než parametr střední pevnost. Prakticky jediným způsobem hodnocení maximálního napětí jsou výpočtové metody.

Protože experimentálně lze namáhání určit nejpřesněji, spolehlivost výpočtů bude dána tím, jak teoretické křivky souhlasí s experimentálními závislostmi střední pevnosti od různých parametrů. [2]

5.1.3 Destruktivní energie

Neboli energie lomu. Je to parametr používající se při hodnocení spojů namáhaných způsobem nerovnoměrného odtrhávání. Přitom je třeba odlišovat výpočet energie lomu při odlupování měkkých materiálů a při nerovnoměrném odtrhnutí masivních a tvrdých lepených materiálů, přitom je třeba brát v úvahu ztráty energie na deformaci lepených materiálů. Při destrukci nerovnoměrným odtrháváním spojů tvrdých konstrukčních materiálů, kovů, dřeva apod., nastává mimořádně nerovnoměrné rozdělení napětí podél spoje, což způsobuje, že destruktivní energie se určuje poměrně nepřesně. [2]

5.2 Výpočet pevnosti lepeného spoje v tahu

Pro výpočet pevnosti lepeného spoje se dá použít vzorec pro výpočet střední pevnosti. Jedná se tedy o sílu potřebnou na lom působící na plochu, vztah můžeme tedy zapsat:

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

kde S je lepená plocha:

$$S = b \cdot l \quad \text{m}^2 \quad (2)$$

F - síla potřebná na lom

S - lepená plocha

b - šířka spoje

l - délka spoje

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

- vybrané kovové adherenty jsou homogenní co do makrostruktury tak i do mikrostruktury a mají odpovídající fyzikálně-mechanické parametry a optimální geometrické parametry.
- adherenty mají homogenní povrch, to znamená, že po celém povrchu mají stejné vlastnosti.
- se lepidlo bude dobře snášet s adherentem a případné plniva nesmí s kovovým adherentem vytvářet galvanický článek.
- je spoj konstruován tak, aby byl spoj namáhán převážně na smyk.
- spoj vznikne rychle, aby povrch adherentů nebyl ovlivněn působením okolního prostředí. [1]

5.3 Chyby lepených spojů

Lepený spoj je náročný systém, jehož kvalita závisí na mnoha faktorech. Nesporná výhoda tohoto způsobu spojování je v mnohých odvětvích průmyslu stále hojněji využívána. Aby jsme se při tomto výhodném způsobu vytváření pevných konstrukcí, velmi výhodných zejména pro podmínky dynamického zatížení náročných výrobků, vyhnuli nepříznivým výsledkům, musíme analyzovat chyby a jejich příčiny.

Hlavní chyby můžeme přehledně shrnout ho několika skupin:

a) Nízká pevnost:

- jde o nepravý spoj, jehož příčinou je slabá vazbová vrstva (neodmaštění, neočištění, špatné nanášení, nízká teplota u tavných lepidel, špatná smáčivost, negativní reakce mezi adherentem a lepidlem)
- velká koncentrace napětí (bubliny v lepicí vrstvě, nerovnoměrnost lepicí vrstvy, špatná velikost lepicí vrstvy, špatná konstrukce spoje)
- skryté vady materiálu (dutiny, praskliny, vnitřní napětí, špatná krystalická mřížka, únava materiálu)

b) Slabá odolnost složek spoje proti prostředí:

- ztráta pevnosti spoje vlivem vnějších podmínek (proniknutí agresivních látek do spoje, špatný výběr materiálu do daného prostředí, vlivy způsobující stárnutí, nedokonalá nebo špatná úprava povrchu spoje, hydrolýza nebo vyluhování lepicí vrstvy, rozpustnost, apod.)

c) Nízká životnost:

- ztráta pevnosti působením příčin ve spoji (špatná technologie lepení, špatný výběr materiálů, některé parametry dynamického namáhání (vysoká frekvence kmitů, rezonance) vyvolávají předčasnou únavu spoje)

d) Chyby vzhledu:

- přetoky, netransparentnost, nevhodná barva lepidla

e) Funkční nedostatky:

- chyby, které ovlivňují funkčnost výrobku (elektroizolační vlastnosti, snížení průtoku, nevhodné umístění spoje

f) Jiné nedostatky:

- citlivost na změny teploty
- dlouhý čas pro získání konečné pevnosti
- nerozebíratelnost lepeného spoje
- složitá oprava poškozeného spoje
- vysoké nároky na přesnou práci
- zdravotně náročné prostředí při lepení. [1]

6 ZKOUŠKY LEPENÝCH SPOJŮ

Po zhotovení spoje se zkouší hlavně pevnost a ostatní mechanické vlastnosti. Tyto vlastnosti závidí na konstrukci a tvaru spoje, na materiálech, na směru, způsobu a velikosti namáhání. Zkoušek mechanických vlastností je tedy mnoho. [1]

6.1 Rozdělení zkoušek

V praxi rozdělujeme zkoušky na dvě hlavní skupiny:

- destruktivní
- nedestruktivní

6.2 Destruktivní zkoušky

Destruktivní zkoušky se nejvhodněji rozdělují do skupin podle charakteru odtrhávání jednotlivých složek spoje:

- a) Metody nerovnoměrného odtrhnutí:
 - zkoušky spojů tuhých materiálů
 - zkoušky spojů, v kterých je aspoň jeden materiál ohebný
- b) Metody rovnoměrného odtrhnutí:

Používají se zpravidla při zkoušení kombinovaných systémů.

- zkouška systému guma-kov
 - zkouška systému plast-kov
 - zkouška jiných kombinací materiálů
- c) Metody s využitím napětí ve smyku:

Smykové (tangenciální) napětí vzniká v rovině spoje a vzniká při smykovém napětí tahem, tlakem nebo krutem, při kterém vznikají kolmé napětí.

Jednotlivé metody se uplatňují buď na:

- plošné spoje
- rotační spoje (válcové, trubkové)

K destruktivním zkouškám dále patří zkoušky únavové a zkoušky studeného toku. [1]

6.2.1 Metoda nerovnoměrného odtrhnutí

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

- excentrické roztahování bloků (štěpení)
- excentrický ohyb spoje deska-blok
- excentrický pohyb dvou desek
- konzolový ohyb dvou desek

Výsledná pevnost závisí na rozměrech bloků a na mechanických vlastnostech, zejména pružnosti a kohezi. Získané hodnoty jsou nižší než při pevnostních zkouškách v tahu nebo smyku. [1]

6.2.2 Metoda rovnoměrného odtrhnutí

Na rozdíl od metody nerovnoměrného odtrhnutí, při kterém trhлина ve spoji zpravidla postupuje od některého okraje až se odtrhne spoj po celé ploše, metodou rovnoměrného odtrhnutí se měří velikost síly potřebné na odtrhnutí spoje na celé dotykové ploše současně. Síly přitom působí kolmo na rovinu spoje.

Pevnost spoje je v tomto případě vyjádřena silou potřebnou na roztrhnutí, která se vztahuje na jednotku plochy v MPa. [1]

6.2.3 Metody s využitím namáhání ve smyku

Zkušební metody, při kterých probíhají ve vrstvě lepidla smykové napětí, jsou nejznámější a nejrozšířenější. Ačkoli se často používají pro různé materiály, jsou určeny pro spoje tuhých materiálů, přičemž se na části spoje působí paralelně s rovinou spoje (tahem, tlakem, krutem).

6.2.4 Únavové zkoušky

K destrukčním zkouškám patří i únavové zkoušky, které se používají zejména pro velmi náročné aplikace. Únavová zkouška se definuje jako namáhání daným opakovaným zatížením a schopností spoje odolávat přetrhnutí.

Namáhání má stanovenou frekvenci amplitudu. Směr napětí může být v rovině spoje nebo kolmo na rovinu spoje. [1]

6.3 Nedestruktivní zkoušky

Při stanovení pevnosti spoje nedestruktivní metodou se stanovuje korelace mezi pevností spoje a některé z vlastností lepeného systému, které mohou ukázat, zda má daný spoj adekvátní vlastnosti jako systém. přesnost této korelace patří mezi rozhodující faktory pro akceptování nedestruktivní metody.

Z hlediska zjišťování kvality a z ní odvozené pevnosti lepeného spoje se v průmyslu používají následující zkoušky:

- zjišťování dokonalého odmaštění a dekontaminace povrchu
- zjišťování druhu zoxidované vrstvy a její hloubku
- zjišťování správné textury a topografie zoxidované vrstvy.

Z teorie je známo, že pro kvalitu a pevnost spoje jsou tyto vlastnosti velmi důležité. Jak se tedy zjistí optimální vlastnosti povrchu lepených dílů, vytvoří se předpoklad pro dokonalý spoj. Tento předpoklad je však třeba doplnit údaji o kvalitě a kohezi lepicí vrstvy.[1]

Proto se měří tloušťka, rovnoměrnost a celistvost lepicí vrstvy, a to:

- měřením dielektrické konstanty lepicí vrstvy
- měřením změn tepelné vodivosti a tepelné kapacity
- porovnáním změn kapalných krystalů a nebo termografických nátěrů a indikátorů při zahřívání spoje z jedné strany
- fotografováním pronikajícího infračerveného záření
- měřením intenzity pronikajícího radioaktivního záření
- měřením zvukových a nebo ultrazvukových vibrací
- měření odrazu ultrazvukových vibrací. [1]

6.4 Mechanické zkoušky

Mechanickými zkouškami rozumíme takové zkoušky, u kterých zjišťujeme pevnost, pružnost a houževnatost materiálu nebo spoje, při kterých využíváme namáhání jako jsou tah, tlak, krut, střih a ohyb, nebo jejich kombinace.

Z hlediska působení síly na zkušební těleso rozdělujeme mechanické zkoušky takto:

- statické zkoušky
- dynamické zkoušky rázové a cyklické
- zvláštní technické zkoušky

Podle teplot, při kterých zkoušky provádíme, je dělíme na zkoušky za teplot:

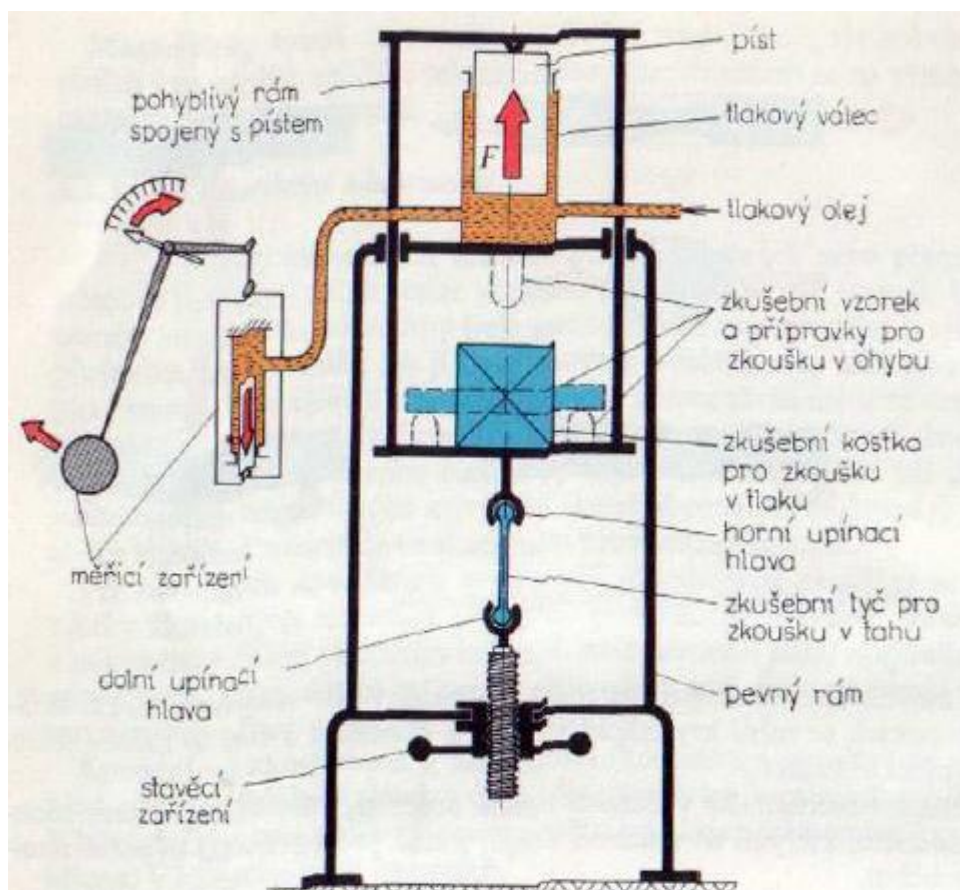
- normálních
- zvýšených
- snížených

Nezákladnější zkouškou pro zjištění vlastností lepeného spoje je zkouška tahem.[3]

6.4.1 Zkušební zařízení pro zkoušku tahem/tlakem

Zkušební stroje jsou buď jednoúčelové (jen pro jeden druh zkoušek) nebo univerzální pomocí vhodných přípravků lze provádět různé druhy zkoušek).

Na obrázku 5 je schéma univerzálního zkušebního stroje. Skládá se z rámu, upínacího ústrojí, zatěžovacího ústrojí, z měřicího a registračního (na obr. není zakresleno) zařízení. Do tlakového válce se přivádí tlakový olej, tím se zvedá pohyblivý (vnitřní) rám stroje. Zkušební tyče se pro zkoušku v tahu upínají do upínacích hlav. Měřicí zařízení (tzv. kyvadlový manometr) je spojeno potrubím s pracovním prostorem tlakového válce. Tlak působící na píst měřicího tlakového válečku je vyvážen kyvadlem se závažím. Ručička na ramenu páky kyvadla ukazuje na stupnici měřicího zatížení v jednotkách síly, tj. v Newtonech.[3]



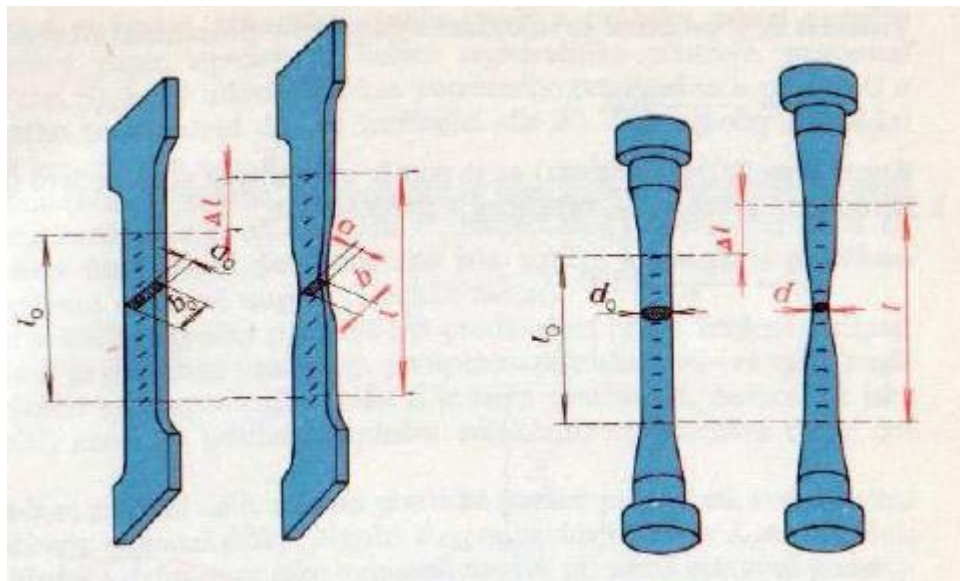
Obr. 5 Schéma univerzálního zkušebního stroje

6.4.2 Zkouška tahem

Nejrozšířenější statická zkouška. Je nutná téměř u všech technických materiálů, protože získáme některé základní hodnoty potřebné pro výpočet konstrukčních prvků a volbu vhodného materiálu. Zkoušky tahem se zpravidla nedělají přímo na vyrobené součásti, ale na zkušebních tyčích, jejichž tvary a rozměry jsou normalizovány. Počáteční délka L_0 zkušební tyče závisí na průřezu zkušební tyče a je při kruhovém průřezu a dlouhé tyče $10 d_0$ (d_0 - průměr zkušební tyče). Abychom mohli měřit prodloužení zkušební tyče po přetržení, vyznačíme na ní před zkouškou rysky ve vzdálenosti 10mm.

Zkouškou tahem zjišťujeme:

- pevnost v tahu
- poměrné prodloužení
- tažnost
- kontrakci (zúžení)



Obr. 6 Tvary zkušebních těles pro zkoušku tahem

Při všech statických zkouškách vzniká v zatíženém tělese napětí. To je míra vnitřních sil, které vznikají v materiálu působením vnějších sil. Rozeznáváme napětí normálové σ a napětí tečné τ . Podíl síly a skutečné plochy průřezu v kterémkoli stádiu zkoušky nazýváme skutečným napětím. Běžně však používáme hodnoty smluvních napětí, protože neuvažujeme změnu průřezu tělesa a zatížení vztahujeme na původní průřez S_0 . [3]

6.4.3 Výpočty hodnot u zkoušky tahem

Mez pevnosti v tahu R_m je **smluvní** hodnota napětí daného podílem největší zatěžující síly F_{max} , kterou snese zkušební těleso, a počátečního průřezu zkušební tělesa S_0 :

$$R_m = \frac{F_{max}}{S_0} \quad \text{[MPa]} \quad (3)$$

Byla-li počáteční délka zkušební tělesa L_0 a konečná délka pro přetržení L_u , je celkové (absolutní) prodloužení (změna délky):

$$\Delta L = L_u - L_0 \quad \text{[mm]} \quad (4)$$

Poměrné prodloužení ε je dáno poměrem změny délky ΔL k počáteční délce zkušební tělesa L_0 :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L_u - L_0}{L_0} \quad \text{[]} \quad (5)$$

Tažnost A je poměrné prodloužení vyjádřené v procentech počáteční délky:

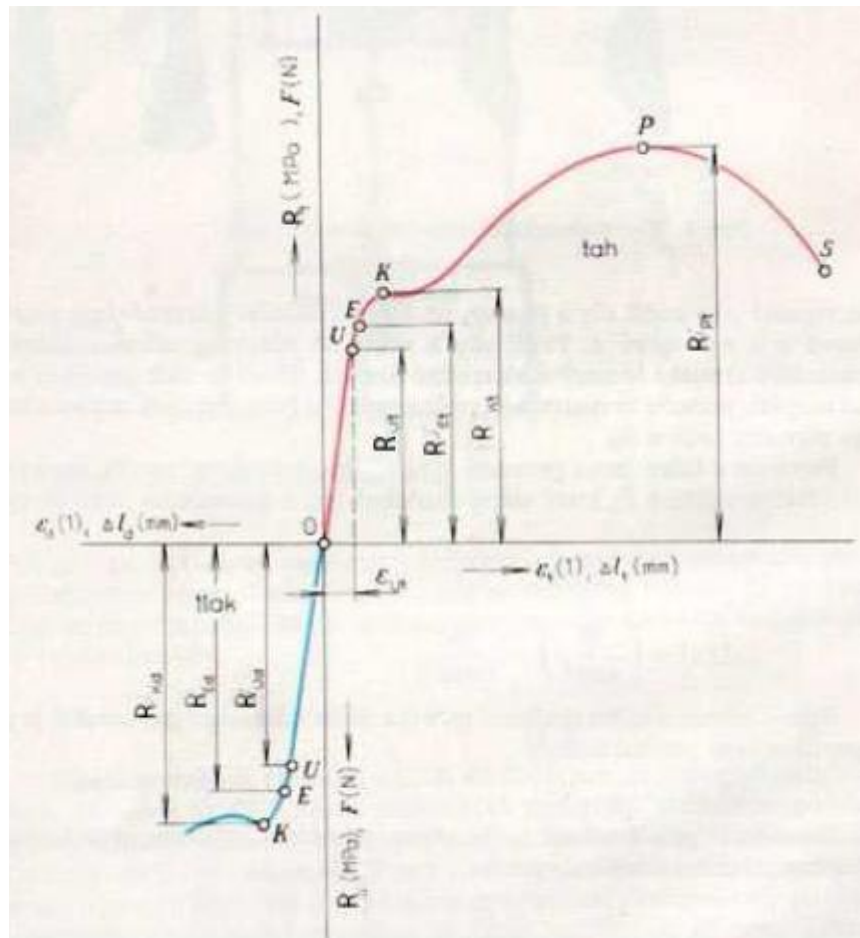
$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 \quad \text{[%]} \quad (6)$$

Kontrakce Z je poměr rozdílu počáteční plochy S_0 a nejmenší plochy S_u příčného řezu zkušební tyče po přetržení s počáteční ploše průřezu:

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100 \quad \text{[%]} \quad (7)$$

Při zkoušce tahem kreslí zapisovací zařízení trhacího stroje na milimetrový papír, upnutý na buben, pracovní diagram (obr.7), který udává závislost poměrného prodloužení ε na napětí R (nebo celkového prodloužení ΔL na zatěžující síle F). Pro výpočty namáhání má význam jen diagram ε - R (prodloužení - napětí).

Zpočátku je prodloužení tělesa přímo úměrné vzrůstajícímu zatížení (průběh lze znázornit přímkou), a to až do bodu U . Napětí odpovídající bodu U definujeme jako napětí, při němž je prodloužení ještě přímo úměrné napětí (Hookův zákon). [3]



Obr. 7 Pracovní diagram zkoušky tahem a tlakem
pro měkké nelegované oceli

V dalším průběhu zkoušky přestává být prodloužení přímo úměrné zatížení. Až do bodu E je deformace pružná, tj. po odlehčení nabývá těleso počáteční délky. Napětí odpovídající bodu E je mez pružnosti a definujeme ji jako mezní napětí, které po odlehčení nevyvolává trvalé deformace.

Zvětšuje-li se zatížení dál, nastává přetváření trvalé (plastické) a těleso po odlehčení nena-bude počáteční délky. Napětí odpovídající bodu K definujeme jako pevnost v kluzu (mez kluzu v tahu) R_e . Je to napětí, při němž se zkušební těleso počne výrazně deformovat, aniž by se zvyšovala zatěžující síla, nebo při němž nastává deformace provázena poklesem za-těžující síly.[3]

$$R_e = \frac{F_e}{S_0} \text{ [MPa]} \quad (8)$$

U některých materiálů výrazná prodleva nenastane. Potom zavádíme smluvní mez kluzu, kterou určujeme z trvalé deformace pod zatížením R_p . Je to napětí, při kterém trvalá deformace zkušebního tělesa dosáhne předepsané hodnoty vyjádřené v % počáteční měřené délky (např. 0,2% - $R_{p,0,2}$).[3]

$$R_{p,0,2} = \frac{F_{p,0,2}}{S_0} \quad \text{MPa} \quad (9)$$

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

7.1 Cíl laboratorních zkoušek

V experimentální části jsme chtěli za pomoci zkoušek zjistit, jakou pevnost ve smyku můžou mít testovaná lepidla Loctite Super Bond, Plexus MA 432 a Lord 310 A,B.

Tato lepidla jsme aplikovali na zkušební tělíska, která byla vyrobená z ocelového a pozinkovaného plechu. Ocelová zkušební tělíska byla o rozměrech 100x10x0,8 mm a pozinkovaná tělíska o rozměrech 100x10x0,5 mm. Velikost lepené plochy jsme u naší zkoušky zvolili 10 mm², tudíž jsme zkušební tělíska překládali o 10 mm.

Po vytvrzení lepidla jsme zkušební vzorky zkoušeli na smyk na zařízení Zwick 145 665 (obr.8) při teplotě $t=20^{\circ}\text{C}$ a následně v termické komoře při teplotě $t=60^{\circ}\text{C}$. Posuvová rychlost upínacího zařízení stroje byla 10mm/min.

Výsledné hodnoty jsme porovnali v tabulkách a grafech.

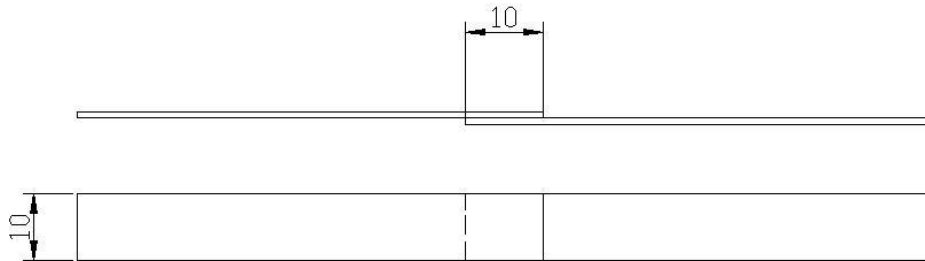


Obr. 8 Zkušební stroj Zwick 145 665

7.2 Příprava zkušebních vzorků

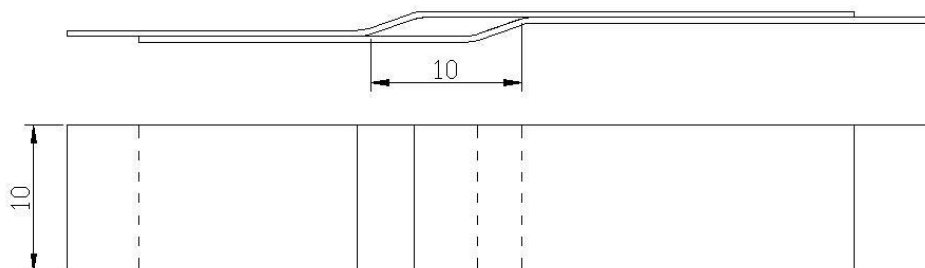
Po nastříhání plechů na požadovaný rozměr jsme plechy odjehlili a vyrovnali nerovnosti vzniklé při stříhání.

Lepidlo Loctite Super Bond jsme nanесли na plech. Takto vniklý zkušební vzorek jsme zafixovali proti pohybu a nechali vytvrdit v laboratorních teplotách (Obr. 9).



Obr. 9 Ukázka spoje dvou tělísek rozměrů 100x10x08 mm

U lepidel Lord 310 A,B a Plexus MA 432 jsme museli upravit tvar plechů (Obr. 10) a to z toho důvodu, aby nám mezi plechy vznikla mezera 1 mm. Do vzniklé mezery jsme aplikovali lepidlo, zkušební vzorek jsme zafixovali proti pohybu a nechali vytvrdit v laboratorních teplotách.



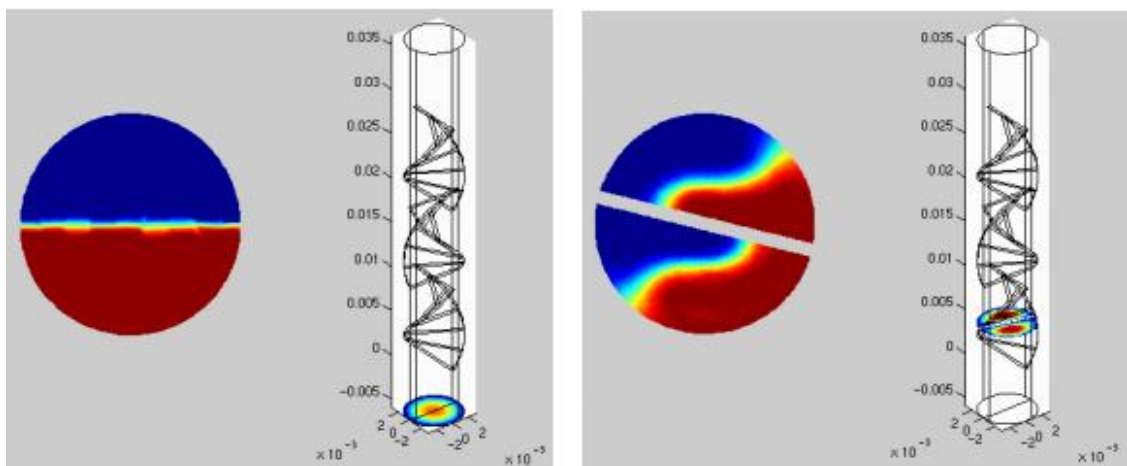
Obr. 10 Ukázka spoje dvou tvarovaných tělísek o rozměrech 100x10x0,5

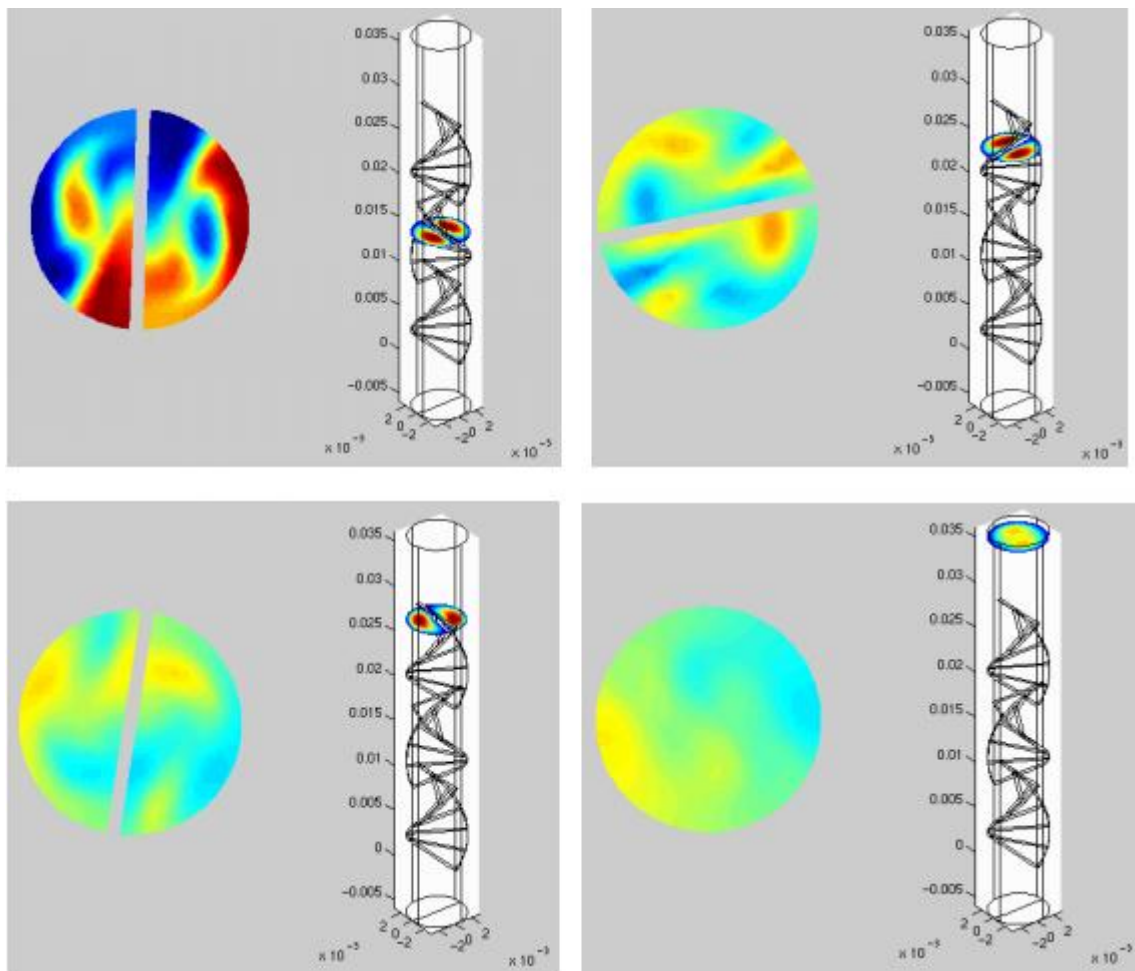
Při nanášení dvousložkového lepidla Lord 310 A,B jsme použili aplikátor se statickým mixérem (Obr. 11).



Obr. 11 Aplikátor se statickým mixérem

Statický mixér je zařízení, díky kterému docílíme dokonalé homogenizaci lepidla (obr. 11), pomocí lopatek uvnitř těla válcového tvaru.





Obr. 12 Průběh homogenizace lepidla ve statickém mixéru

Lepidlo Plexus MA 432 bylo nanášeno pomocí stěrky po předchozím důkladném ručním promíchání obou složek lepidla.

7.3 Vyhodnocení výsledků měření

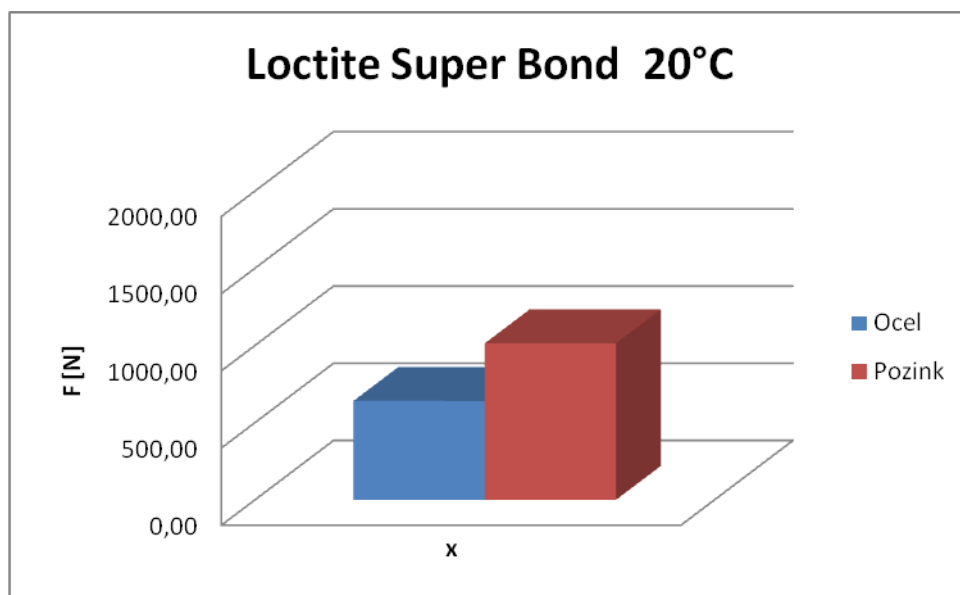
Při vyhodnocování výsledků jsme sledovali, jakou maximální sílu F_{\max} je schopen zkoušený lepený vzorek snést.

V tabulkách a grafech jsme srovnávali maximální síly pro jednotlivá lepidla, materiály i teploty.

V první části porovnáme pevnost daného lepidla pro oba dva lepené materiály za daných teplot.

Tab. 2 Maximální síly F_{max} pro
Loctite Super Bond při 20°C

Loctite Super Bond 20°C		
	Ocel	Pozink
1	478,58	1117,16
2	550,13	881,40
3	649,35	543,91
4	720,86	1450,39
5	803,39	1075,38
x	640,46	1013,65

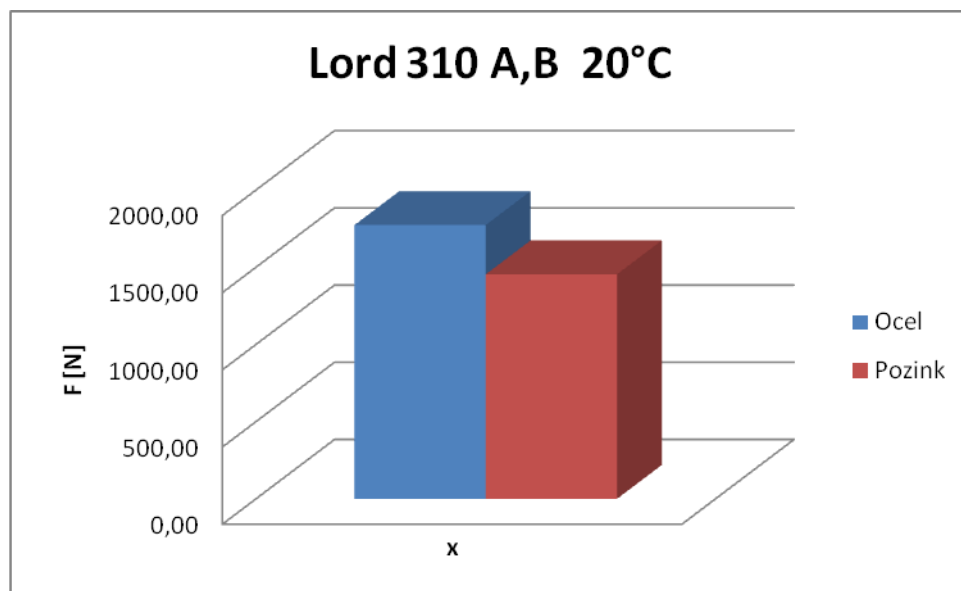


Graf 1 Porovnání únosnosti pro Loctite Super Bond při 20°C

Loctite Super Bond měl při 20°C větší únosnost u spoje na pozinkovaném plechu. Nejvyšší hodnota u spoje pozinkovaného plechu byla naměřena 1450,39 N a u spoje ocelového plechu byla naměřena nejvyšší hodnota 803,39 N.

Tab. 3 Maximální síly F_{max} pro
Lord 310 A,B při 20°C

Lord 310 A,B 20°C		
	Ocel	Pozink
1	1258,86	1218,96
2	2178,64	1328,66
3	1510,49	1558,65
4	1834,18	1294,05
5	2082,82	1869,71
x	1773,00	1454,01

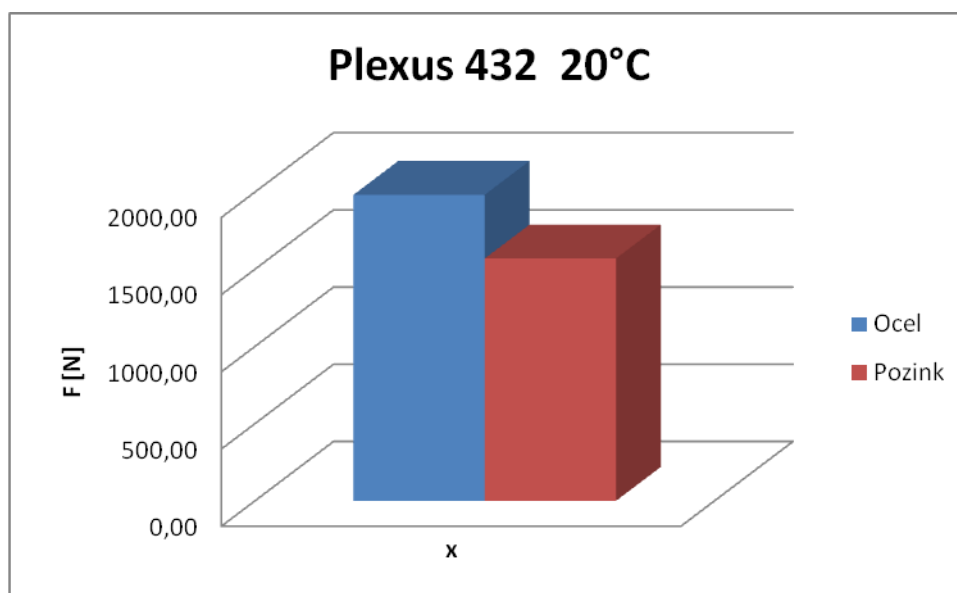


Graf 2 Porovnání únosnosti pro Lord 310 A,B při 20°C

Lepidlo Lord 310 A,B mělo vyšší únosnost než předchozí lepidlo. Maximální hodnota zde byla naměřena u spoje ocelového plechu a to hodnota 2178,84 N. Nejvyšší hodnota spoje pozinkovaného plechu byla 1869,71 N.

Tab. 4 Maximální síly F_{max} pro Plexus 432 při 20°C

Plexus 432 20°C		
	Ocel	Pozink
1	2032,41	1552,23
2	1940,47	1539,26
3	1974,12	1658,66
4	1990,01	1565,99
5	1972,50	1531,66
x	1981,90	1569,56



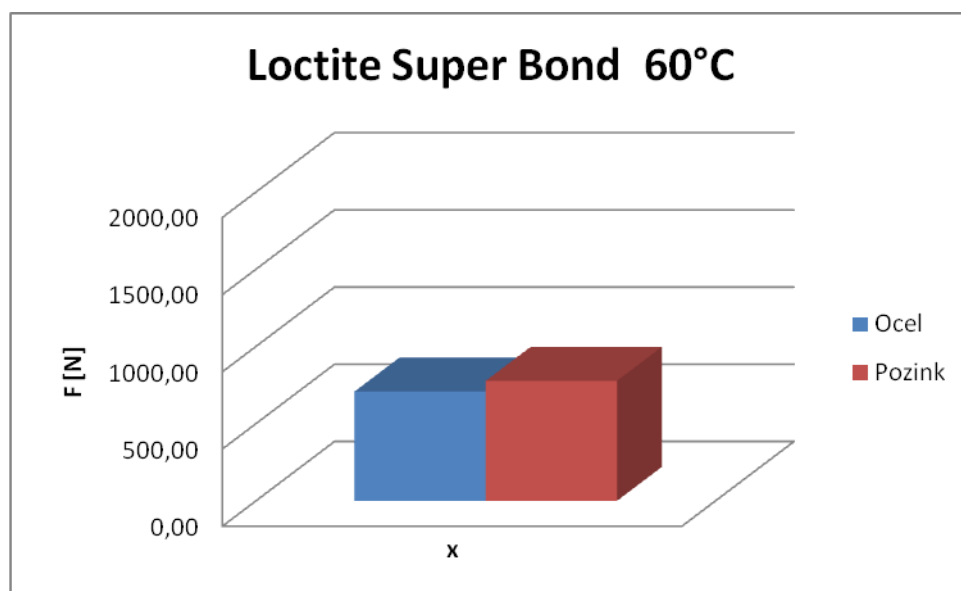
Graf 3 Porovnání únosnosti pro Plexus 432 při 20°C

Nejvyšší hodnota u lepidla Plexus 432 nebyla tak velká jako u lepidla Lord 310 A,B, ale zato průměrná hodnota x byla již na hodnotě 1981,90 N.

Nejvyšší hodnoty u této zkoušky byly 2032,41 N pro ocelový plech a 1658,66 N pro pozinkovaný plech.

Tab. 5 Maximální síly F_{max} pro
Loctite Super Bond při 60°C

Loctite Super Bond 60°C		
	Ocel	Pozink
1	758,80	590,83
2	906,07	1089,83
3	672,55	1309,48
4	660,75	448,75
5	539,22	446,86
x	707,48	777,15

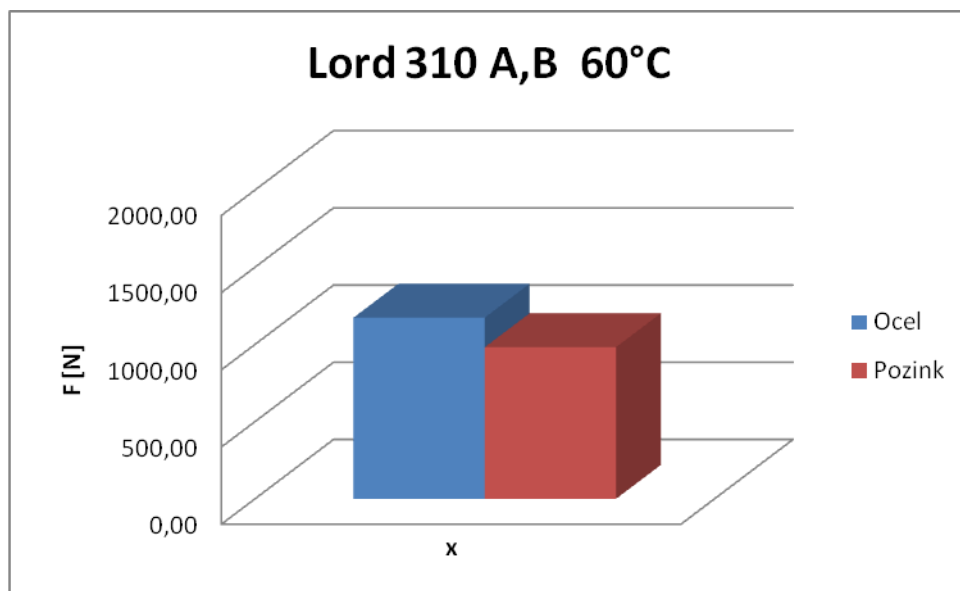


Graf 4 Porovnání únosnosti pro Loctite Super Bond při 60°C

Při zvýšené teplotě lepidlo Loctite Super Bond ztrácelo svou pevnost. Nejvyšší naměřenou hodnotu 1309,48 N máme u spoje pozinkovaného plechu. Maximální únosnost se tedy snížila o 140,91 N .

Tab. 6 Maximální síly F_{max} pro Lord 310 A,B při 60°C

Lord 310 A,B 60°C		
	Ocel	Pozink
1	1342,63	1174,15
2	866,02	1155,59
3	1065,66	905,56
4	1049,09	829,26
5	1542,24	844,98
x	1173,13	981,91

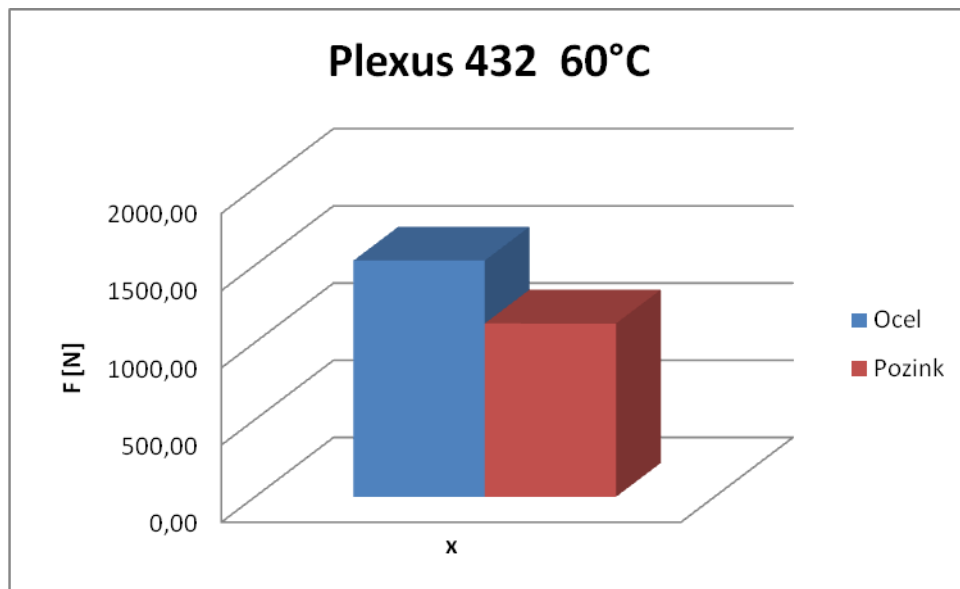


Graf 5 Porovnání únosnosti pro Lord 310 A,B při 60°C

Lepidlo Lord 310 A,B taktéž ztrácelo svou pevnost, když maximální pevnost jsme naměřili 1542,24 N u spoje ocelového plechu a vzhledem k předchozí zkoušce nám vzniknul rozdíl mezi maximálními hodnotami 626,40 N.

Tab. 7 Maximální síly F_{max} pro Plexus 432 při 60°C

Plexus 432 60°C		
	Ocel	Pozink
1	1151,50	881,94
2	1422,19	1137,88
3	1786,06	1210,29
4	1334,12	1009,86
5	1955,81	1372,42
x	1529,94	1122,48



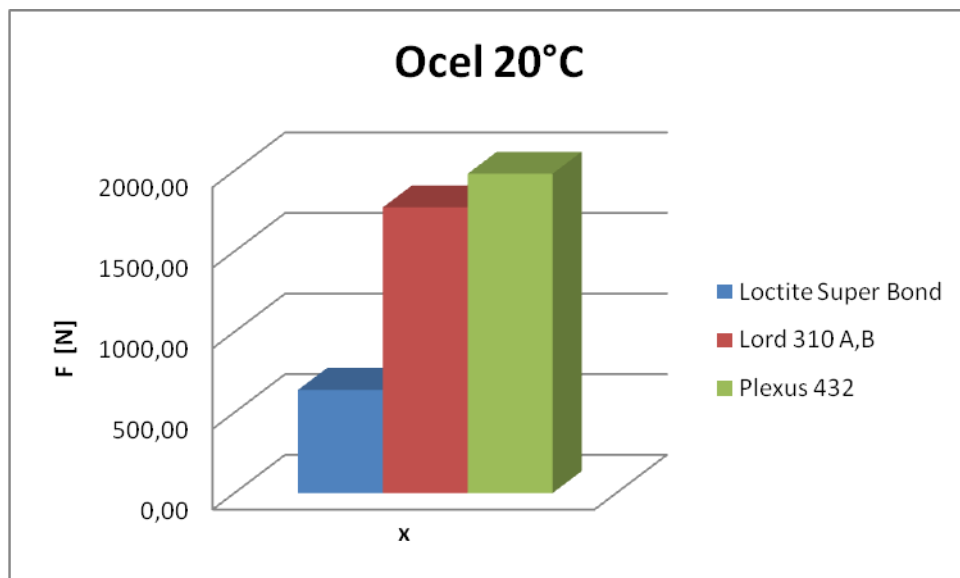
Graf 6 Porovnání únosnosti pro Plexus 432 při 60°C

Plexus 310 se při vyšší teplotě nechoval jinak. Při maximální hodnotě 1955,81 N jsme měli vzhledem k předchozí zkoušce pevnost nižší o 76,60 N.

V další části budeme porovnávat všechny tři druhy lepidel vždy pro danou teplotu a materiál.

Tab. 8 Maximální síly F_{max} pro daná lepidla při lepení oceli za teploty 20°C

Ocel 20°C			
	Loctite Super Bond	Lord 310 A,B	Plexus 432
1	478,58	1258,86	2032,41
2	550,13	2178,64	1940,47
3	649,35	1510,49	1974,12
4	720,86	1834,18	1990,01
5	803,39	2082,82	1972,50
x	640,46	1773,00	1981,90

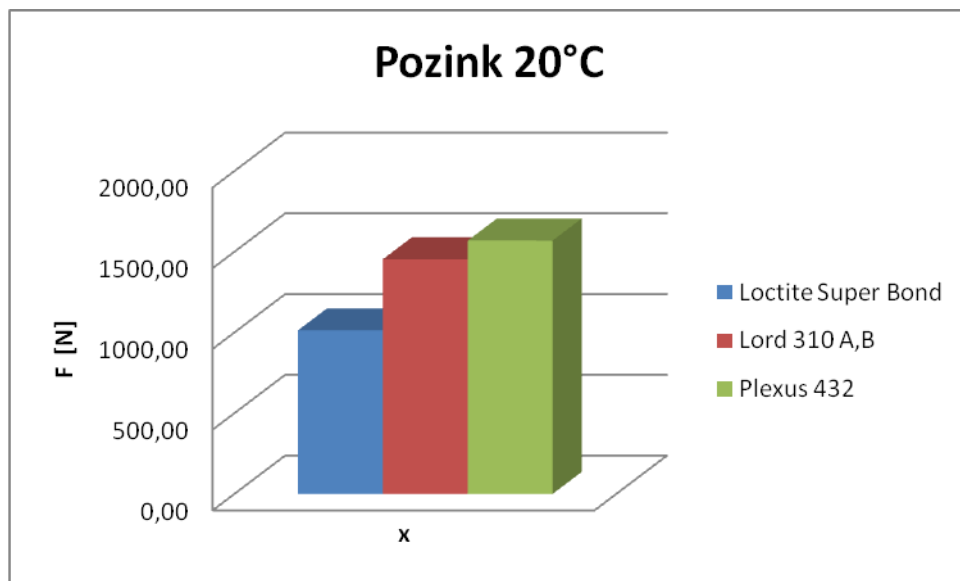


Graf 7 Porovnání únosnosti daných lepidel při lepení oceli za teploty 20°C

Maximální hodnotu 2178,64 N jsme při lepení oceli při 20°C získali díky lepidlu Lord 310 A,B. Avšak nejvyšší průměrnou únosnost měli spoje lepené lepidlem Plexus 432.

Tab. 9 Maximální síly F_{max} pro daná lepidla
při lepení pozinku za teploty 20°C

Pozink 20°C			
	Loctite Super Bond	Lord 310 A,B	Plexus 432
1	1117,16	1218,96	1552,23
2	881,40	1328,66	1539,26
3	543,91	1558,65	1658,66
4	1450,39	1294,05	1565,99
5	1075,38	1869,71	1531,66
x	1013,65	1454,01	1569,56

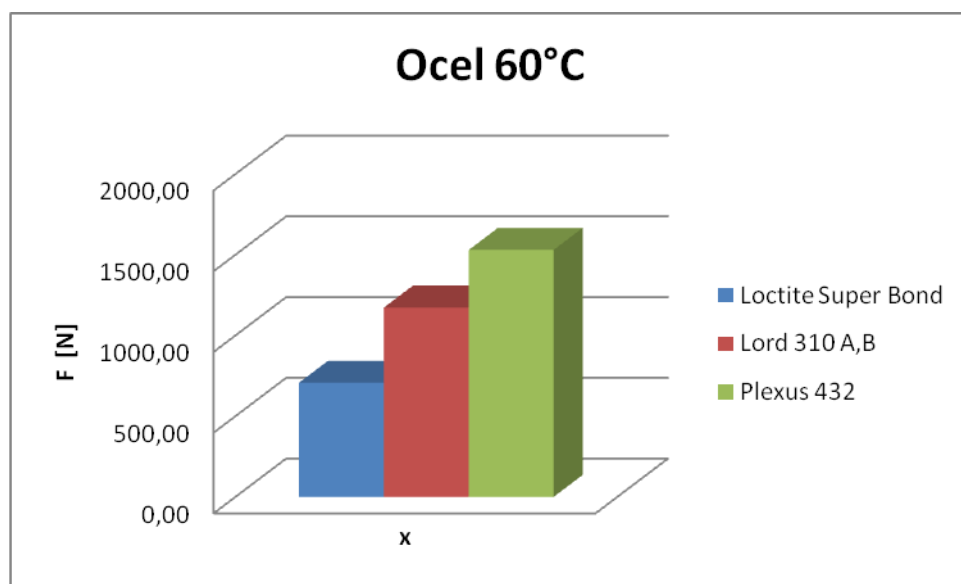


Graf 8 Porovnání únosnosti daných lepidel při lepení pozinku
za teploty 20°C

Nejmenší únosnost mělo znova lepidlo Loctite Super Bond. Lepidlo Lord 310 A,B mělo průměrnou hodnotu únosnosti 1454,01 N a lepidlo Plexus 432 mělo průměrnou hodnotu únosnosti 1569,56.

Tab. 10 Maximální síly F_{max} pro daná lepidla
při lepení oceli za teploty 60°C

Ocel 60°C			
	Loctite Super Bond	Lord 310 A,B	Plexus 432
1	758,80	1342,63	1151,50
2	906,07	866,02	1422,19
3	672,55	1065,66	1786,06
4	660,75	1049,09	1334,12
5	539,22	1542,24	1955,81
x	707,48	1173,13	1529,94

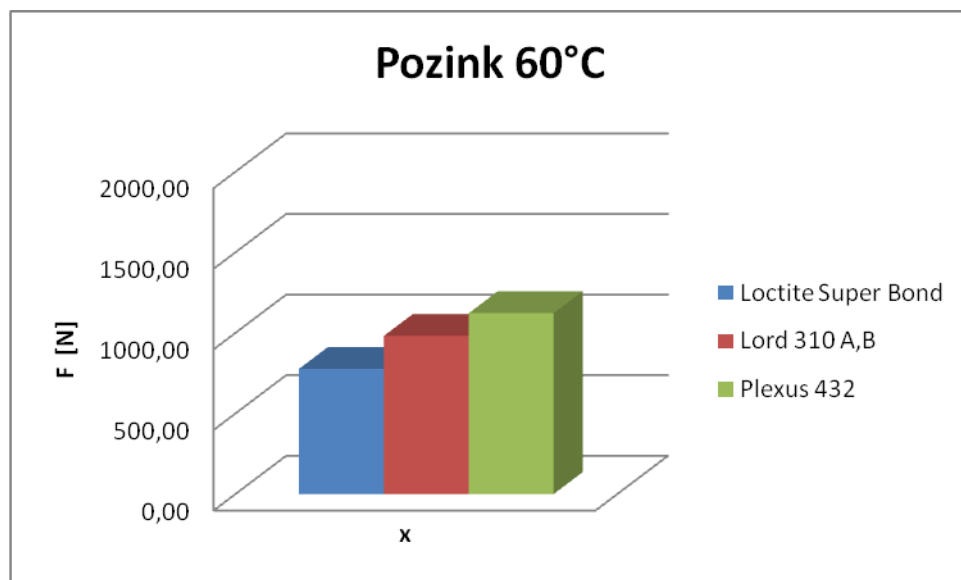


Graf 9 Porovnání únosnosti daných lepidel při lepení oceli
za teploty 60°C

Všechna zkoušená lepidla vykazovala za zvýšené teploty nižší únosnost. Nejlépe si však vedlo lepidlo Plexus 432 s maximální průměrnou únosností spoje 1529,94 N. Tato hodnota je ale o 451,96 N nižší než při stejné zkoušce při teplotě 20°C.

Tab. 11 Maximální síly F_{max} pro daná lepidla při lepení pozinku za teploty 60°C

Pozink 60°C			
	Loctite Super Bond	Lord 310 A,B	Plexus 432
1	590,83	1174,15	881,94
2	1089,83	1155,59	1137,88
3	1309,48	905,56	1210,29
4	448,75	829,26	1009,86
5	446,86	844,98	1372,42
x	777,15	981,91	1122,48



Graf 10 Porovnání únosnosti daných lepidel při lepení pozinku za teploty 60°C

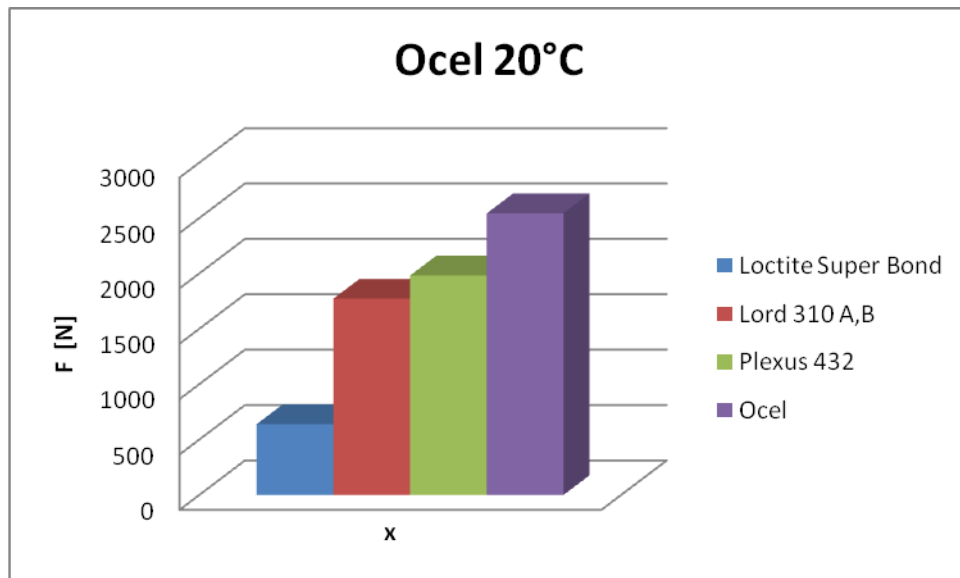
Maximální únosnost spojů pozinkovaného plechu za teploty 60°C je nejnižší ze všech zkoušek. Nejvyšší hodnota 1122,48 N je oproti zkoušce za teploty 20°C o 447,08 N nižší.

Abychom si dokázali lépe představit únosnost daných spojů, porovnáme je s pevností adherentů.

Pro tento případ máme tyto únosnosti: ocelový plech $F_{max}=2542,94$ N, pozinkovaný plech $F_{max}=2130,38$ N.

Tab. 12 Porovnání únosnosti lepidel vůči ocelovému plechu za teploty 20°C

Ocel 20°C			
Loctite Super Bond	Lord 310 A,B	Plexus 432	Ocel
640,46	1773,00	1981,90	2542,94



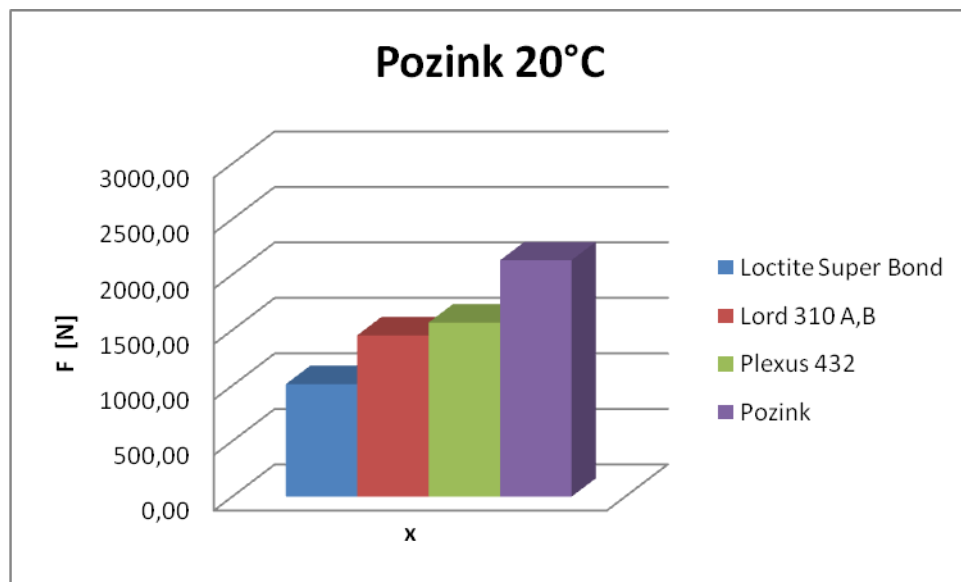
Graf 11 Porovnání únosnosti daných lepidel vůči ocelovému plechu za teploty 20°C

Mezi spoji ocelového plechu za teploty 20°C má nejnižší únosnost spoj pomocí lepidla Loctite Super Bond, když s hodnotou 640,46 N dosahuje asi čtvrtinové únosnosti ocelového plechu.

Nejlepší volbou pro lepení ocelového plechu za teploty 20°C se zdá být lepidlo Plexus 432 se svou průměrnou únosností 77,9% únosnosti ocelového plechu.

Tab. 13 Porovnání únosnosti lepidel vůči pozinkovanému plechu za teploty 20°C

Pozink 20°C			
Loctite Super Bond	Lord 310 A,B	Plexus 432	Pozink
1013,65	1454,01	1569,56	2130,38

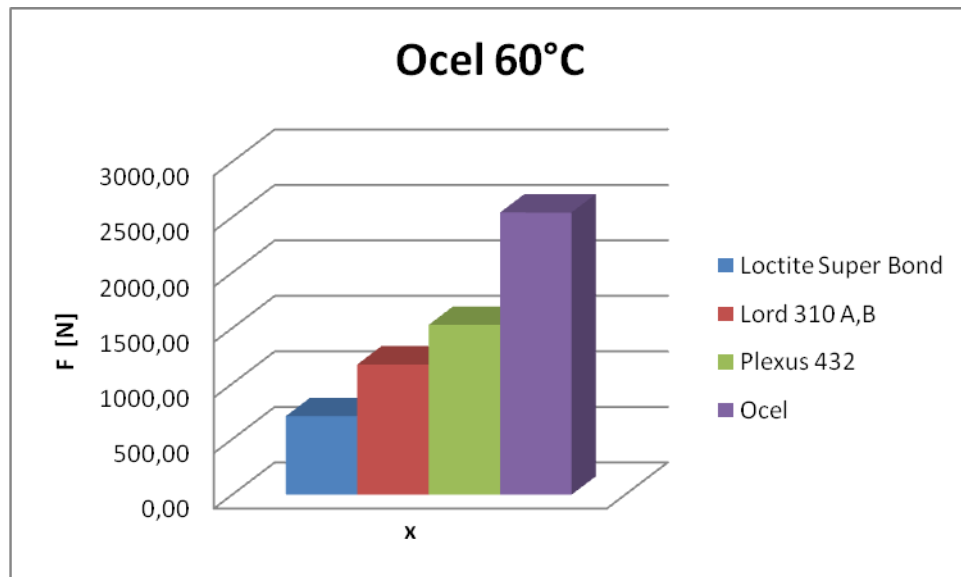


Graf 12 Porovnání únosnosti daných lepidel vůči pozinkovanému plechu za teploty 20°C

Nejvyšší pevnost dosáhlo lepidlo Plexus 432 se 73.7% únosnosti pozinkovaného plechu. Dobrou volbou by mohlo být i lepidlo Lord 310 A,B s 68,3% únosnosti pozinkovaného plechu.

Tab. 14 Porovnání únosnosti lepidel vůči ocelovému plechu za teploty 60°C

Ocel 60°C			
Loctite Super Bond	Lord 310 A,B	Plexus 432	Ocel
707,48	1173,13	1529,94	2542.94

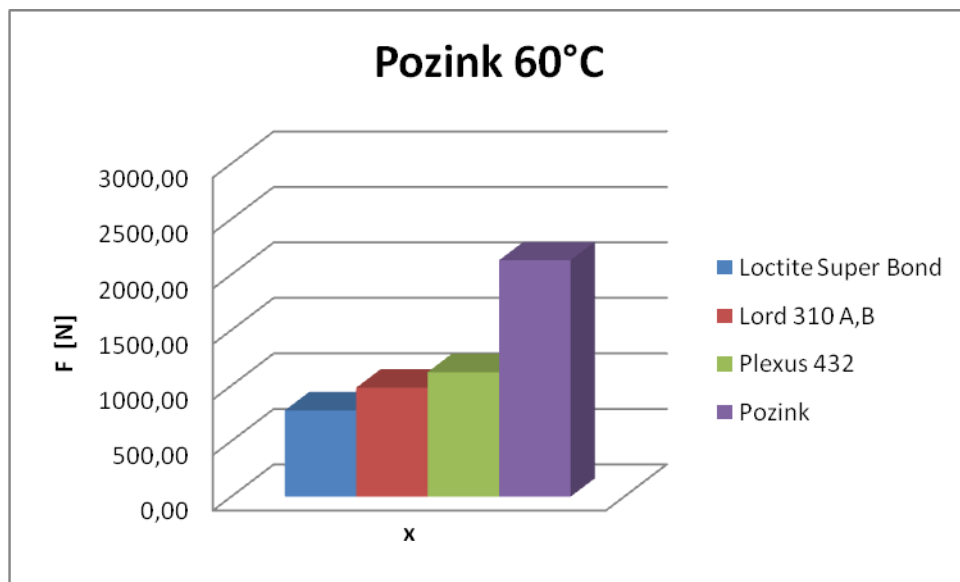


Graf 13 Porovnání únosnosti daných lepidel vůči ocelovému plechu za teploty 60°C

Jak jsme si řekli již dříve, za zvýšené teploty nám pevnost spoje klesá. Lepidla proto dosahují nižší únosnosti. Lepidlo Plexus 432 s únosností 1529,94 N mělo v tomto případě již jen 60,2% únosnosti ocelového plechu.

Tab. 15 Porovnání únosnosti lepidel vůči pozinkovanému plechu za teploty 60°C

Pozink 60°C			
Loctite Super Bond	Lord 310 A,B	Plexus 432	Pozink
777,15	981,91	1122,48	2130,38



Graf 14 Porovnání únosnosti daných lepidel vůči pozinkovanému plechu za teploty 60°C

Největších rozdílů v únosnosti lepených spojů jsme si mohli všimnout při zkoušce spojů pozinkovaného plechu za teploty 60°C. Pevnost nejpevnějšího spoje pozinkovaného plechu, spoje pomocí lepidla Plexus 432, nám klesla o 21% na hodnotu 1122,48 N, což je 52,7% únosnosti pozinkovaného plechu.

ZÁVĚR

Cílem Bakalářské práce bylo zjistit, které z daných lepidel je nejvhodnější pro lepení ocelového plechu a pozinkovaného plechu za teplot 20°C a 60°C.

Po přípravě zkušebních vzorků jsme přešli k jejich zkoušení na zkušebním stroji Zwick 145 665.

V první části měření jsme zkoušeli lepidla Loctite Super Bond, Lord 310 A,B a Plexus 432 na ocelovém plechu a na pozinkovaném plechu za teploty 20°C.

Z těchto měření jsme přišli k závěru, že nejvhodnějším lepidlem pro lepení ocelového plechu je lepidlo Plexus 432 s únosností 1981,90 N což je 77,9% únosnosti adherentu. Druhým vhodným lepidlem je lepidlo Lord 310 A,B. Ten má však již nižší únosnost. Naopak nejméně vhodným lepidlem pro lepení ocelového plechu při teplotě 20°C je lepidlo Loctite Super Bond.

Nejvhodnějším lepidlem pro lepení pozinkovaného plechu je taktéž lepidlo Plexus 432 které se svou únosností 1569,56 N dosahuje 73,7% únosnosti adherentu. Druhý nejpevnější spoj vznikne pomocí lepidla Lord 310 A,B. Ten má únosnost 68,3% únosnosti adherentu.

Spoj o nejnižší pevnosti vznikne při lepení pomocí lepidla Loctite Super Bond.

V druhé části měření jsme ke stroji Zwick 145 665 připojili termickou komoru, díky které jsme dokázali předejít zkoušené vzorky na teplotu 60°C.

Za zvýšené teploty jsme zpozorovali ztrátu únosnosti lepených spojů. Při zkoušce spojů ocelového plechu se i při ztrátě pevnosti nejlépe osvědčilo lepidlo Plexus 432 s únosností 60,2% únosnosti adherentu.

Lepidlo Plexus 432 mělo nejvyšší únosnost i při lepení pozinkovaného plechu který jsme zkoušeli za teploty 60°C. S průměrnou únosností 1122,48 N měl spoj sice o 21% nižší únosnost než spoj zkoušený za teploty 20°C, ale pořád měl ještě 50,7% únosnosti adherentu.

Ve výsledku můžeme říci, že nejvhodnějším lepidlem pro lepení kovů je lepidlo Plexus 432, naopak nejméně vhodným lepidlem je lepidlo Loctite Super Bond.

Z měření je také zřejmé, že důležitým faktorem při navrhování lepených spojů je teplota, jaké bude následně spoj vystaven. Proto je důležité, aby každý konstruktér lepených spojů znal prostředí, v kterém se bude spoj nacházet, aby mohl spoj vhodně nadimenzovat.

Proto je potřeba pro vytvoření pevného a trvanlivého spoje nutné správně zvolit typ lepeného spoje, materiály adherentů a zejména lepidla.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Kovačič, L.: Lepenie kovov a plastov, ALFA SNTL Bratislava, 1980, 392 s
- [2] Fredin, A.: Pevnosť a životnosť lepených spojov, ALFA VTEL Bratislava, 1988, 282 s
- [3] Hluchý, M.: Strojírenská technologie 1 - Nauka o materiálu, Scienta Praha, 2002, 266 s
- [4] Peterka, J.: Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství, SNTL Praha, 1980, 792 s
- [5] <http://dspace.upce.cz/bitstream/10195/28913/1/tect.pdf> (bakalářská práce) [cit. 2010-10-04]
- [6] http://dspace.knihovna.utb.cz/bitstream/handle/10563/13318/mach8lka_2010_bp.pdf?sequence=1

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Struktura lepeného spoje.....	13
Obr. 2 Koutové spoje	18
Obr. 3 Překlátované spoje	18
Obr. 4 Porovnání napětí v lepeném a svařovaném spoji.....	34
Obr. 5 Schéma univerzálního zkušebního stroje	44
Obr. 6 Tvary zkušebních těles pro zkoušku tahem	45
Obr. 7 Pracovní diagram zkoušky tahem a tlakem	47
Obr. 8 Zkušební stroj Zwick 145 665	50
Obr. 9 Ukázka spoje dvou tělísek rozměrů 100x10x08 mm.....	51
Obr. 10 Ukázka spoje dvou tvarovaných tělísek o rozměrech 100x10x0,5.....	51
Obr. 11 Aplikátor se statickým mixérem	52
Obr. 12 Průběh homogenizace lepidla ve statickém mixéru.....	53

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Porovnání různých spojů kovů podle pevnosti.....	33
Tab. 2 Maximální síly F_{\max} pro Loctite Super Bond při 20°C.....	54
Tab. 3 Maximální síly F_{\max} pro Lord 310 A,B při 20°C.....	55
Tab. 4 Maximální síly F_{\max} pro Plexus 432 při 20°C.....	56
Tab. 5 Maximální síly F_{\max} pro Loctite Super Bond při 60°C.....	57
Tab. 6 Maximální síly F_{\max} pro Lord 310 A,B při 60°C.....	58
Tab. 7 Maximální síly F_{\max} pro Plexus 432 při 60°C.....	59
Tab. 8 Maximální síly F_{\max} pro daná lepidla při lepení oceli za teploty 20°C.....	60
Tab. 9 Maximální síly F_{\max} pro daná lepidla.....	61
Tab. 10 Maximální síly F_{\max} pro daná lepidla.....	62
Tab. 11 Maximální síly F_{\max} pro daná lepidla.....	63
Tab. 12 Porovnání únosnosti lepidel vůči.....	64
Tab. 13 Porovnání únosnosti lepidel vůči pozinkovanému plechu za teploty 20°C.....	65
Tab. 14 Porovnání únosnosti lepidel vůči.....	66
Tab. 15 Porovnání únosnosti lepidel vůči pozinkovanému plechu za teploty 60°C.....	67

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Porovnání únosnosti pro Loctite Super Bond při 20°C	54
Graf 2 Porovnání únosnosti pro Lord 310 A,B při 20°C	55
Graf 3 Porovnání únosnosti pro Plexus 432 při 20°C.....	56
Graf 4 Porovnání únosnosti pro Loctite Super Bond při 60°C	57
Graf 5 Porovnání únosnosti pro Lord 310 A,B při 60°C	58
Graf 6 Porovnání únosnosti pro Plexus 432 při 60°C.....	59
Graf 7 Porovnání únosnosti daných lepidel při lepení oceli	60
Graf 8 Porovnání únosnosti daných lepidel při lepení pozinku	61
Graf 9 Porovnání únosnosti daných lepidel při lepení oceli	62
Graf 10 Porovnání únosnosti daných lepidel při lepení pozinku za teploty 60°C	63
Graf 11 Porovnání únosnosti daných lepidel vůči ocelovému plechu za teploty 20°C	64
Graf 12 Porovnání únosnosti daných lepidel vůči pozinkovanému.....	65
Graf 13 Porovnání únosnosti daných lepidel vůči ocelovému.....	66
Graf 14 Porovnání únosnosti daných lepidel vůči pozinkovanému.....	67