

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# ANALÝZA LEPIDEL VE VŠEOBECNÉM STROJÍRENSTVÍ

ANALYSIS OF ADHESIVES IN GENERAL ENGINEERING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

VOJTĚCH TRHOŇ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

ING. JAROSLAV KUBÍČEK

BRNO 2009



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2008/09

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Trhoň Vojtěch

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Analýza lepidel ve všeobecném strojírenství**

v anglickém jazyce:

### **Analysis of adhesives in general engineering**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Lepení je spojování všech technických materiálů pomocí adhezních sil na rozhraní lepidlo - materiál. V dnešní průmyslové praxi je významný růst aplikací lepidel ve všech oborech. Nejvyšší nárůst je v dopravní technice - letecké, automobilní i vlakové.

Cíle bakalářské práce:

Cílem BP je provést studii využití lepidel v oblasti strojírenství a dopravní techniky. Shrnout jednotlivé typy podle mechanismu vytvrzování a použití. Charakterizovat typy spojů dle průběhu napětí při zatížení. Na konkrétním případě vypracovat technologický postup lepení.

Seznam odborné literatury:

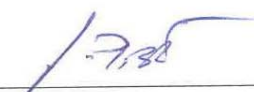
1. KOLEKTIV AUTORŮ. Loctite, Worldwide Design Handbook. 2 vyd. Mainz: Erasmusdruck GmbH.1998. 452s. ISBN 0-96 5590-0-5
2. OSTEN,M. Práce s lepidly a tmely. 3vyd. Praha: Grada Publishing s.r.o.1996. 136s. ISBN 80-7169-338-3
3. www.loctite.cz
4. www.weicon.cz

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jaroslav Kubíček


Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/09.

V Brně, dne 20.11.2008

L.S.

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu



  
\_\_\_\_\_  
doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Vojtěch Trhoň: Analýza lepidel ve všeobecném strojírenství.

---

Předkládaná bakalářská práce se zabývá analýzou lepidel ve všeobecném strojírenství a je zaměřena na rozdělení lepidel dle vytvrzení a vhodnosti použití. Dále je zde charakterizováno příznivé a nepříznivé mechanické namáhání lepených spojů. Na konci této práce je vypracován technologický postup lepení bočnic tramvaje.

Klíčová slova: Lepidlo, koheze, adheze, lepený spoj

## **ABSTRACT**

Vojtěch Trhoň: Analysis of adhesives in general engineering.

---

This bachelor thesis is concerned with analysis of adhesives in general engineering and it is focusing on the partition of adhesives according to curing and usability. Positive and negative mechanical stress of glued joints are characterised here. The technologic process of gluing side panels of tram is elaborated in the end of this bachelor thesis.

Keywords: Adhesive, cohesion, adhesion, glued joint

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

TRHOŇ, V. *Analýza lepidel ve všeobecném strojírenství*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 39 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaroslav Kubíček.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci na téma Analýza lepidel ve všeobecném strojírenství jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s využitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny uvedeny v seznamu literatury.

V Brně dne 27. 5. 2009

.....  
Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu ing. Jaroslavu Kubíčkoví za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Dále děkuji firmám Pragoimex a.s. a Sika CZ s.r.o. za poskytnutí odborné pomoci.

## OBSAH

ABSTRAKT .....	5
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE .....	6
ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ .....	7
PODĚKOVÁNÍ.....	8
OBSAH.....	9
ÚVOD .....	11
1 TEORIE LEPENÍ .....	12
2 LEPIDLO .....	13
2.1 Složení a tvar makromolekuly .....	13
2.2 Polymerační stupeň.....	13
2.3 Viskozita .....	13
2.4 Zásaditost a kyselost.....	13
2.5 Homogenita .....	13
2.6 Objemová stálost filmu lepidla.....	14
2.7 Struktura a složení plniva .....	14
3 VÝBĚR LEPIDLA .....	16
3.1 Lepený materiál.....	16
3.2 Požadované vlastnosti spoje .....	16
3.2.1 Mechanické vlastnosti .....	16
3.2.2 Tepelná odolnost.....	16
3.2.3 Odolnost vůči vodě a vlhkosti .....	16
3.2.4 Chemická odolnost.....	17
3.3 Provozní předpoklady.....	17
4 ROZDĚLENÍ LEPIDEL DLE MECHANIZMU VYTVRZOVÁNÍ.....	18
4.1 Lepidla vytvrzená anaerobní reakcí.....	18
4.2 Lepidla vytvrzovaná ultrafialovým zářením.....	20
4.2.1 Hlubkové vytvrzení .....	20
4.2.2 Povrchové vytvrzování .....	21
4.2.3 Sekundární vytvrzení.....	21
4.3 Lepidla vytvrzovaná aniontovou reakcí (kyanoakryláty) .....	22
4.4 Lepidla vytvrzovaná aktivátory .....	24
4.5 Lepidla vytvrzovaná okolní vlhkostí .....	24
4.5.1 Silikony .....	24
4.5.2 Polyuretany .....	25
4.6 Lepidla vytvrzovaná teplem.....	26
4.7 Lepidla vytvrzovaná vsáknutím a odpařením rozpouštědel.....	27
5 ROZDĚLENÍ LEPIDEL PODLE POUŽITÍ .....	28
5.1 Lepidla pro lepení kovů .....	28
5.2 Lepidla pro lepení plastů .....	29
5.2.1 Lepení reaktoplastů (termosetů).....	29
5.2.2 Lepení termoplastů.....	29
5.3 Lepidla pro lepení skla .....	30
6 MECHANICKÉ NAMÁHÁNÍ LEPENÝCH SPOJŮ .....	32
6.1 Vliv tloušťky vrstvy lepidla na pevnost lepeného spoje.....	33
7 TECHNOLOGICKÝ POSTUP LEPENÍ BOČNIC TRAMVAJE VariolF .....	34
ZÁVĚR .....	36
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	37
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	38

SEZNAM PŘÍLOH .....	39
---------------------	----

## ÚVOD

Lepení je nerozebíratelné spojování součástí stejných či různých materiálů za pomoci lepidla. Tato technologie se ve strojírenství začala uplatňovat v době 2. světové války a velkého pokroku doznala až v poslední době, kde v některých případech nahrazuje technologie svařování a pájení. Lepené spoje jsou ve velké míře využívány především v dopravní technice - letecké, automobilové a kolejové.

Každý lepený materiál má své specifické vlastnosti, a proto neexistuje žádné univerzální lepidlo. Podle lepeného materiálu se vybírá vhodné lepidlo, aby byl spoj kvalitní a pevný. V dnešní době je na českém trhu prezentováno mnoho tuzemských i zahraničních výrobců lepidel, a proto není problém obstarat vhodný druh lepidla.

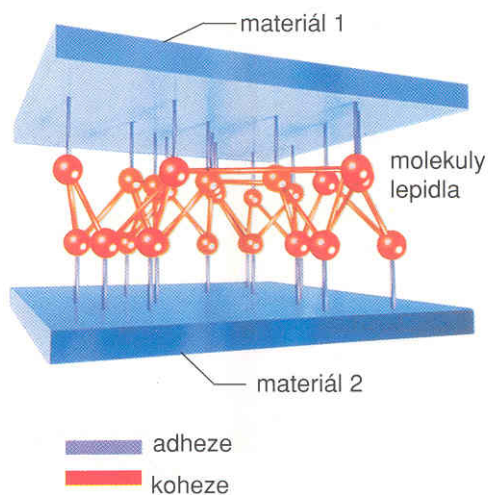
Cílem této práce by měla být analýza lepidel, shrnutí jednotlivých typů podle mechanismu vytvrzování a vhodnosti použití dle lepeného materiálu. Dále tato práce by měla popisovat zatížení lepených spojů vlivem mechanických namáhání a vypracovat technologický postup lepení.

# 1 TEORIE LEPENÍ

Kdyby se k sobě materiály přiblížily na molekulární vzdálenost, nebylo by potřeba spojování materiálů pomocí různých technologií, ale materiály by se spojily samy pomocí vzájemné přitažlivosti. Toto tvrzení je pouze teoretické a prakticky ho nelze dosáhnout [1].

Mezi povrchy tekuté a pevné látky je lepší přilnavost než mezi dvěma povrchy látek pevných, a proto se využívají ke spojování součástí také lepidel (adheziv). Lepidlo se dostane mezi nerovnosti lepeného materiálu (adherendu) a vypudí z mikropórů většinu pohlcených plynů a par. Aby lepidlo plnilo svoji funkci, musí lepený povrch dobře smáčet a musí se změnit skupenství lepidla z kapalného na pevné [1].

Lepený spoj vzniká za působení adheze a koheze. Síly, které vyvolají přilnavost adherendu a adheziva, se nazývají adheze. Vlastní soudržnost ztuhlého nebo vytvrzeného filmu lepidla se nazývá koheze [2], [3].



Obr. 1.1 Adheze a koheze v lepeném spoji [4]

Spojování materiálů lepením se vyznačuje nejen mnoha výhodami, ale také nevýhodami. Proto musíme zvážit, zda je lepení správnou technologií ve srovnání s ostatními metodami spojování materiálu [1].

Výhody lepení [1]:

- lze spojovat stejné nebo různé materiály
- lze konstruovat těsný spoj odolný proti kapalinám a plynům
- lepený spoj zvyšuje tuhost a tlumí vibrace
- v adherendu nejsou žádné koncentrátoři napětí (díry, drážky, atp.)
- lepený spoj nezvyšuje hmotnost souboru
- vysoká pevnost spoje při namáhání ve smyku a rázové pevnosti

Nevýhody lepení [1]:

- nelze zajišťovat dokonalou čistotu lepených ploch
- jedná se o nerozebíratelné spojení
- citlivost lepeného spoje na namáhání odlupováním a kroucením
- většina lepidel neodolává vysokým teplotám
- časově náročná technologie

## **2 LEPIDLO**

### **2.1 Složení a tvar makromolekuly**

Lepidla se skládají z filmotvorných makromolekulárních látek přírodního nebo syntetického původu. Tepelnou odolnost a rozpustnost lepidla udává konečný tvar makromolekuly a stupeň adheze je dán jejím složením. Filmotvorné látky mohou mít strukturu makromolekuly lineární nebo trojrozměrnou. Lineární struktura je termoplastická a rozpouští se v organických rozpouštědlech, zato trojrozměrná se netaví a nerozpouští [1].

### **2.2 Polymerační stupeň**

Polymerační stupeň je dán délkou molekul filmotvorného polymeru, z kterého se lepidlo skládá. Délka makromolekul má vliv na viskozitu, kohezi a adhezi filmu lepidla. S rostoucí délkou makromolekul roste viskozita a koheze, ale adheze zpravidla klesá a naopak. Lepidlo plní svoji funkci pokud je vysoká jak adheze, tak i koheze. Proto musí obsahovat vysokomolekulární i nízkomolekulární látky. Nejvíce vhodné polymery pro přípravu lepidel jsou ty, které mají polymerační stupeň v rozmezí od 50 do 300 [1], [3].

### **2.3 Viskozita**

Viskozita charakterizuje vnitřní tření v lepidle. Závisí na polymeračním stupni filmotvorné látky, obsahu a kvalitě plniva, na poměru rozpouštědla k ředidlu a teplotě. S rostoucí viskozitou se zhoršuje nanášení a roztírání lepidla na povrch adherendu. V extrémních případech může docházet k nedokonalému smáčení lepeného povrchu. Viskozita některých lepidel roste nebo klesá stárnutím nebo špatným skladováním. Proto ji můžeme upravovat pomocí ředění a zhušťování buď jinými lepidly nebo vhodnými plnivy. Viskozitu lepidla lze ověřit dle normy ČSN 673013 [1], [3].

### **2.4 Zásaditost a kyselost**

Některá lepidla obsahují kyselé i zásaditě reagující katalyzátory, které mohou negativně ovlivnit lepený povrch a tím i celý lepený spoj. Pevnost spoje může ovlivnit i stárnutí filmu lepidla, z kterého se uvolňují kyselé těkavé látky (např. močovinoformaldehydová lepidla). Účinek těkavých látek lze snížit použitím chemicky účinného plniva. Při práci se silně kyselými nebo zásaditými lepidly je třeba dbát na čistotu zařízení a dodržování bezpečnosti práce [1], [3].

### **2.5 Homogenita**

Aby lepicí směs plnila svoji funkci, musí být zajištěna její homogenita. To se týká především vícesložkových lepidel a lepidel s obsahem plniva. U vícesložkových lepidel je nutné dodržet správné pořadí přidávání komponent, které udává výrobce. Tvrdidlo se obvykle přidává až nakonec. Před aplikací lepidel s obsahem plniva je důležité dokonalé promíchání směsi z důvodu usazování plniva při dlouhodobém uskladnění [1], [3].

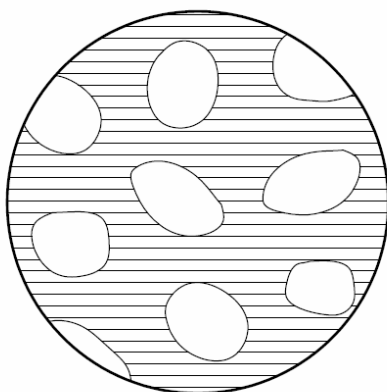
## 2.6 Objemová stálost filmu lepidla

Při přechodu lepidla z tekuté fáze na fázi pevnou dochází k objemovým změnám filmu. Na tyto změny má vliv především obsah aktivních složek a paliv v lepidle. S rostoucím obsahem aktivních složek a paliv jsou menší objemové změny. Aktivními látkami se rozumí nejen polymery ale i monomery a sloučeniny, které zajišťují zesíťení struktury. Nejvíce objemově stálá jsou lepidla tavná a bezrozpouštědlová reaktivní. Naopak u lepidel rozpouštědlových a disperzních dochází k největším ztrátám objemu. U některých polymerů (např. polystyren) se může dosáhnout objemové stálosti za 2 až 3 týdny, protože velmi dlouhou dobu zadržují rozpouštědlo [1], [3].

## 2.7 Struktura a složení plniva

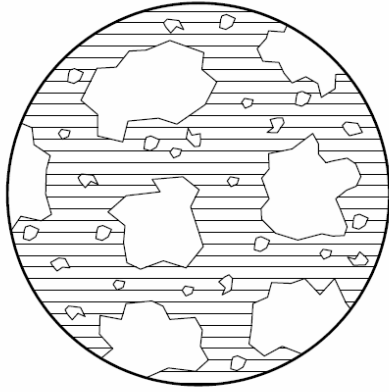
Důležitou složkou v lepidlech jsou plniva. Ty dělíme na organická a anorganická [1].

Organická plniva jsou měkká a neotupují nástroj při následném obrábění spoje. Nevýhodou je snižování objemové stálosti a vodovzdornosti filmu lepidla. Do této skupiny patří plniva s oblými částicemi (viz obr. 2.1), která dobře rozvádějí vnitřní pnutí (např. technická žitná mouka a škrob), a plniva s vláknitou strukturou, která mají za následek zhuštění lepicí směsi (např. dřevitě moučky) [1].

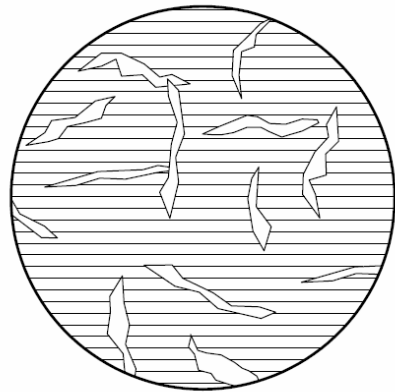


Obr. 2.1 Plnivo s oblými a stejně velkými částicemi

K anorganickým plnivům se řadí plniva destičkové struktury, vláknité struktury a ostrohranná plniva (viz obr. 2.2 a 2.3). Plniva s destičkovou strukturou (kaolin, slída) mají negativní vliv na mechanické vlastnosti lepeného spoje a zvyšují konzistenci směsi. Vláknitá struktura plniva (azbest, sekaná skleněná vlákna) zvyšuje viskozitu lepidla. Plniva ostrohranná (mletý porcelán, vápenec, kovy) mohou zvyšovat tepelnou a elektrickou vodivost filmu a umožňují vysoký stupeň naplnění lepidla. Pokud se bude obrábět spoj z lepidla s anorganickými plnivy, je vhodné použít měkké plnivo (mastek, sádrovec). Do lepidel, která obsahují kyselá tvrdidla, nelze aplikovat plniva alkalická [1].



Obr.2.2 Plnivo ostrohranné



Obr. 2.3 Plnivo ostrohranné

## 3 VÝBĚR LEPIDLA

Volba lepidla je důležitým krokem pro soudržnost lepeného spoje. Závisí na druhu lepeného materiálu, požadovaných vlastnostech spoje a provozních předpokladech.

### 3.1 Lepený materiál

Základem je zjistit vlastnosti lepených materiálů. A to jejich strukturu, složení a propustnost plynů. Tyto informace jsou důležité pro výběr lepidla z hlediska adheze, koheze a tuhnutí lepidla ve spoji. Další vlastnosti lepených materiálů jsou tepelná stálost a roztažnost a rozpustnost v organických rozpouštědlech. Pokud tyto vlastnosti neznáme, musíme je zjistit, aby bylo vybráno nejvhodnější lepidlo pro kvalitní lepený spoj [1], [3].

### 3.2 Požadované vlastnosti spoje

Při výběru lepidla se také musí dbát na vlastnosti, které bude mít lepený spoj v provozu - mechanické vlastnosti, tepelná odolnost, odolnost vůči vodě a vlhkosti a chemická odolnost. Pokud nelze dosáhnout všech těchto vlastností, je třeba zvážit, jaké jsou nejdůležitější a podle těchto lepidlo zvolit [1].

#### 3.2.1 Mechanické vlastnosti [1]

Lepený spoj může být zatěžován buď staticky nebo dynamicky.

Kvalita lepeného spoje při statickém namáhání se definuje jako minimální pevnost v tahu, ve smyku a v odlupování. Tyto zkoušky se provádějí na normovaných zkušebních tělesech. Zkušební tělesa jsou z materiálů a lepidla, které budou následně použity v praxi.

Hodnocení dynamicky namáhaných spojů je obtížnější, protože toto namáhání je těžko definovatelné. Převážně se jedná o amplitudově i časově nepravidelné namáhání. Nahradit toto namáhání zkušební metodou je vždy velmi komplikované. Tyto spoje se velmi často nacházejí v leteckém a automobilovém průmyslu.

#### 3.2.2 Tepelná odolnost [1]

Tepelná odolnost je definována minimální a maximální teplotou, časovým průběhem namáhání a spodními hodnotami mechanických vlastností za určitých podmínek.

Pro spoje, pracující za zvýšené teploty, jsou vhodná lepidla fenolická, polyuretanová a epoxidová. Tato lepidla odolávají teplotě až do 150°C. Teplotám od 250 °C do 350 °C odolávají polyimidová a polybenzimidazolová lepidla, která patří mezi teplotně nejodolnější. Teplotní odolnost lze zvýšit použitím minerálních plniv a kovových prachů.

#### 3.2.3 Odolnost vůči vodě a vlhkosti [1]

Lepidla můžeme rozdělit do tří skupin odolnosti proti vodě a vlhkosti. První skupinou jsou lepidla neodolná. Mezi tuto skupinu patří lepidla škrobová, glutilová a většina organických lepidel. V druhé skupině jsou lepidla, která mají omezenou nebo dočasnou odolnost proti vodě a vlhkosti. To jsou lepidla polyvinylacetátová, kaseinová a lepidla u močovinoformaldehydových pryskyřic. V poslední skupině jsou zařazena lepidla polyuretanová, samovulkanizující ze syntetických látek, fenolická, fenol-rezorcinolová, melamin formaldehydová a roztoková lepidla na bázi

polymethylmethakrylátu a polybutylmethakrylátu, polystyrenu a chlorovaného PVC. Tato lepidla dobře odolávají vodě a vlhkosti.

#### **3.2.4 Chemická odolnost [1]**

Před aplikací lepidla je důležité zjistit, zda chemické složení lepidla neovlivní spoj agresivními výpary nebo kapalinami, které mohou difundovat do lepeného materiálu, nebo přes okraj spáry. Proto vždy vybíráme lepidla, která chemicky neovlivní lepený spoj.

### **3.3 Provozní předpoklady**

Výběr lepidla ve strojírenství závisí na kvalitě lepeného spoje, hospodárnosti, bezpečnosti práce a ochraně prostředí. Lepení se v sériové výrobě provádí na speciálních zařízeních, kde se klade důraz na vysokou životnost lepeného spoje. Lepidla se ve spoji aktivují katalyticky, za zvýšené teploty nebo současně oběma způsoby [1].

Z hlediska bezpečnosti práce se používají převážně lepidla, která minimálně uvolňují těkavé látky (např. formaldehyd). Jsou to lepidla ve vodných roztocích, disperzní, tavná a natavitelná [1].

## 4 ROZDĚLENÍ LEPIDEL DLE MECHANIZMU VYTVRZOVÁNÍ

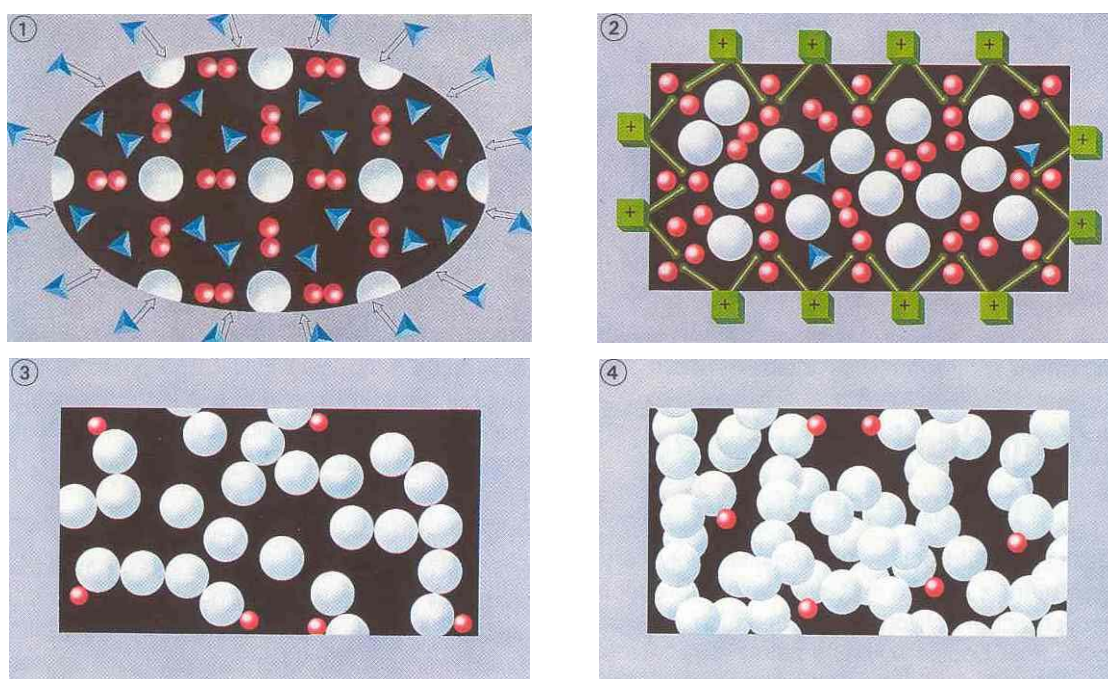
Lepidla jsou z velké části reaktivní polymery, které se mění z kapalné fáze na pevnou (vytvrzování). K této přeměně dochází různými chemickými polymeračními reakcemi. Dle způsobu vytvrzování dělíme lepidla do několika skupin.

- lepidla vytvrzená anaerobní reakcí
- lepidla vytvrzovaná ultrafialovým zářením
- lepidla vytvrzovaná aniontovou reakcí (kyanoakryláty)
- lepidla vytvrzovaná aktivátory
- lepidla vytvrzovaná okolní vlhkostí
- lepidla vytvrzovaná teplem
- lepidla vytvrzovaná vsáknutím a odpařením rozpouštědel

### 4.1 Lepidla vytvrzená anaerobní reakcí [4]

Jsou to jednosložková lepidla, u kterých dochází k vytvrzení za normálních teplot (cca 22 °C) a za nepřístupu atmosferického kyslíku. K vytvrzení aplikovaného lepidla dochází poté, co lepené materiály spojíme k sobě a tím zamezíme přístupu kyslíku. Do té doby je vytvrzovací složka pasivní. Vytvrzování anaerobních lepidel probíhá rychle, především dojde-li ke styku s kovy.

Vytvrzovací proces (viz obr. 4.1): Při neúčasti kyslíku dochází k vytváření volných radikálů, které za působení iontů (Cu, Fe) nastartují proces polymerizace.



Obr. 4.1 Vytvrzovací proces [4]

- = peroxidy
- ▲ = kyslík
- = volné radikály
- = monomery
- = ionty kovů

1 – lepidlo v kapalném stavu za přístupu kyslíku, 2 – změna peroxidů na volné radikály, které reagují s ionty kovů bez přístupu kyslíku, 3 – vytváření polymerních řetězců, 4 – lepidlo ve vytvrzeném stavu (struktura s křížově propletenými polymerními řetězci)

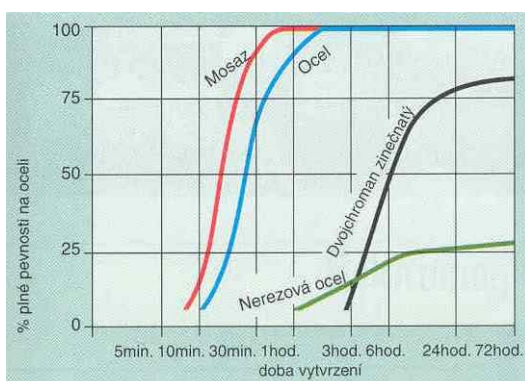
Materiály, na které se používají lepidla vytvrzená anaerobní reakcí, se dají rozdělit do dvou skupin. První skupinou jsou tzv. materiály aktivní (např. bronz, mosaz, měď, ocel, železo), u kterých dochází k běžnému vytvrzování anaerobních lepidel. Tyto materiály slouží jako katalyzátor. Druhou skupinou jsou tzv. materiály pasivní (např. nikl, cín, nerezová ocel, hliník s nízkým obsahem Cu, keramické materiály, plastické hmoty). U těchto materiálů je katalytický účinek velmi slabý nebo žádný. Doba vytvrzování by byla velice dlouhá, a proto se pro zrychlení přidává aktivátor. Aktivátor se nanese na jednu nebo obě lepené plochy a poté se aplikuje lepidlo. Abychom se vyhnuli omezené době zpracovatelnosti, složky nemísíme.

Vlastnosti lepidel vytvrzené anaerobní reakcí:

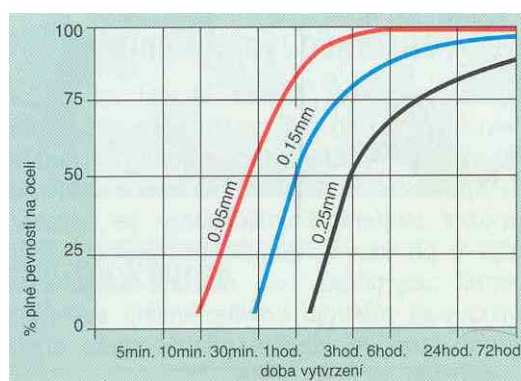
- vysoká pevnost ve smyku
- tepelná odolnost od - 55 °C do 230 °C
- krátká doba vytvrzování
- snadné dávkování (jednosložková lepidla)
- není třeba malé drsnosti povrchu adherendu (postačuje Ra 8 až 40 μm)
- těsní s vynikající chemickou odolností
- dobrá odolnost proti vibracím
- dobrá odolnost proti dynamickému namáhání

Faktory ovlivňující rychlost vytvrzení:

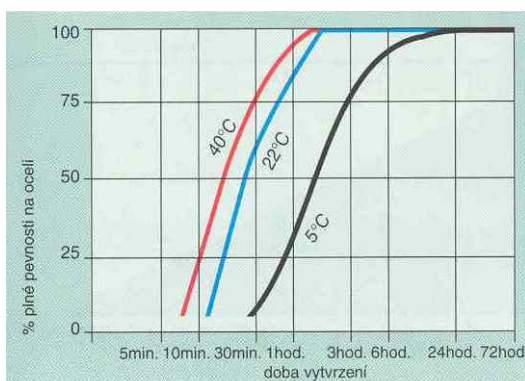
- lepený materiál
- tloušťka vrstvy lepidla
- teplota
- aktivátor



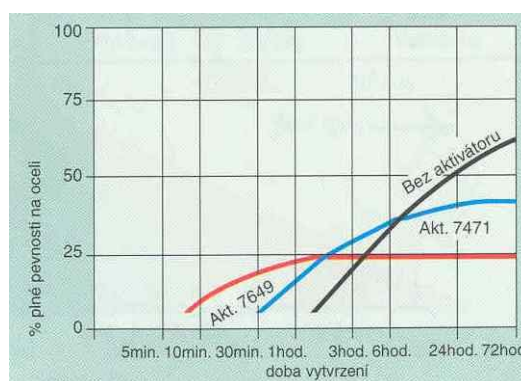
Obr. 4.2 Vliv lepeného materiálu na rychlost vytvrzení [4]



Obr. 4.3 Vliv tloušťky vrstvy lepidla na rychlost vytvrzení [4]



Obr. 4.4 Vliv teploty na rychlost vytvrzení [4]



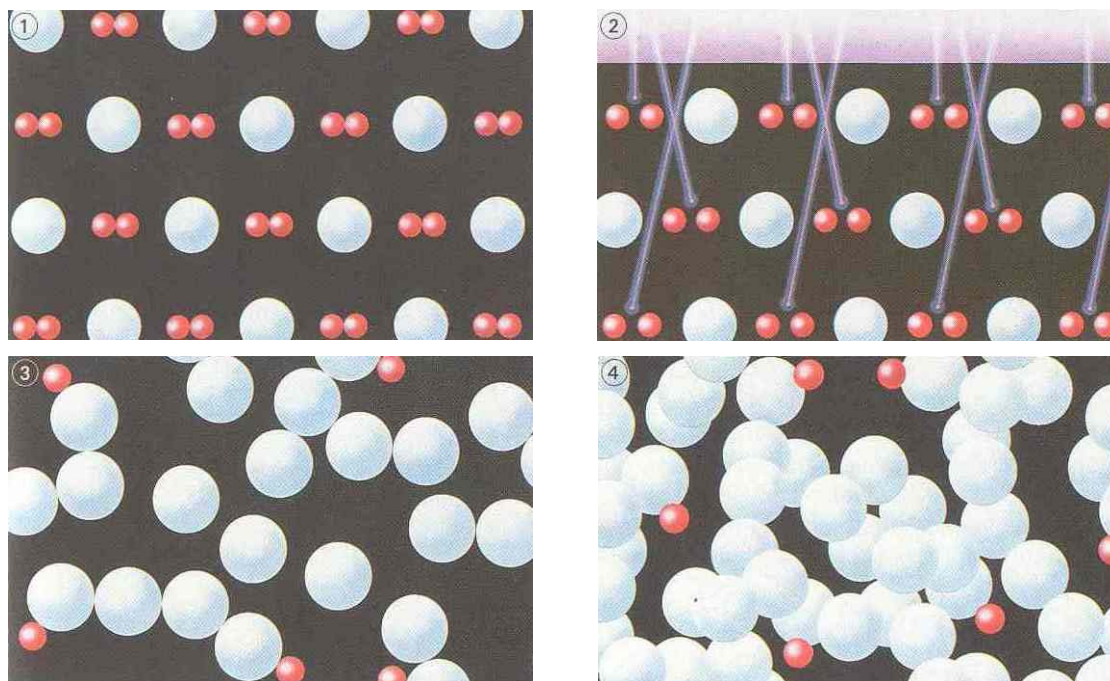
Obr. 4.5 Vliv aktivátoru na rychlost vytvrzení [4]

Lepidla vytvrzená anaerobní reakcí se v převážné části používají na lepení a těsnění kovů (např. zajištění a utěsnění závitů, utěsnění přírub, lepení válcových dílů).




## 4.2 Lepidla vytvrzovaná ultrafialovým zářením [4]

Intenzita a vlnová délka ultrafialového záření mají zásadní vliv na dobu vytvrzení této skupiny lepidel. Aby nastala polymerace ultrafialovým zářením, musí se zajistit shoda mezi lepidlem a správnou expozicí ozáření.

Vytvrzovací proces (viz obr. 4.6): Při štěpení fotoaktivátorů zářením, vznikají volné radikály. Tyto radikály mají za následek začátek polymerace.



Obr. 4.6 Vytvrzovací proces [4]

- |   |                  |  |
|---|------------------|--|
|  | = fotoaktivátory | 1 – lepidlo v kapalném stavu, fotoaktivátory a monomery spolu nereagují, |
|  | = volné radikály | 2 – fotoaktivátory se mění na volné radikály pod ultrafialovým zářením,  |
|  | = monomery       | 3 – růst monomerních řetězců,  |
|   |                  | 4 – lepidlo ve vytvrzeném stavu (zesíťované polymerní řetězce)           |

Vytvrzování ultrafialovým zářením můžeme rozdělit do tří skupin:

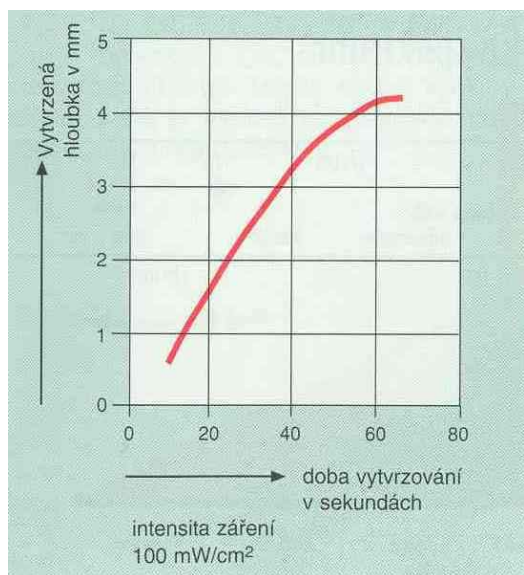
- hloubkové vytvrzení ultrafialovým zářením
- povrchové vytvrzování ultrafialovým zářením
- sekundární vytvrzení ultrafialovým zářením

### 4.2.1 Hloubkové vytvrzení

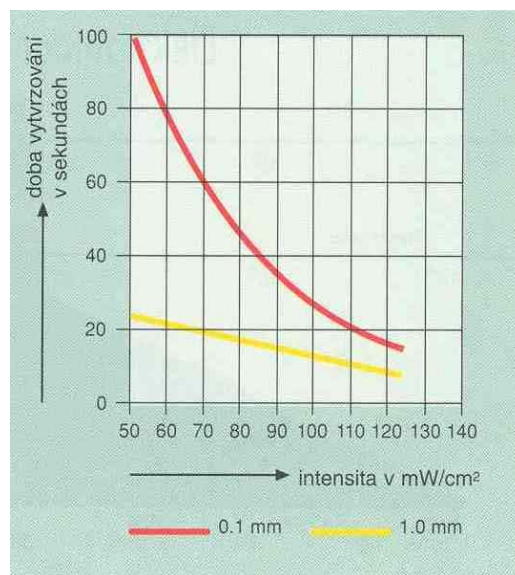
Pro hloubkové vytvrzování se používá dlouhovlnné ultrafialové záření v rozsahu vlnových délek od 300 do 400 nm (UVA světlo). S rostoucí hloubkou vytvrzení roste doba vytvrzování (viz obr. 4.7)

## 4.2.2 Povrchové vytvrzování

U povrchového vytvrzování se používá vysoká intenzita ultrafialového záření s vlnovou délkou menší než 280 nm (světlo UVC). Dodržení těchto podmínek zabrání reakci povrchu lepidla s atmosferickým kyslíkem. Tato reakce zabraňuje vytvrzování lepidla na jeho povrchu, který by mohl být lepkavý. Povrchové vytvrzování se používá pro lepení materiálů s povlaky a vznikne-li při lepení lepidly vytvrzovanými ultrafialovým zářením přetok.



Obr. 4.7 Vytvrzování do hloubky [4]

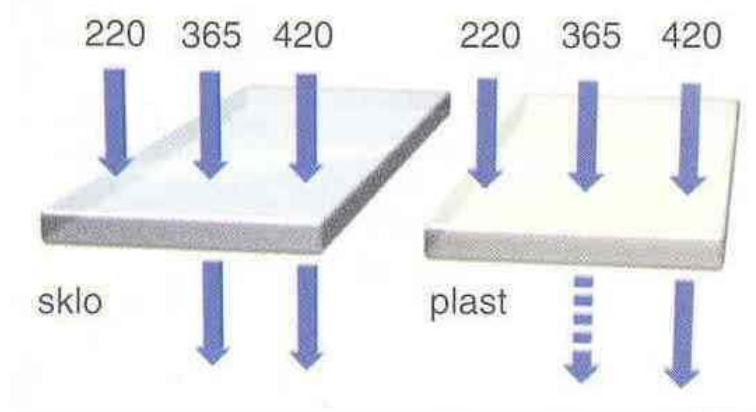


Obr. 4.8 Povrchové vytvrzování [4]

## 4.2.3 Sekundární vytvrzení

Vytvrzování ultrafialovým zářením se používá i jako sekundární vytvrzení, protože ne vždy se ultrafialové záření dostane k místům smočeným lepidlem. Toto vytvrzování se používá po vytvrzení anaerobní reakcí, teplem, okolní vlhkostí a aktivátory.

Použití lepidel vytvrzovaných ultrafialovým zářením závisí na propustnosti ultrafialového záření lepených materiálů. Materiály, jako jsou PC a PVC nebo podobné, je vhodnější lepit s použitím "lepidel citlivých na viditelné světlo", které lze vytvrzovat také ultrafialovým zářením UVA. Vhodnější je vytvrzovat tato lepidla s vysokou intenzitou a vlnovou délkou okolo 420 nm (systém s viditelným světlem).



Obr. 4.9 Propustnost ultrafialového záření [4]

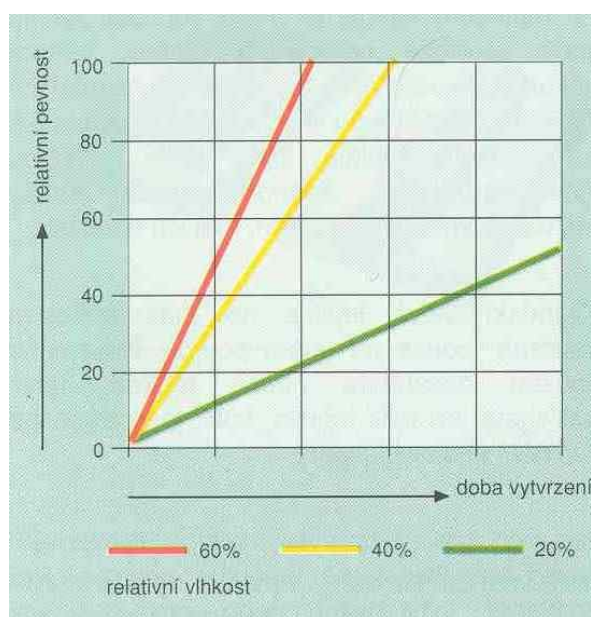
Vlastnosti lepidel vytvrzovaných ultrafialovým zářením:

- vysoká pevnost
- schopnost lepit velké spáry
- krátká doba vytvrzení na manipulační pevnost
- dobrá až velmi dobrá chemická odolnost
- snadné dávkování (jednosložková lepidla)

Lepidla vytvrzovaná ultrafialovým zářením se používají např. k lepení skla na sklo, skla na kov a průhledných plastů, k těsnění a lepení pro vysoké pracovní teploty a k lepení kovových a plastových dílů s rychlým fixováním a vytvrzením přetoku.

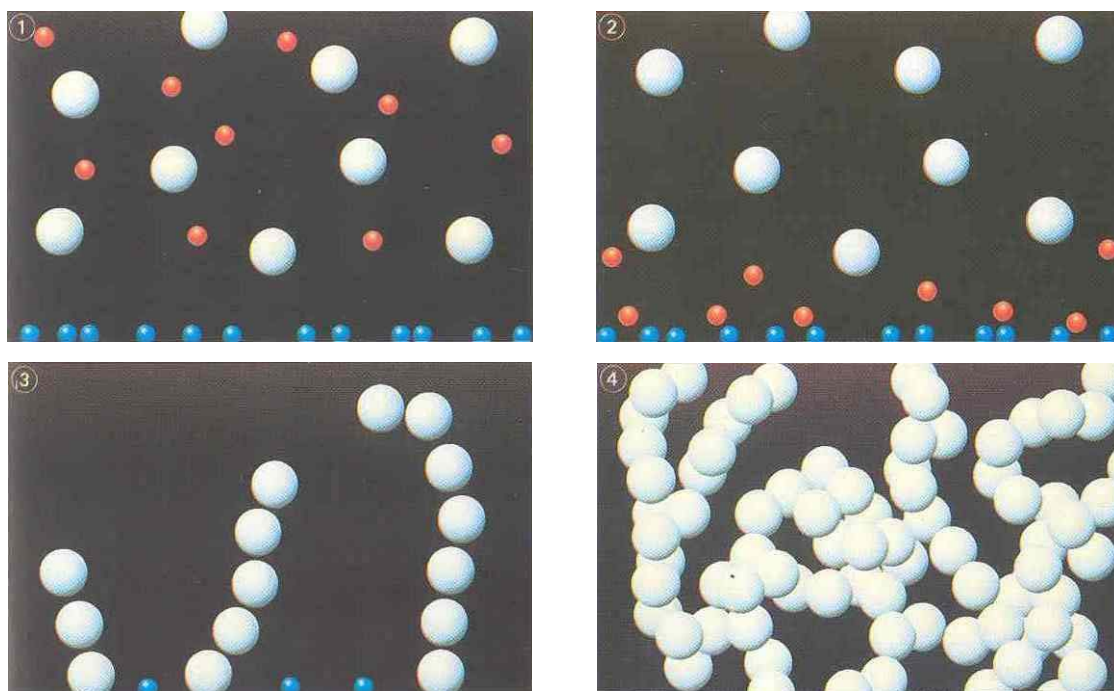
#### 4.3 Lepidla vytvrzovaná aniontovou reakcí (kyanoakryláty) [4]

Lepidla vytvrzovaná aniontovou reakcí polymerují ve styku se slabě alkalickými povrchy. Vytvrzení, ke kterému postačuje okolní vlhkost vzduchu a vlhkost na povrchu lepeného materiálu, proběhne během krátké doby (řádově v sekundách). Polymerace nastává od povrchu k povrchu, protože vlhkost na povrchu adherendu neutralizuje stabilizátor v lepidle. Nejkratší doba vytvrzení na manipulační pevnost nastává při nulové tloušťce filmu lepidla. Vlhkost vhodná pro dosažení kvalitního spoje je v rozmezí 40 až 60 % při pokojové teplotě. Nižší vlhkost vede k prodloužení vytvrzování, vyšší naopak vytvrzování zrychluje, ale může dojít ke zhoršení pevnosti spoje. Vzduch o vlhkosti pod 40 % pevnost lepeného spoje nezhoršuje, ale protahuje dobu vytvrzení a tím i výrobu. Vliv na dobu vytvrzení má i kyselost ( $\text{pH} < 7$ ) a zásaditost ( $\text{pH} > 7$ ). Kyselé povrchy vytvrzování zpomalují, nebo mu mohou i zabránit. Naopak zásadité povrchy vytvrzování zrychlují.



Obr. 4.10 Vliv relativní vlhkosti na dobu vytvrzení [4]

Vytvrzovací proces (obr. 4.11): Vlhkost na povrchu adherendu neutralizuje stabilizátor v lepidle. Tento proces zahajuje polymeraci.



Obr. 4.11 Vytvrzovací proces [4]

- = kyselý stabilizátor
- = povrchová vlhkost
- = monomery

1 – lepidlo v kapalném stavu, kyselý stabilizátor zabraňuje reakci molekul lepidla, 2 – povrchová vlhkost neutralizuje stabilizátor, 3 – začátek polymerace, 4 – lepidlo ve vytvrzeném stavu (propletené polymerní řetězce)

Materiály po nanesení kyanoakrylátového lepidla musíme rychle spojit, protože polymerace začíná během několika málo vteřin. Doba vytvrzení je závislá na okolní vlhkosti, vlhkosti povrchu adherendu, typu lepidla a teplotě okolí. Vzhledem k velmi krátké době vytvrzení je vhodné tato lepidla použít pro lepení malých součástí.

Lepidla vytvrzovaná aniontovou reakcí nanášíme pouze na jeden povrch. Nej kvalitnější spoj dostaneme, když se nanese pouze tolik lepidla, kolik je ho potřeba pro vyplnění spojovací spáry.

U kyanoakrylátových lepidel se může použít také aktivátor. Aktivátor je vhodné použít, pokud není relativní vlhkost v intervalu 40 až 60%, nebo pro zrychlení vytvrzení lepidla.

Vlastnosti lepidel vytvrzovaných aniontovou reakcí:

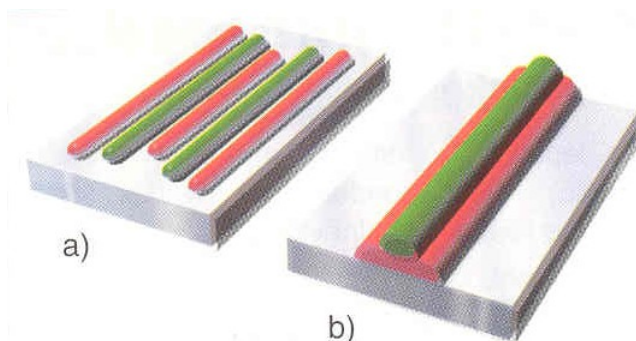
- velmi vysoká pevnost ve smyku a v tahu
- velmi krátká doba vytvrzení (řádově v sekundách)
- téměř univerzální lepidlo
- dobrá odolnost proti stárnutí

Lepidla vytvrzovaná aniontovou reakcí se používají především pro lepení kovů s plasty, kovů s kovy nebo jinými materiály a obtížně lepitelných plastů.

#### 4.4 Lepidla vytvrzovaná aktivátory [4]

K vytvrzení těchto lepidel dochází vždy po smíchání lepidla a aktivátoru. Vytvrzování probíhá za pokojové teploty. Ke smíchání lepidla a aktivátoru může dojít dvěma způsoby. Prvním způsobem je, že se nanese lepidlo i aktivátor na oba povrchy lepených materiálů tak, aby se nesmísily. Ke smíšení dojde až po spojení adherendů a začíná vytvrzování. Druhým způsobem je směšování lepidla a aktivátoru před nanesením na lepený povrch. Volba způsobu směšování závisí na typu lepidla.

Pokud nelze použít aktivátor kapalný, lze použít lepidla s aktivátorem, který má stejnou konzistenci jako lepidlo. Jedná se o dvousložková lepidla. Lepidlo a aktivátor se nanášejí odděleně pruh vedle pruhu, nebo pruh na pruhu (viz obr. 4.12). K vytvrzování dochází po spojení obou lepených povrchů, kdy se obě komponenty navzájem smísí. Je-li doba zpracovatelnosti smíšeného lepidla delší jak 5 minut, mohou se obě složky smísit před nanesením. Výhodou je dokonalejší promísení směsi.



Obr. 4.12 Způsoby nanášení dvousložkových lepidel  
a) pruh vedle pruhu, b) pruh na pruhu [4]

Vlastnosti lepidel vytvrzovaných aktivátory:

- velmi vysoká pevnost ve smyku a v tahu
- dobrá rázová odolnost (houževnatost)
- rozsah provozních teplot od -55 °C do 120 °C
- téměř univerzální lepidlo
- dobrá schopnost vyplnit spáru (obzvláště předem smíšené směsi)
- dobrá odolnost proti prostředí

Lepidla vytvrzovaná aktivátory se používají především pro konstrukční lepení.

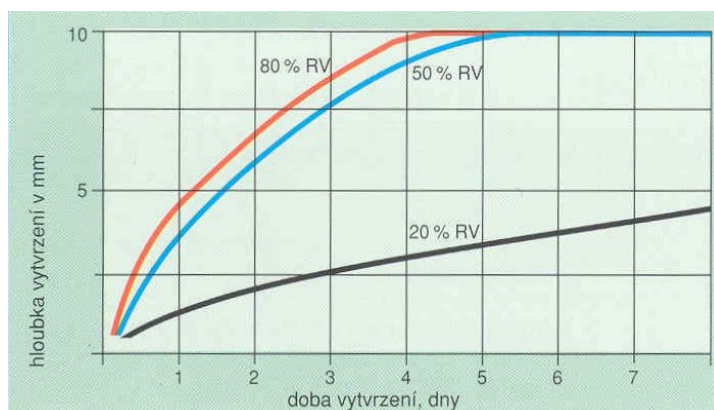
#### 4.5 Lepidla vytvrzovaná okolní vlhkostí [4]

Tato skupina lepidel se vytvrzuje vlivem reakce s okolní vlhkostí. Tato lepidla se dělí do dvou základních skupin – silikony a polyuretany.

##### 4.5.1 Silikony

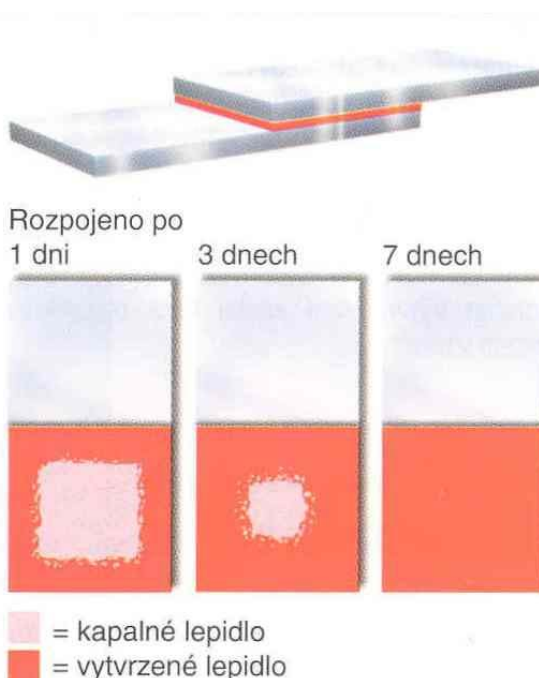
Silikony reagují za pokojové teploty s okolní vlhkostí. Oproti aniontové reakci u kyanoakrylátů, kde vlhkost neutralizuje stabilizátor v lepidle, silikony využívají přímo vody k polymerickému zesílení. Proto musí vlhkost vniknout až do místa, kde má dojít k vytvrzení. V okamžiku, kdy při reakci vnikne molekula vody mezi zesílené molekuly silikonu, začne se uvolňovat vedlejší produkt. Uvolněný vedlejší produkt může být v závislosti na chemii vytvrzování kyselý (kyselina octová), neutrální (oxin nebo alkohol) nebo zásaditý (amin).

Doba vytvrzení u silikonů závisí na relativní vlhkosti okolí (viz obr. 4.13).



Obr. 4.13 Vliv relativní vlhkosti na dobu vytvrzení [4]

Silikonová lepidla se vytvrzují od vnějšího povrchu směrem dovnitř na ploše spoje. Hloubka vytvrzení je omezena na 10 – 15 mm. Důvodem je, že se vlhkost do větší hloubky přes vytvrzený silikon nedostane.



Obr. 4.14 Vytvrzení silikonového lepidla [4]

Vlastnosti silikonových lepidel:

- tepelná odolnost vyšší než 230 °C
- pružnost, houževnatost, vysoké prodloužení
- nízký až střední modul
- těsnění různých médií
- vynikající vyplnění spár

Silikony se používají např. pro těsnění ploch v automobilovém průmyslu, těsnění pro vysokoteplotní aplikace a lepení a těsnění zvláště u malých částí.

#### 4.5.2 Polyuretany

Doba vytvrzování u polyuretanů je stejně jako u silikonů závislá na relativní vlhkosti okolí. Vytvrzování nastává reakcí vody s chemickou přísadou, která

obsahuje izokyanátové skupiny. Stejně jako u silikonů musí voda vniknout mezi molekuly lepidla aby nastala polymerace. Oproti vytvrzování silikonů, nedochází u vytvrzování polyuretanů ke vzniku vedlejšího produktu. Pro dokonalou přilnavost mezi povrchem adherendu a polyuretanem je vhodné použití primerů.

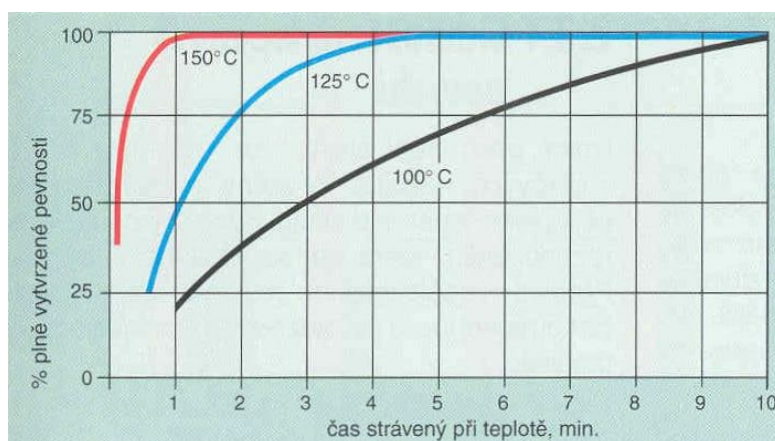
Vlastnosti polyuretanových lepidel:

- vynikající houževnatost
- pružnost, vysoké prodloužení
- vynikající vyplnění spáry
- po vytvrzení lze polyuretany natírat
- vynikající chemická odolnost

#### 4.6 Lepidla vytvrzovaná teplem [4]

Mezi tuto skupinu lepidel patří především jednosložková lepidla, která vytvrzují za zvýšených teplot. Většinou se jedná o epoxidová lepidla, která se vytvrzují za teplot přesahujících 100 °C.

Teplota vytvrzování je závislá na druhu lepidla. Lze říci, že čím je teplota vytvrzování vyšší, tím proběhne vytvrzení rychleji (viz obr. 4.15). Každý typ lepidla má určitou minimální teplotu, kdy dochází k aktivaci tvrdidla a začíná polymerace.



Obr. 4.15 Vliv teploty na dobu vytvrzení [4]

Vytvrzování teplem neslouží jen jako primární vytvrzování, ale jsou skupiny lepidel, kde se tento způsob vytvrzování používá jako sekundární. Vhodným příkladem jsou lepidla vytvrzovaná anaerobní reakcí, kde teplota sekundárního vytvrzení je obvykle 120 °C.

Mezi lepidla vytvrzovaná teplem patří např. epoxidy a metakryláty. Vlastnosti těchto lepidel závisí na jejich chemickém složení.

Vlastnosti lepidel vytvrzovaných teplem:

- střední až vysoká pevnost
- dobrá přilnavost k mnoha materiálům
- dobrá schopnost vyplňovat spáru
- dobrá až velmi dobrá odolnost proti prostředí

Lepidla vytvrzovaná teplem se používají především pro spojování kovů např. pro těsnění a zajišťování závitů.

#### **4.7 Lepidla vytvrzovaná vsáknutím a odpařením rozpouštědel [1], [2]**

V těchto lepidlech je obsaženo 20 až 60 % filmotvorných látek, které jsou rozpuštěné nebo dispergované ve vodě (nazývaná jako roztoková lepidla disperzní), anebo rozpuštěné v organických rozpouštědlech (nazývaná jako rozpouštědlová lepidla roztoková). Aplikovat tato lepidla lze pouze pokud je jeden z adherendů propustný pro plyny. Rozpouštědlová lepidla se nanášejí na obě lepené plochy, nejprve na plochu méně porézní. Tuhnutím těchto lepidel se struktura filmotvorné látky zpravidla nemění. Výjimku tvoří reaktivní disperzní lepidla, která obsahují složky schopné síťování. Při vysychání se objem naneseného lepidla zmenšuje. Hlavním znakem rozpouštědlových lepidel je špatné vyplňování lepené spáry. Proto musí lepené plochy dobře přiléhat.

## 5 ROZDĚLENÍ LEPIDEL PODLE POUŽITÍ

### 5.1 Lepidla pro lepení kovů [2]

Ve strojírenství se v poslední době pro spojování kovových dílů využívá lepidla, která v některých případech nahrazují metodu pájení a svařování. Kovy mají vedle vlastností kladných i vlastnosti záporné. Mezi negativní vlastnosti patří především sklon ke korozi a tepelná roztažnost. Jelikož je kov pro plyny nepropustný, používají se především lepidla reaktivní.

První skupinou lepidel, která můžeme aplikovat na kovy, jsou kyanoakryláty. Ty se vyznačují velmi krátkou dobou vytvrzení na manipulační pevnost. U gelových kyanoakrylátů je doba otevřeného sestavení spoje dostatečně dlouhá, což umožňuje kvalitnější nanášení lepidla. Lepené součásti je nutné ihned po spojení dokonale zafixovat, aby nedocházelo k vzájemnému pohybu dílů a nenarušily se vznikající řetězce polymerů. Maximální šířka spáry u kyanoakrylátových lepidel s nižší viskozitou je 0,1 mm. Pokud se aplikují lepidla s vyšší viskozitou, šířka spáry může být až 0,2 mm. Teplotní odolnost spoje je 80 až 100 °C. Vhodné kyanoakryláty jsou např. ALTECO SUPER GLUE, LOCTITE Super Attak a LEPOX Super Blesk.

Dalšími lepidly, která se používají k lepení kovů, jsou epoxidy. Ty mohou být jednosložkové nebo vícesložkové. Epoxidová lepidla se používají, je-li třeba vyplnit nerovnosti lepených ploch vzniklé nedokonalým opracováním, pro překlenutí širší spáry a pro lepení rozměrnějších ploch. Dvousložkové epoxidy mají omezenou dobu zpracovatelnosti, která obvykle bývá 30 minut až 3 hodiny. Doba vytvrzení na manipulační pevnost je asi 1 až 5 hodin. Některé typy tekutých kovů lze po 5 až 6 hodinách mechanicky opracovávat (soustružit, frézovat, vrtat). Důležitým faktorem při použití epoxidů je dodržení minimální tloušťky filmu lepidla. Ta je 0,1 mm u neplněných systémů a 0,2 až 0,3 mm u systémů plněných. Pro dodržení minimální tloušťky spáry se používají distanční drátky. Pevnost spoje dosahuje hodnot vyšších než 20 MPa. Této hodnoty bývá dosaženo při lepení oceli a chemicky upravených hliníkových slitin. Na mědi a jejích slitinách je pevnost nižší. U kovů, na kterých je zároveň nanášen zinek (např. pozinkovaný plech), je možné uvažovat s maximálně 20% udávané pevnosti. Teplotní odolnost spoje s epoxidovými lepidly je od -50 až do 150 °C. Plněné systémy jsou v tomto ohledu lepší než neplněné, u kterých může dojít k poklesu pevnosti již od 60 °C. Epoxidy vhodné pro lepení kovů jsou např. ChS EPOXY 1200, LEPOX Metal, BISON Epoxy – Super Strong, BISON Epoxy – Metal, LOCTITE Fast Epoxy a další.

Spoje odolné vůči vodě, zředěným kyselinám, různým rozpouštědlům a dynamickému namáhání nám zajistí dvousložková lepidla polyuretanová. Tato lepidla jsou zpracovatelná i za nízkých teplot a poskytují pevné a pružné spojení. Dvousložkové polyuretany nebývají tak citlivé na dodržení směšovacího poměru jako vícesložkové epoxidy. Pevnost spoje dosahuje 15 MPa a teplotní odolnost je obvykle do 100 °C. Příkladem jsou lepidla BISON Power Adhesive a BISON Polyurethane Adhesive.

Lepidla vytvrzená anaerobní reakcí jsou určena výhradně k lepení kovů. Pro lepení kovu s nekovovým materiálem, je nutné použít aktivátor, který je zdrojem kovových iontů. Při použití anaerobních lepidel je důležité dodržení minimální šířky lepených ploch, která bývá asi 2,5 až 3 mm. Tato šířka je nutná k zamezení přístupu vzduchu do spoje. Důležité je dobře zafixovat lepený soubor. V případě vzájemného pohybu lepených součástí nastává narušení vznikajících polymerních řetězců. To by

mělo za následek snížení spolehlivosti a pevnosti spoje. Doba vytvrzení je 6 až 12 hodin. Manipulační pevnosti se dosáhne po několika minutách až desítkách minut. Lepidla vytvrzená anaerobní reakcí se používají především k zajištění šroubových spojů, upevnění ložisek na hřídele i do otvorů a těsnění dělicích rovin převodových skříní. Výhodou těchto lepidel je, že lepený povrch nemusí být dokonale odmaštěn. Například u lepení hliníkových slitin odpadá chemická úprava povrchu. Pevnost spoje dosahuje až 40 MPa. Anaerobní lepidla se dělí do několika viskozitních tříd. Kapilární lepidla mají maximální tloušťku spáry 0,08 mm a naopak pastovitá lepidla až 0,5 mm. Používaná anaerobní lepidla jsou např. LOCTITE 243, LOCTITE 603 LOCTITE 577 BISON Lock Bond a další.

## **5.2 Lepidla pro lepení plastů [2]**

U lepení plastů je nejnáročnější určit druh lepeného materiálu. Každý plastový materiál má jiné vlastnosti, na kterých závisí správná volba lepidla. Plasty lze rozdělit na dvě skupiny – termoplasty a reaktoplasty.

### **5.2.1 Lepení reaktoplastů (termosetů)**

První skupinou reaktoplastů jsou fenoplasty, na které se aplikují reaktivní lepidla. Vhodná jsou kyanoakrylátová lepidla, která po plném vytvrzení odolávají teplotám do 85 °C. Mezi kyanoakryláty, které lze aplikovat na fenoplasty, jsou LOCTITE Super Attak, LEPOX Super Blesk ALTECO SUPER GLUE a další. Pro lepení větších ploch jsou vhodná epoxidová lepidla. Mezi nejznámější epoxidy patří ChS EPOXY 1200, UNILEX, BISON Epoxy a LOCTITE Fast Epoxy. Další vhodná lepidla jsou polyuretany. Pevnost spoje dosahuje 15 MPa a odolává teplotám do 100 °C. Polyuretany pro lepení fenoplastů jsou BISON Polyurethane a BISON Power Adhesive.

Druhou skupinou reaktoplastů jsou aminoplasty. Stejně jako u fenoplastů je vhodné aplikovat kyanoakrylátová (např. ALTECO SUPER GLUE), polyuretanová a epoxidová lepidla (např. ChS EPOXY 1200 a BISON Epoxy). U dvousložkových epoxidů je vhodnější použít neplněné systémy, které nekazí vzhled lepeného souboru.

### **5.2.2 Lepení termoplastů**

K nejznámějším termoplastům patří polyetylen a polypropylen. Tyto materiály se používají v automobilovém průmyslu, výrobě potrubí a dalších odvětvích. Velkou nevýhodou PE a PP je jejich obtížná lepitelnost. Proto se v průmyslu ke spojování těchto materiálů využívá i jiných metod (např. svařování). Důležitým faktorem při lepení PE a PP je dokonalé očištění povrchu. Vhodnými lepidly jsou kaučuková kontaktní lepidla (např. CHEMOPRÉN Univerzál Silolep a VUKOPLAST D 418), epoxidová lepidla (např. ChS EPOXY 1200) a dvousložková polyuretanová lepidla (např. BISON Polyurethane Adhesive). Další jednoduchou a efektivní metodou je aplikace kyanoakrylátových lepidel s použitím aktivátoru. Po odmaštění povrchu adhérendu se nanese aktivátor, který se nechá odpařit. Odpaření proběhne během několika sekund a poté je možné nanášet lepidlo. Aktivaci lze provést i několik hodin před lepením.

Dalším termoplastem je polystyren. Jelikož jsou polystyreny rozpustné v toluenu, acetonu, atylacetátu a dalších rozpouštědlech, lze je lepit naleptáním. Po naleptání se k sobě lepené díly přiloží a zafixují. Konečné pevnosti je dosaženo po 24 hodinách. Tento způsob je vhodný především pro spojování drobných dílů.

Dalšími lepidly pro lepení menších dílů jsou lepidla rozpouštědlová (např. KANAGOM a UHU Alleskleber). U těchto lepidel je nutné zajistit předepsanou tloušťku spáry, aby se rozpouštědlo z lepidla odpařilo. To neplatí pro pěnový PS, který se v kontaktu s většinou rozpouštědel velmi rychle rozpouští. Pro lepení rozměrnějších součástí se používají lepidla reaktivní – polyuretanová, epoxidová a kyanoakrylátová.

K dalším používaným termoplastům ve strojírenství je ABS. Při lepení ABS se mohou použít lepidla, která jsou vhodná pro lepení PS. Při lepení ABS navzájem lze aplikovat lepidla rozpouštědlová (např. UHU Hart a BISON Hard Plastics Adhesive) a kyanoakrylátová (např. LOCTITE 401 a 406). Dvousložková polyuretanová a kyanoakrylátová lepidla je vhodné použít pro lepení ABS s jinými materiály (kovy, fenoplasty a aminoplasty).

Polyvinylchlorid se vyrábí v tvrdé, měkčené, případně pěnové formě. Tvrdý PVC lze lepit navzájem rozpouštědlovými lepidly (např. VUKOPLAST D 418 a BISON Hard Plastics Adhesive), která se používají na lepení odpadového potrubí. Při lepení navzájem i s jinými materiály se mohou aplikovat lepidla kyanoakrylátová. Měkčený PVC bez textilního nosiče se navzájem lepí rozpouštědlovými lepidly (např. L 33 a FATRACEL). Ta se nanášejí na obě lepené plochy. Ke spojení dílů dochází po částečném zaschnutí filmu lepidla. Dalšími vhodnými lepidly jsou kyanoakryláty a kontaktní kaučuková lepidla (např. CHEMOPRÉN Univerzál Silolep a VUKOLEP RS 1). Nevýhodou kyanoakrylátových lepidel je nízká elasticita oproti lepenému materiálu. Pro lepení pěnového PVC jsou nejvhodnější dvousložková epoxidová lepidla.

Pro lepení PMMA a PC jsou vhodná téměř stejná lepidla. V obou případech se většinou jedná o čirý termoplast. Při výběru lepidla je třeba brát v úvahu i estetické hledisko lepeného spoje. Spojování těchto materiálů lze buď naleptáním, nebo použitím lepidla – roztoková nebo jednosložková kyanoakrylátová. Lepení rozměrnějších dílů PC je vhodné polyuretany.

Houževnatý plast je polyamid, ze kterého se vyrábějí např. kluzná ložiska. Pro lepení menších ploch PAD navzájem nebo s jinými materiály, je vhodné aplikovat lepidla kyanoakrylátová. Rozměrnější plochy lze lepit kaučukovými kontaktními lepidly. Epoxidová lepidla je možné aplikovat především k lepení PAD s kovy.

Polytetrafluorethylen je dalším termoplastem, který má dobrou chemickou a tepelnou odolnost. Lepení tohoto materiálu je však velmi problematické. Proto je vhodnější zvolit jiné konstrukční řešení.

### **5.3 Lepidla pro lepení skla [2]**

Spojování skleněných dílů se nejčastěji provádí pomocí lepidla. Vhodné lepidlo se musí vybrat v závislosti na vlastnostech skla (nepropustnost pro plyny, vysoká chemická a tepelná odolnost, tepelná roztažnost a vnitřní napětí). V zásadě aplikujeme lepidla reaktivní.

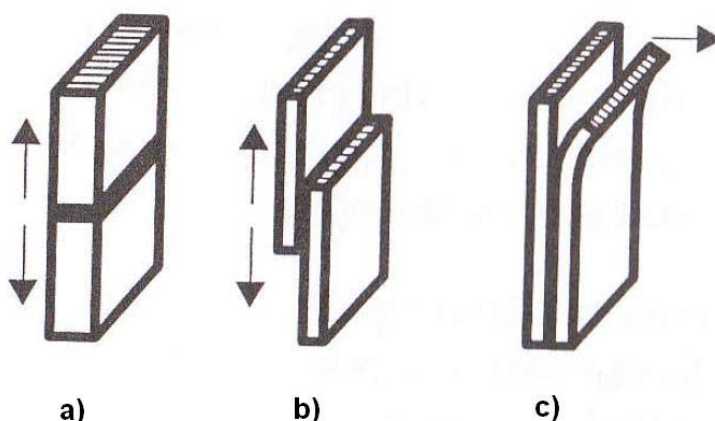
Pro lepení skla navzájem, nebo s jinými materiály jsou vhodná dvousložková epoxidová lepidla - ChS EPOXY 1200, LEPOX Univerzál, LEPOX Tempo. Tato lepidla mají většinou slabě žluté nebo hnědé zbarvení, které kazí vzhled výrobku. Existují však i epoxidy čiré – ALTECO 3-TON CLEAR. Při aplikaci většiny epoxidových lepidel je vhodné sklo předehřát na teplotu 60 až 100 °C, aby se odstranila vrstvička zkondenzované vody, která brání smočení povrchu adhérendu lepidlem. Nevýhodou předehřívání je, že za těchto teplot dochází k vytvrzení rychleji. V dnešní době však existují i epoxidy, které můžeme nanášet i na vlhké povrchy.

Nejpoužívanější lepidla pro lepení skla jsou silikony. Na rozdíl od epoxidových lepidel silikony zkondenzovanou vlhkost na povrchu skla potřebují ke svému vytvrzení. Vytvrzená silikonová lepidla mají vynikající adhezi ke skluzu a zůstávají trvale elastická. Tyto vlastnosti kompenzují vnitřní pnutí a tepelnou roztažnost skla. Nevýhodou je krátká doba otevřeného sestavení spoje, protože povrchová vrstva naneseného silikonového lepidla začne působením okolní vlhkosti během několika málo minut vulkanizovat. Rychlost vytvrzování závisí na typu lepidla, relativní vlhkosti a okolní teplotě. Silikony vhodné pro lepení skla jsou např. LUKOPREN S, SILONEL, BISON Silicone Sealant Glass a ALTECO CLEAR SILIKONE.

Dalšími lepidly, která se využívají k lepení skla, jsou polyuretany. Tato lepidla se vyznačují dobrou adhezí, jak ke sklu, tak i k jiným materiálům. Elasticita polyuretanů je vyšší než u epoxidových lepidel, ale nižší než u lepidel silikonových. Spoje nejsou čiré, což může kazit vzhled výrobku. Polyuretanová lepidla vhodná k lepení skla jsou např. BISON Power Adhesive a BISON Polyurethane Adhesive.

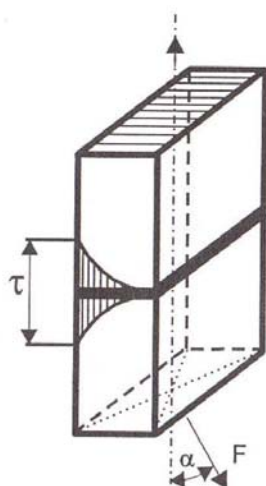
## 6 MECHANICKÉ NAMÁHÁNÍ LEPENÝCH SPOJŮ

Lepený spoj bývá nejčastěji mechanicky namáhán v tahu, tlaku, smyku, odlupováním, rázovou pevností, kroucením apod. Příznivé namáhání lepených spojů je v tahu, tlaku a smyku. Zato na namáhání v odlupování a kroucení je lepený spoj citlivý. Tato namáhání se soustřeďují jen do určitých míst spoje, kde dochází k lokálnímu přetížení a poškození filmu lepidla. Spoje namáhané v tahu, tlaku nebo lámání lze konstruovat, jsou-li spojované plochy dostatečně velké [1].



Obr. 6.1 Mechanické namáhání lepeného spoje  
a) v tahu, b) ve smyku, c) v odlupování [2]

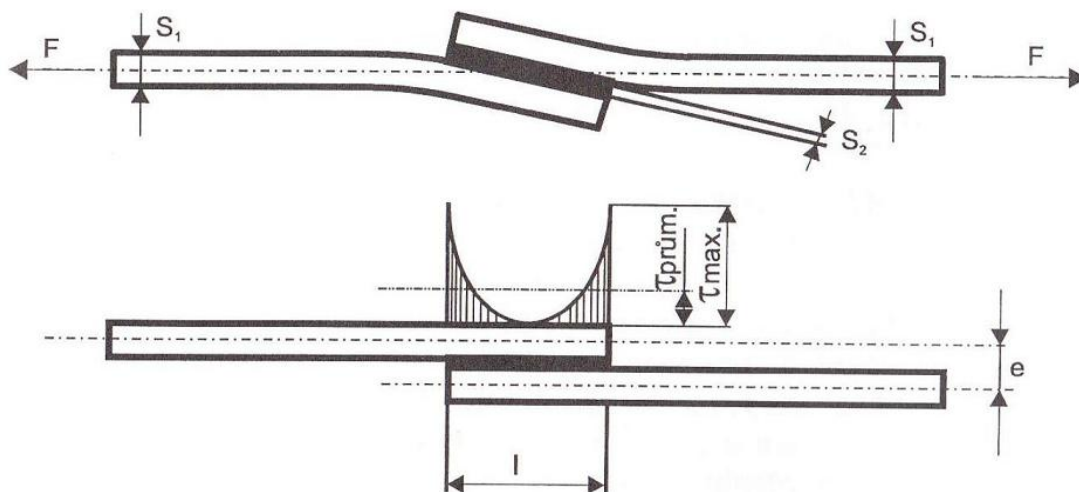
V praxi se většinou setkáme s kombinací různých druhů namáhání. Při kombinovaném namáhání tahu a ohybu se koncentruje tahové napětí především na jedné straně lepeného spoje, což způsobuje nežádoucí namáhání odlupováním (obr. 6.2). Při cyklických změnách směru a s rostoucí ohybovou složkou se zvyšuje citlivost k porušení spoje [2].



Obr. 6.2 Průběh napětí ve spoji při kombinovaném  
zatížení tahem a ohybem [2]

U jednostranně přeplátovaných spojů se koncentruje tahové napětí především na obou koncích přeplátování, které způsobuje také namáhání v odlupování (obr. 6.3). Se zvyšujícím se zatížením spoje se na obou koncích přeplátování zvyšuje napětí až do kritické hodnoty, kdy se spoj začne od konců přeplátování směrem do středu

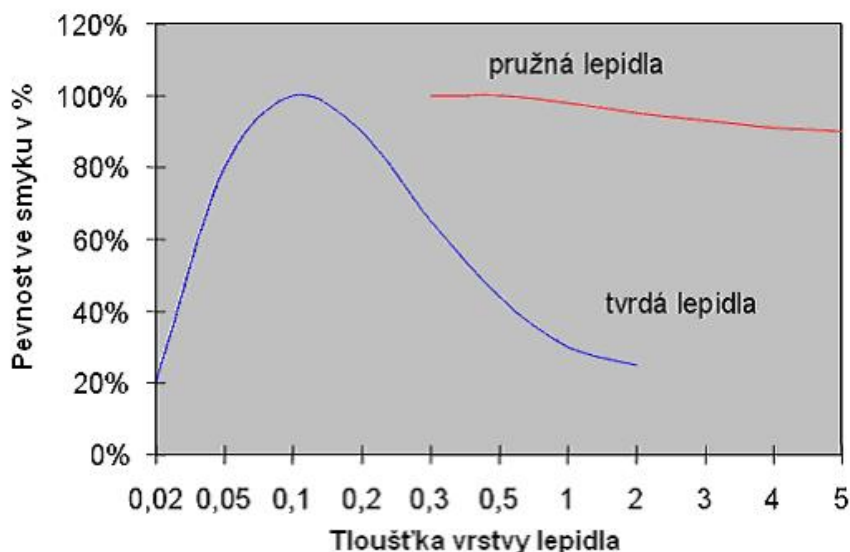
spáry porušovat. Čím je větší deformace lepených částí, tím dojde k přetržení spoje dříve. Vliv na deformaci má i excentrické působení sil a ohybová pevnost lepených materiálů [1], [2].



Obr. 6.3 Deformace jednostranně překlátovaných spojů v důsledku excentrického působení sil a rozložení napětí po délce překlátování [2]

### 6.1 Vliv tloušťky vrstvy lepidla na pevnost lepeného spoje

Důležitým faktorem, který ovlivňuje pevnost lepeného souboru, je tloušťka vrstvy lepidla. Teoreticky lze stanovit, že optimální tloušťka vrstvy lepidla se pohybuje mezi 0,05 až 0,25 mm (obr. 6.4). V praxi je to jinak. Každé lepidlo má různou maximální pevnost při různé tloušťce lepidla za stejných podmínek. Nelze tedy jednoznačně stanovit optimální vrstvu lepidla, která by byla vhodná pro všechna lepidla. Tato vrstva však obvykle leží v intervalu teoretických hodnot. U tmelů a pružných lepidel je hodnota tloušťky vrstvy vyšší (obr. 6.4). Doporučená tloušťka lepené vrstvy každého lepidla je uvedena v návodech výrobcem. Pokud se nedodrží předepsaná hodnota vrstvy lepidla, může dojít k poklesu pevnosti a tím k ovlivnění lepeného spoje. Při aplikaci řídkých lepidel, kde by mohlo dojít k vytlačení lepicí směsi, se používají pro dodržení konstantní tloušťky lepidla distanční drátky [1], [5].



Obr. 6.4 Závislost pevnosti ve smyku na tloušťce vrstvy lepidla [8]

## 7 TECHNOLOGICKÝ POSTUP LEPENÍ BOČNIC TRAMVAJE VariOLF

1. „Odmastit čističem Dinitrol Cleaner 520 všechny lepené plochy na kostře vozu i na plechách.
2. Vymezit minimální spáru pro lepící tmel přilepením pryžových podložek lepidlem Permabond 105 C na střed profilů kostry vozu ve vzdálenosti 200 - 250 mm od sebe. U širších profilů ve dvou řadách asi 25 mm od vnějších hran. V místě přiznaných spár se přilepí pryžový profil potřebné délky k vymezení šířky přiznané spáry.
3. Natřít lepené plochy na kostře vozu i na plechách primerem Dinitrol 500 Multiprimer. Nechat zaschnout cca 15 minuta nanést PU lepidlo Dinitrol 501 FC. Lepidlo se nanáší co nejbližší k vnější hraně profilů, aby jeho přebytek při ustavení a přitlačení plechů dokonale utěsnil vzniklou spáru. Výjimku tvoří okrajové lemy dveřních otvorů, kde je nutno nanést lepidlo 40 mm od okraje. U profilů o šířce 60 mm se nanáší jeden pruh lepidla, u profilů 100 - 120 mm se nanáší 2 pruhy lepidla. U přiznaných spár se musí lepidlo nanést tak, aby nedošlo k zaplnění spáry. Její konečné zaplnění a uhlazení se provede až po úplné povrchové úpravě.

Ustavit bočnicové plechy pomocí stolařských svěrek a podkladových trámek a přitáhnout na pryžové dorazy.

Vytlačené přebytečné lepidlo okamžitě setřít včetně pohledové strany plechů a lepený spoj uhladit pomocí plastové stěrky do úrovně hrany plechů. Pokud je v lepeném spoji nedostatek lepidla je nutné ho okamžitě doplnit a uhladit. Toto platí i pro lepení portálů dveří.

Doba zasychání je min. 72 h při 20°C a relativní vlhkosti 60%. Snižující se teplotou a vlhkostí se doba zasychání prodlužuje. Po zaschnutí lepícího tmele se provede kontrola všech spojů a opraví se lepícím tmelem nevyplněné spáry tak, aby nemohlo docházet k zatékání zkondenzované vody mezi plechy a rám. Provede se zatmelení hrany okrajového plechu a v dveřních otvorech.

4. Po úplné povrchové úpravě se provede doplnění přiznaných spár. Maskovací páskou se oblepí vyplňované spáry. Lepícím tmelem se doplní spára a uhladí se pomocí plastové stěrky. Odstraní se maskovací páska a okolí spáry se očistí od zbytků lepidla [7].“

Výkresová dokumentace viz. Příloha 1.



Obr. 7.1 Tramvaj VarioLF [6]

## ZÁVĚR

V této bakalářské práci je řešena analýza lepidel ve všeobecném strojírenství. Je zde popsána teorie lepení, rozbor lepidla a jeho výběr podle různých kritérií.

Hlavní částí je rozdělení lepidel podle způsobu vytvrzování. Lepidla jsou vytvrzována anaerobní reakcí, ultrafialový zářením, aniontovou reakcí, aktivátory, okolní vlhkostí, teplem nebo vsáknutím a odpařením rozpouštědel. Každý z uvedených způsobů má své specifické vlastosti a požadavky.

Dalším tématem, které je zde uvedeno, je rozdělení lepidel dle použití. Především jsem se zaměřil na lepení kovů, plastů (reaktoplastů a termoplastů) a skla.

Při výběru lepidla musíme vzít v úvahu nejen druh lepeného materiálu, ale i mechanickém namáhání celého lepeného spoje. Namáhání tlakem a smykem je pro spoj příznivé, naopak odlupováním a kroucením dochází k lokálnímu přetížení a poškození filmu lepidla.

Poslední kapitolou této práce je vypracování technologického postupu lepení bočnic tramvaje VariOLF od firmy Pragoimex a.s. Součástí technologického postupu je i výkresová dokumentace, která je umístěna v příloze.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] OSTEN, Miloš. *Práce s lepidly a tmely*. 3. vyd. Praha1: SNTL, 1986. 285 s.
- [2] POKORNÝ, Jiří. *Lepení a tmelení v dílně i domácnosti*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2000. 104 s. ISBN 80-7169-857-1
- [3] OSTEN, Miloš. *Lepení plastických hmot*. Praha1 : SNTL, 1972. 152 s.
- [4] KOLEKTIV AUTORŮ. *Loctite, Worldwide Design Handbook*. 2. vyd. Mainz: Erasmusdruck GmbH, 1998. 452 s. ISBN 0-9645590-0-5
- [5] MÜLLER, Miroslav. *Vliv tloušťky lepené vrstvy na pevnost lepených spojů* [online]. 5/2003 [citováno 2003-05]. Dostupné z WWW: <[http://www.tnvydavatelstvi.cz/svarovani/05/str\\_24.pdf](http://www.tnvydavatelstvi.cz/svarovani/05/str_24.pdf)>.
- [6] <http://www.pragoimex.cz>
- [7] Pragoimex a.s.
- [8] Sika CZ s.r.o.

## SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Jednotka	Význam
pH	-	kyselost
Cu	-	měď
Fe	-	železo
UVA	nm	dlouhovlnné ultrafialové záření
UVC	nm	krátkovlnné ultrafialové záření
Ra	μm	drsnost povrchu
$\tau$	MPa	smykové napětí
$\tau_{\text{prům.}}$	MPa	průměrné smykové napětí
$\tau_{\text{max.}}$	MPa	maximální smykové napětí
$\alpha$	°	úhel
F	N	síla
e	mm	excentricita
l	mm	délka lepeného spoje
s <sub>1</sub>	mm	tloušťka adherendu
s <sub>2</sub>	mm	tloušťka lepené vrstvy
ABS	-	akrylonitril-butadien-styren
PAD	-	polyamid
PC	-	polykarbonát
PE	-	polyetylen
PMMA	-	polyvinylchlorid
PP	-	polypropylen
PS	-	polystyren
PVC	-	polyvinylchlorid
PU lepidlo	-	polyuretanové lepidlo

## SEZNAM PŘÍLOH

**Příloha 1**            Výkresová dokumentace technologického postupu lepení bočnic tramvaje VariOLF