

LEPENÍ

- ▶ J.KUBÍČEK
- ▶ FSI Brno 2018

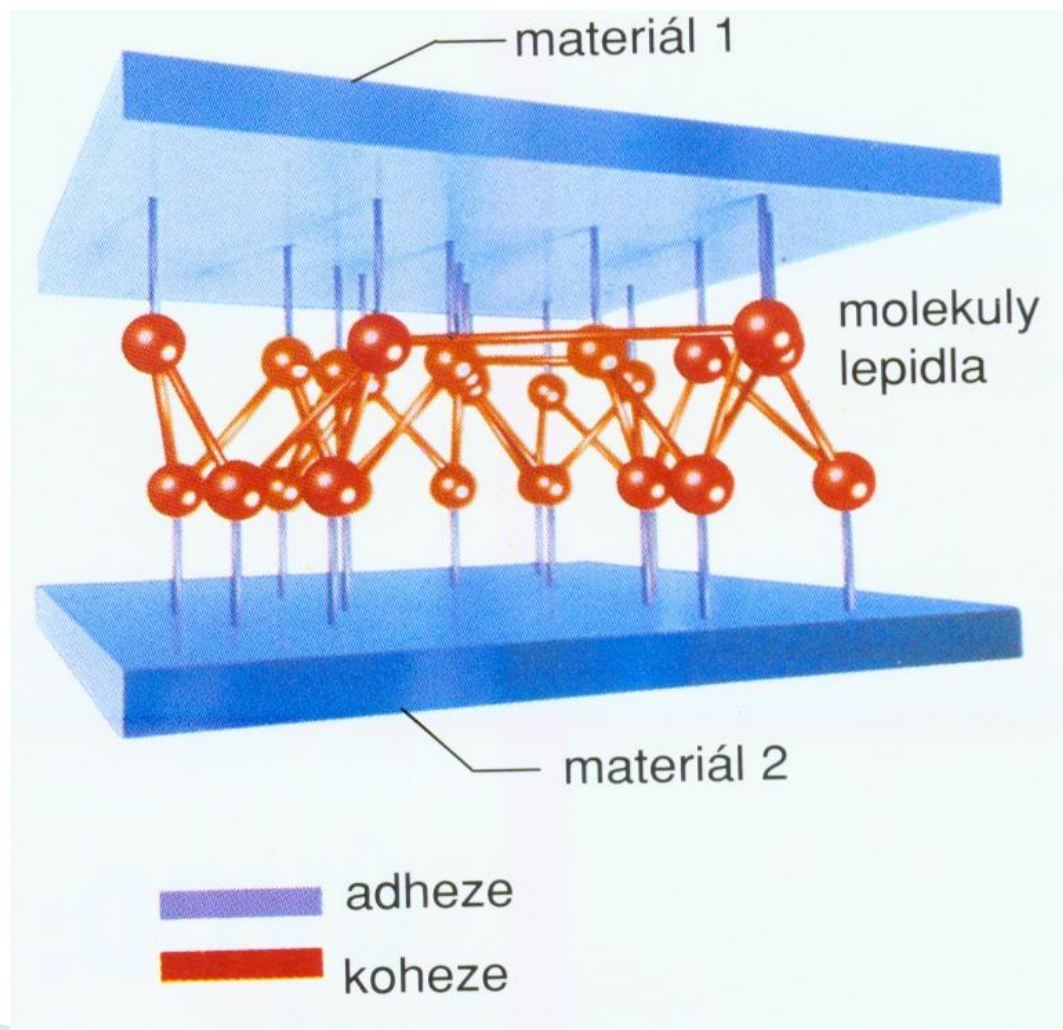
Podstata lepení

- ▶ **Adheze** – souhrn interakcí mezi látkami tvořící rozhraní. Ve fyzikální chemii přitažlivost mezi tuhou látkou a druhou fází – molekuly plynu, kapaliny, tuhé fáze.
- ▶ Síly způsobující adhezi – mezimolekulové síly.
- ▶ Při dvou tuhých tělesech je to síla přilnavosti lepeného spoje na kontaktním povrchu lepeného materiálu. Tyto fyzikální síly přitažlivosti a absorpce nazýváme Van Der Waalsovy síly. Vliv těchto mezimolekulárních sil je značně oslaben v případě, že se lepidlo nedostane do těsného styku s povrchem lepeného materiálu, například vlivem relativní drsnosti povrchu. Z tohoto důvodu je velice důležité, aby lepidlo pronikalo do povrchových nerovností a dokonale smáčelo lepený povrch

▶ Síly vazby	Energie vazby v kJ/mol
Vodíková vazba	do 50
Dipól – dipól	do 20
Disperzní	do 48
Van der Waalse	do 16

- ▶ **Koheze** – souhrn vnitřních interakcí mezi molekulami látky
- ▶ Je soudržná síla působící mezi molekulami lepidla. Jedná se o síly Van der Waalsovy a síly vzájemného propletení molekul polymerů. Každý řetězec je tak pevný jak je pevná jeho nejslabší část, proto je žádoucí, aby adhezní a kohezní síly v lepeném spoji byly vyrovnány.

Vazby v lepeném spoji



Hlavní výhody lepení kovů v porovnání se svařováním a nýtováním jsou:

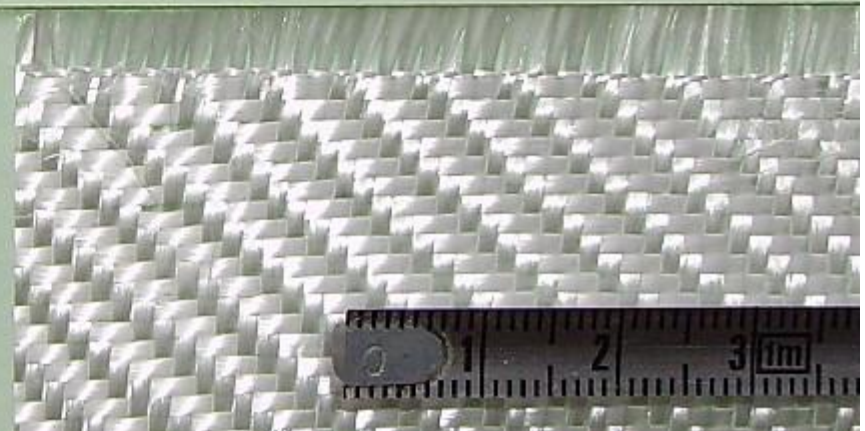
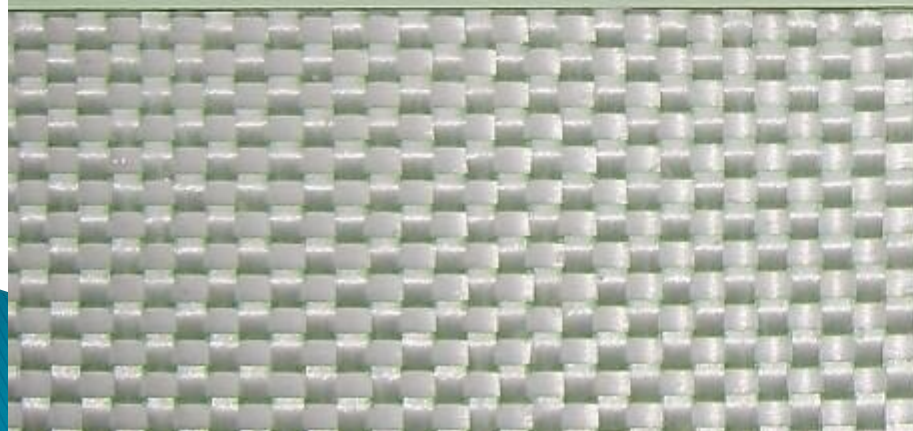
- ▶ Kontinuální a rovnoměrné přenášení napětí.
- ▶ Zesílnění konstrukcí v místě spoje, kde nýtování a svařování způsobuje oslabení.
- ▶ Možnost úspěšně lepit i rozdílné materiály a materiály, které vzhledem k jejich vlastnostem nemůžeme nýtovat nebo svařovat.
- ▶ Výsledná hmotnost lepené konstrukce je nižší než konstrukce nýtované nebo svařované o stejných rozměrech.
- ▶ Vhodným lepeným spojem se tlumí chvění a rezonance konstrukce.
- ▶ Lepený spoj je těsný vůči tlaku i vakuu.
- ▶ Operace lepení nevystavuje spojované materiály tepelným rozdílům jako při svařování.
- ▶ Lepený spoj netvoří galvanické články, nezpůsobuje rekrystalizaci materiálů ani nevyvolává jiné podmínky koroze (praskliny).
- ▶ Lepený spoj má lepší vzhled a dává relativně rovnější povrch než při nýtování nebo svařování.
- ▶ Umožňuje použití v širokém rozměrovém intervalu, tj. lepení drobných výrobků, stejně jako lepení velkých ploch – i při velmi složitých tvarech.
- ▶ Lepení je zpravidla ekonomický proces, který můžeme používat i v kontinuální a automatizované výrobě.

Nevýhody lepených spojů jsou:

- ▶ Jednoduchý lepený spoj je citlivý na nárazy, vysoké teploty a na některé vlivy prostředí.
- ▶ Lepený spoj nedává další možnosti úpravy.
- ▶ Lepený spoj vyžaduje velmi náročnou povrchovou úpravu a výběr jednotlivých složek lepeného systému.
- ▶ Lepený spoj vyžaduje velmi přesnou práci zvláště při použití vícesložkových lepidel, ale i lepidel, které mají složitý způsob vytvrzování.
- ▶ Od začátku lepení zůstává zpravidla jen krátký čas, za který je třeba operaci dokončit, ale výsledná pevnost se dosáhne obvykle později než u svařování a nýtování.
- ▶ Možnosti kontroly kvality jsou náročné a omezené.
- ▶ Kvalitní spoje si vyžadují náročně vybavené prostory.

Sendvičový lepený plášť A380. Potřebnou houževnatost dodává lehčený hliník, pevnost zajišťuje skelné vlákno. V další fázi se k nim přidá tekutá pryskyřice, po zaschnutí se vlákna slepí k sobě a vznikne sklo v nejpevnější podobě: skelný laminát.

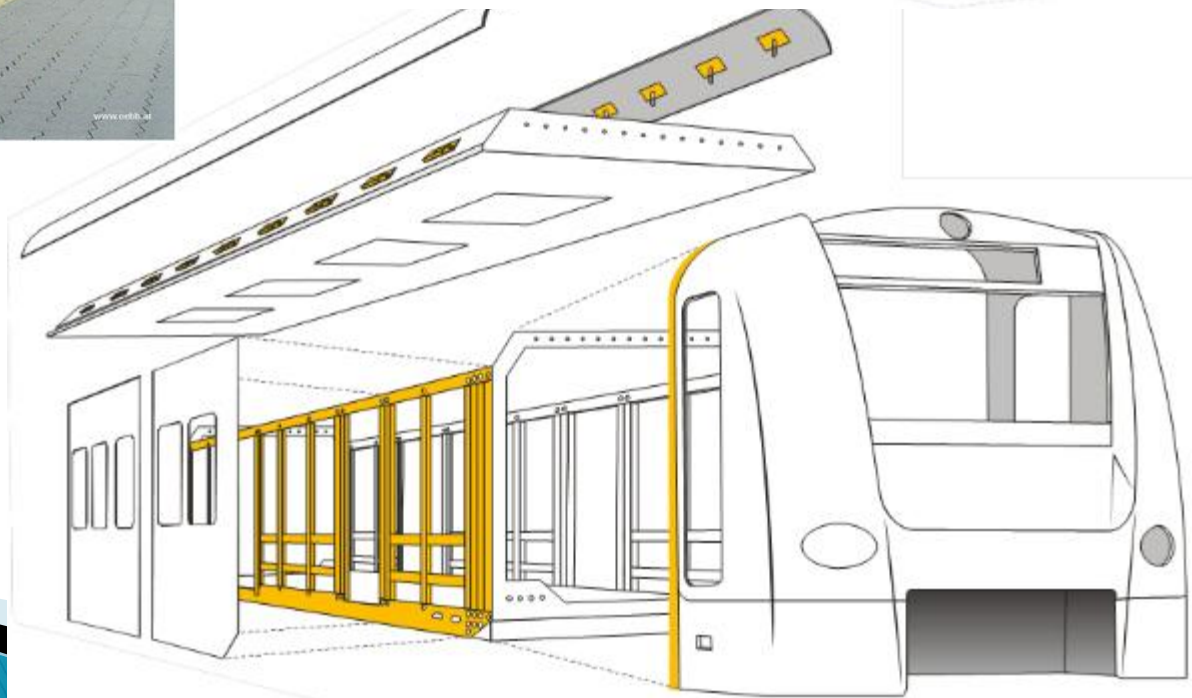
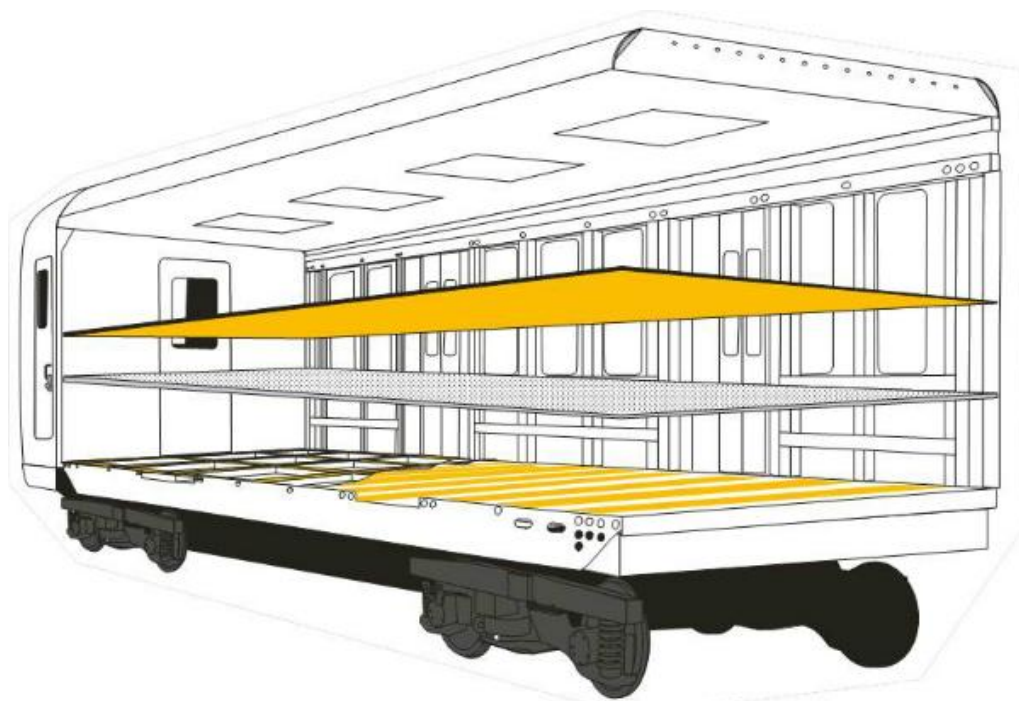


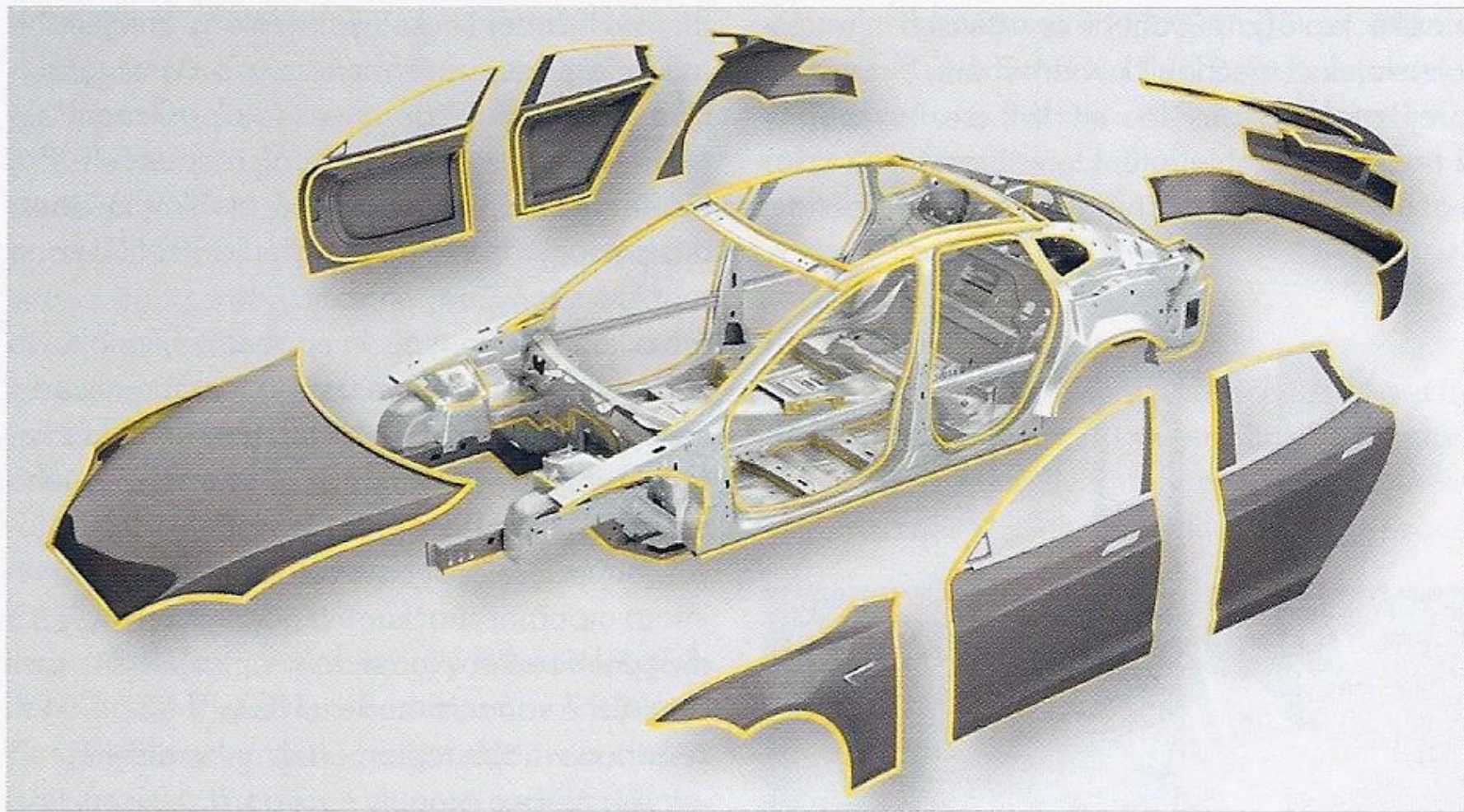




OBB
Bahn wirkt.

Die neue Nahverkehrsflotte.





Možné případy aplikace epoxidových pryskyřic v konstrukci karoserie. (Zdroj: Dow Automotive)

Kritická povrchová energie

Adhezivum může smáčet povrch jen jeli jeho povrchová energie menší nebo rovna povrchové energii lepené látky.
Kritická povrchová energie látek při pokojové teplotě v **mN/m**

▶ PTFE – teflon	18
▶ PVC –	40
▶ Polyamid 6.6	46
▶ Epoxy prysk.	47
▶ Měď	1850
▶ Titan	2050
▶ Železo	2530
▶ Wolfram	6800

Rozpětí používaných lepidel 30 až 47 mN/m

Proces vzniku vazby

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

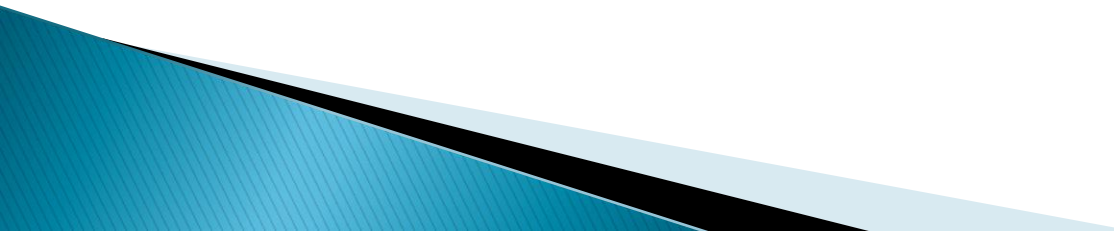
Teorie molekulová (absorpční) Nejčastěji citovaná teorie

- ▶ 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:
 - 1) transport molekul adheziva k povrchu adherentu,
 - 2) vzájemné působení mezimolekulárních sil (van der Waalsovy 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 Waalsovy síly, vzhledem ke své četnosti, k dobré pevnosti adhezního spojení. Příčina malé pevnosti spojů je především způsobena špatnou smáčivostí povrchu adherentu adhezivem, tím je totiž omezen kontakt adherentu a adheziva.

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.
- ▶ Reologie – obor zabývající se studiem vlastností viskózních (polotekutých) látek.

Teorie elektrostatická

- ▶ Pro vznik adheze tato teorie předpokládá ve spoji dvojitou vrstvu vytvořenou dotykem dvou rozdílných 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.
- 

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 nedifundují, ale úspěšně se lepí (např. kov – sklo).

Smáčivost

Vliv povrchového napětí

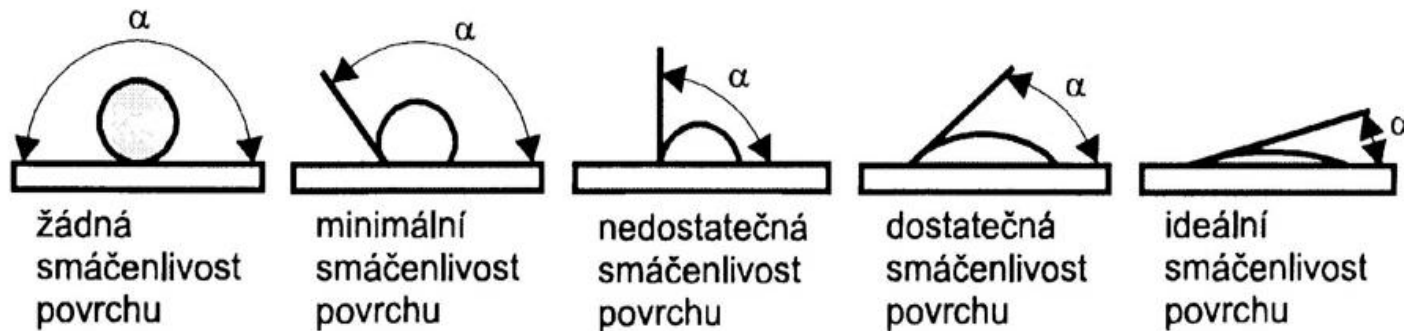
Geometrie povrchu

Anizotropie fyzikálních a fyzikálně–
mechanických vlastností (krystal. struktura,
tvrdost, hustota)

Nečistoty na povrchu, adsorbované molekuly
kyslíku a vody, tuku, oxidů

Příprava lepených ploch

- 10 Odmaštění
- 10 Mechanická úprava
- 10 Chemická úprava
- 10 Ionizační úprava
- 10 Kontrola povrchu vodní kapkou – kontaktní úhel

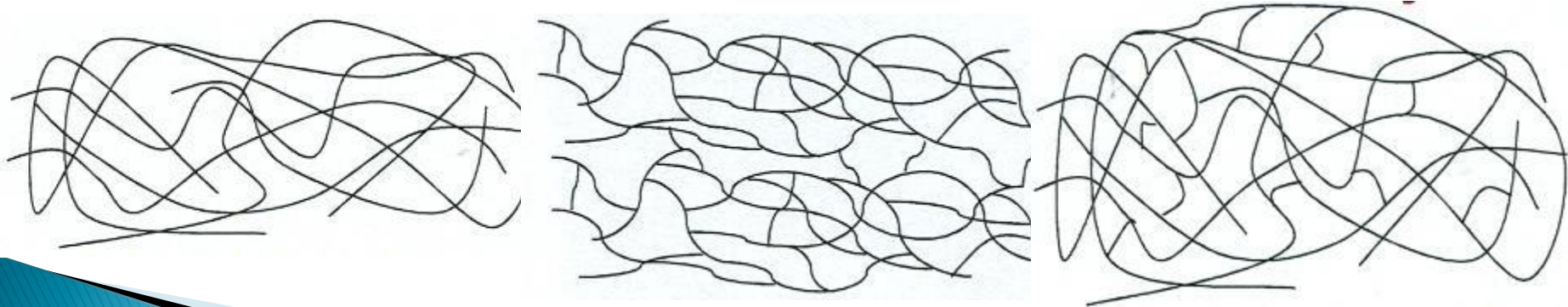


- ▶ Na čištění a odmašťování se používají: alkalická odmašťovadla, tamponování rozpouštědly a odmašťování v párách rozpouštědla.
- ▶ Vhodná odmašťovadla jsou např. IPA – isopropylalkohol, (isopropanol), technický aceton, butanon-2, MEK – metyletylketon, perchloretylen.
- ▶ Nevhodná jsou laková rozpouštědla a benzin. Poměrně často se používá moření materiálů v různých kyselinách (hliník a jeho slitiny) mořením ve 20% roztoku louhu sodného (NaOH). V případě moření se obvykle dosahuje vyšší pevnost spojů jako při mechanické úpravě povrchu. Z hlediska kvality lepených spojů je důležitá také drsnost povrchu lepených ploch. V domácí dílně vystačíme s ocelovým kartáčem a smirkovým plátnem se zrnitostí 100 až 120 v průmyslových aplikacích. V průmyslové praxi se používá také tryskání.

Příklady použití povrchové úpravy kovových materiálů před lepením.

Hliník a jeho slitiny	MEK, aceton, IPA	Broušení smirkem zrnitosti 320 – 400 anebo pískování oxidem hlinitým anebo chemické moření (vysoká pevnost).	do 1 hod.
Litina	MEK, aceton, IPA	Broušení smirkem zrnitosti 220 – 320, uhlová bruska anebo pískování.	do 15 min.
Měď	MEK, aceton, IPA	Broušení smirkem zrnitosti 400.	do 15 min.
Konstrukční a nerezové oceli	MEK, aceton, IPA	Broušení smirkem zrnitosti 320 – 400 anebo pískování.	ocel do 1 hod. nerez do 6 hod.
Titan	MEK, aceton, IPA	Broušení smirkem zrnitosti 320 – 400 anebo pískování.	do 15 min.
Hořčík	MEK, aceton, IPA	Jemným pilníkem zdrsnit povrch.	do 15 min.
Mosaz	MEK, aceton, IPA	Broušení smirkem zrnitosti 320 – 400.	do 15 min.
Zinek	MEK, aceton, IPA	Broušení smirkem zrnitosti 400.	–
Cín	MEK, aceton, IPA	Broušení smirkem zrnitostí 400.	do 15min.
Pochromované kovy	MEK, aceton, IPA	Broušení smirkem zrnitosti 400.	–
Poniklované kovy	MEK, aceton, IPA	Vrstvu niklu mechanicky anebo chemicky odstranit.	–

- ▶ **Polymery dělíme na tři základní skupiny:**
- ▶ termoplasty – navzájem propletené polymery, mezi kterými chybí chemická vazba
- ▶ duromery – polymery jsou zasít'ované
- ▶ elastomery – polymery řídce zasít'ované (velká oka) proto jsou velice pružné (podobné pryži)



Vytvrzení lepidel

Lepidla, jako makromolekulární látky koloidního charakteru, mají schopnost přecházet z kapalného skupenství do skupenství tuhého.

- ▶ **Disperzní lepidla.** Nejčastěji jde o pohlcování rozpouštědla nebo disperze substrátem a částečně i jeho vypařováním. Proto je při použití roztokových, anebo disperzních lepidel důležitá možnost difuze rozpouštědla anebo disperze, která předpokládá určitou pórovitost alespoň jednoho ze spojovaných substrátů.
- ▶ **Tavná lepidla.** Vhodnou směsí polymerů s vyšší relativní molekulovou hmotností se získávají filmy z nízkoviskozní taveniny s vysokou adhezí. Vzhledem k tomu, že tavná lepidla neobsahují rozpouštědla, dosahuje se velmi rychlého vytvrzení při ochlazení na teplotu okolí.
- ▶ **Chemickými reakcemi vytvrzovaná lepidla.** Lepidla určené ke spojování kovů se nejčastěji vytvrzují chemickými reakcemi v důsledku zesíťování makromolekul polykondenzačními, polymeračními a polyadičními reakcemi.

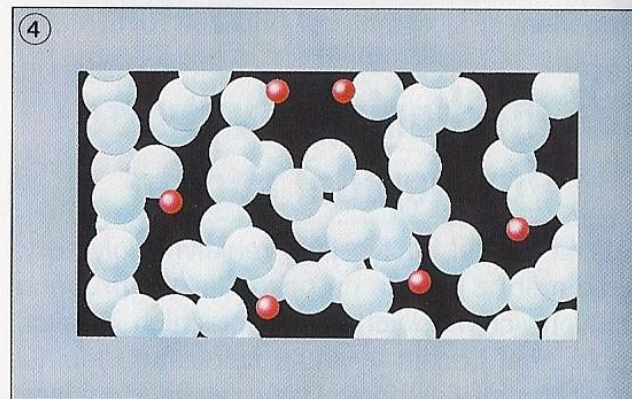
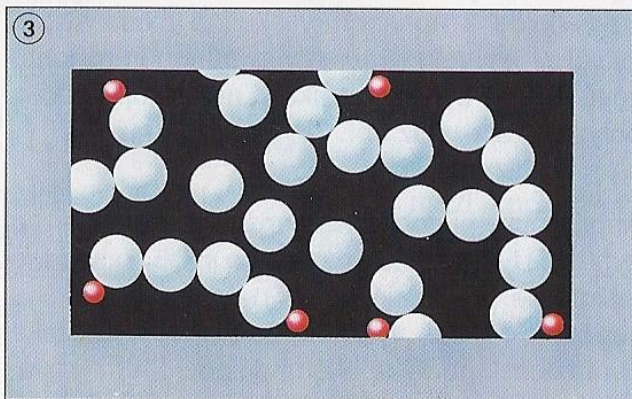
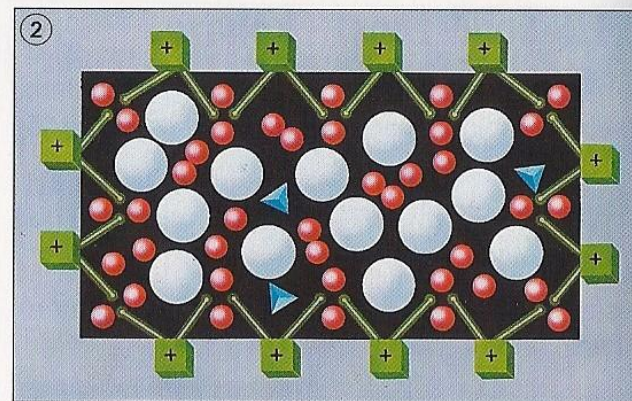
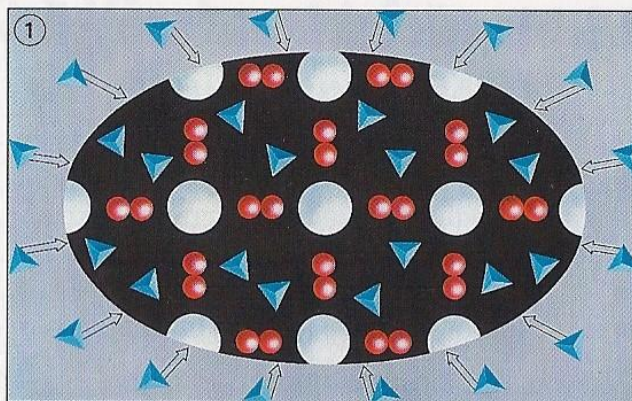
Systemy vytvrzování

- ▶ Anaerobní reakce
- ▶ UV zářením
- ▶ Anionové reakce (kyanoakryláty)
- ▶ Aktivační systém
- ▶ Vlhkostí prostředí
- ▶ Teplem
- ▶ Vytvrzení promísením s tvrdidlem

Anaerobní

Obr. 2:

Proces vytvrzování lepidla anaerobní reakcí: V kapalném stavu (1) je lepidlo stabilní díky trvalému přívodu kyslíku. Když je lepidlo uzavřeno ve spáře lepeného spoje bez přívodu kyslíku (2), peroxidy se mění na volné radikály reakcí s ionty kovů. Volné radikály pak podpoří vytváření polymerních řetězců (3). Vytvrzený stav (4) má strukturu pevné látky s "křížově propletenými" polymerními řetězci.

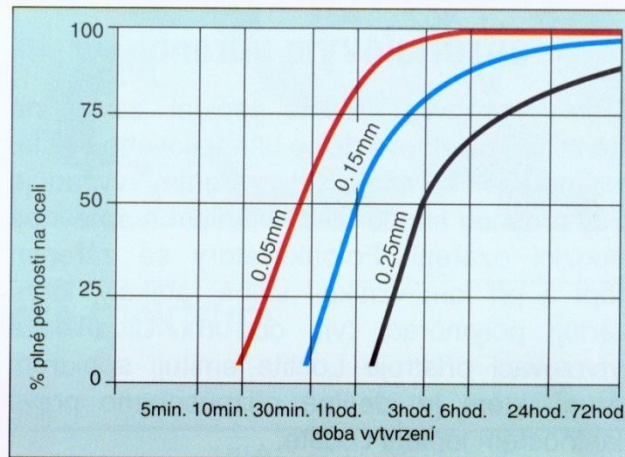
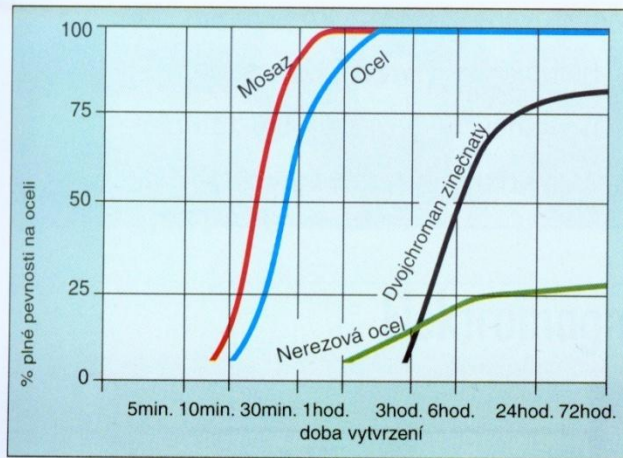


- = peroxidy
- ▲ = kyslík
- = volné radikály
- = monoméry
- + = ionty kovů

Anaerobně vytvrzující lepidla

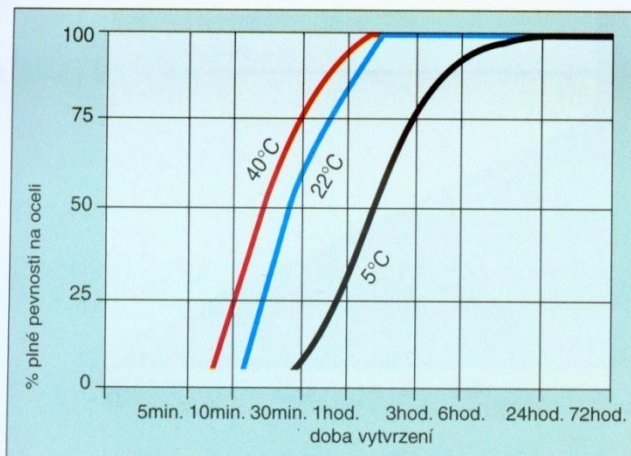
- ▶ Tato lepidla jsou jednosložková a vytvrzují při pokojové teplotě. Tvrdidlo obsažené v tekutém lepidle zůstává neaktivní dokud je ve styku se vzdušným kyslíkem. Při zamezení přístupu vzdušného kyslíku, např. tím, že se lepené díly k sobě přitisknou, dochází při současném styku lepidla s kovem k rychlému vytvrzení. Vytvrzovací proces lepidla je podporován stykem lepidla s aktivními kovy, které zde působí jako katalyzátor. U pasivních materiálů, které nepůsobí katalyticky vůbec, nebo jen nepatrně, používáme k rychlému a úplnému vytvrzení aktivátory. Některé produkty mohou vytvrzovat i teplem (30 minut při 120°C).
- ▶ Aktivní – ocel C-Mn, slitiny mědi
- ▶ Pasivní – korozivzdorná ocel, Al, Ni, Zn, Ag, oxidované + chromátované povrchy, plasty, keramika

Anaerobní



Obr. 4 vlevo:
Rychlost vytvrzování jako funkce materiálů

Obr. 5 vpravo:
Rychlost vytvrzování jako funkce lepící spáry



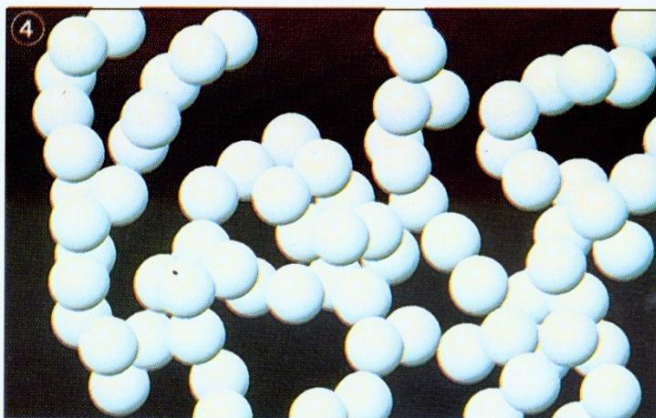
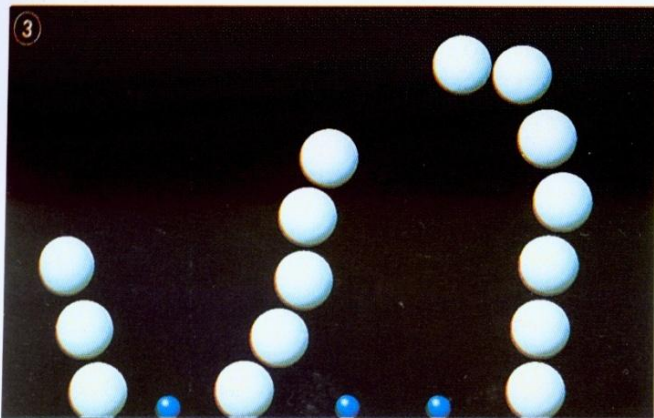
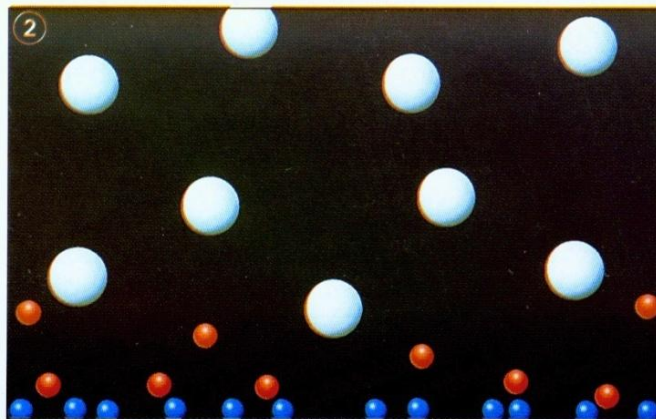
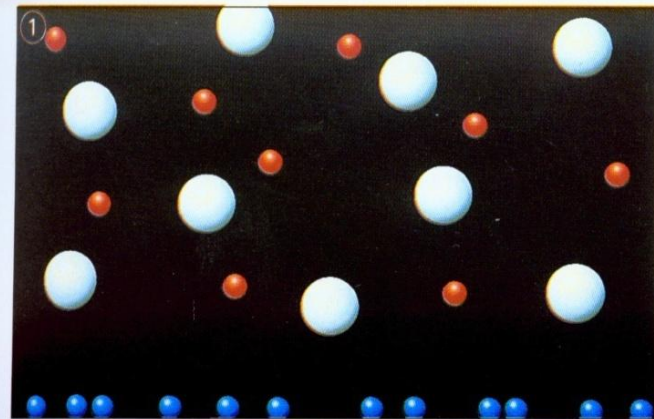
Obr. 6 vlevo:
Rychlost vytvrzení jako funkce teploty

Obr. 7 vpravo:
Rychlost vytvrzení jako funkce aktivátoru

Anaerobně vytvrzující lepidla

- mají vysokou pevnost ve stříhu
 - mají vysokou odolnost proti teplotám (-55°C až $+230^{\circ}\text{C}$)
 - rychle vytvrzují
 - mají dobrou odolnost proti vibracím
 - mají dobrou odolnost při trvalém dynamickém zatížení
 - lze je použít v automatických dávkovacích systémech
 - spojované díly nemusí být jemně opracovány, neboť hloubka drsnosti mezi
- ▶ 8–40 μm pevnost spojení zvyšuje

Anionové reakce (kyanoakryláty)



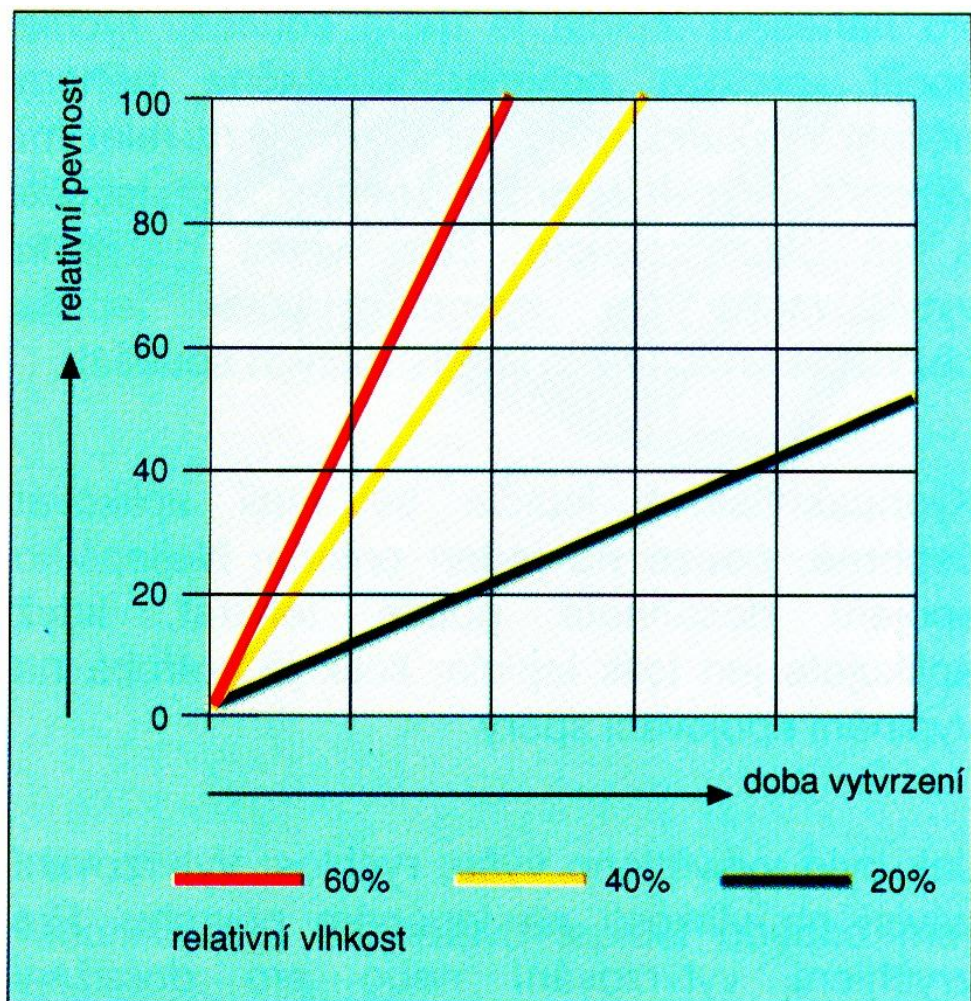
Obr. 14:
Proces vytvrzování
kyanoakrylátových lepidel
byl popsán tak, že kyselý
stabilizátor zabraňuje, aby
molekuly lepidla reagovaly,
a tím udržuje lepidlo v
kapalném stavu (1).
Povrchová vlhkost
neutralizuje stabilizátor (2)
a polymerace začíná (3).
Vytváří se množství
polymeračních řetězců,
které jsou navzájem
propleteny (4).

 = kyselý stabilizátor
 = povrchová vlhkost
 = monoméry

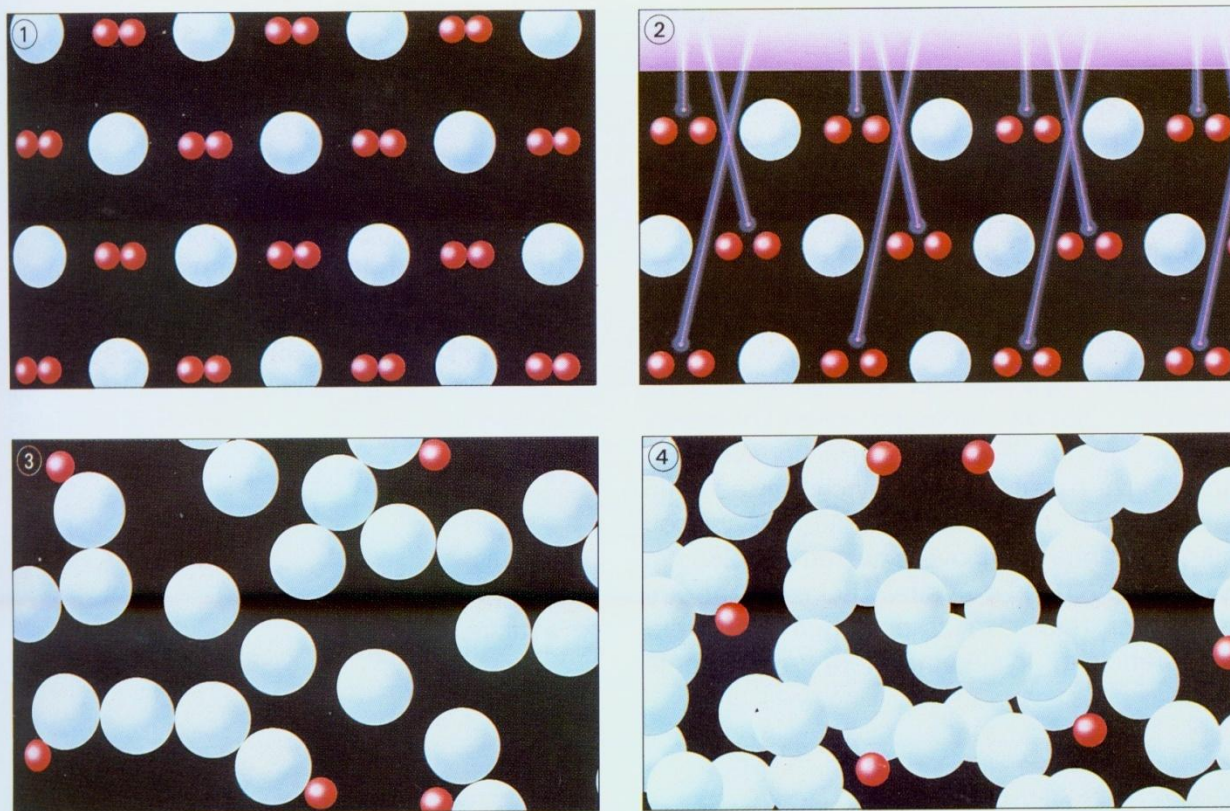
Vytvrzování vzdušnou vlhkostí na povrchu (kyanakryláty)

- ▶ Vlhkost vzduchu a lepené plochy je zpravidla dostačující k vytvrzení během několika sekund pro dosažení manipulační vlhkosti. Nejlepších výsledků se dosahuje při relativní vlhkosti vzduchu mezi 40–60% a při pokojové teplotě. Nižší relativní vlhkost vzduchu zpomaluje vytvrzení, vyšší relativní vlhkost vytvrzení urychluje, může však nepříznivě ovlivnit konečnou pevnost spoje. Kyselé povrchy ($\text{pH} < 7$) mohou vytvrzení zpomalit, nebo zcela znemožnit. Zásadité povrchy ($\text{pH} > 7$) naproti tomu vytvrzení urychlují.
- ▶ Díly, které se mají slepit, je nutné spojit brzy po nanesení lepidla, neboť čas do začátku polymerace je jen několik sekund. Lepidla této skupiny se vyznačují těmito vlastnostmi:
 - velmi vysokou pevností ve stříhu a v tahu
 - velmi rychlým vytvrzením (sekundy)
 - lze lepit téměř všechny materiály
 - odolností proti stárnutí

Vytvrzování kyanoakrylátů



Vytvrzování UV zářením



Obr. 8
Proces vytvrzování UV
lepidel: v kapalném stavu
(1) monoméry a
fotoaktivátory koexistují,
aniž by spolu navzájem
reagovaly. Jsou-li vystaveny
UV záření (2),
fotoaktivátory se mění na
volné radikály. Volné
radikály pak spouštějí růst
monomérních řetězců (3)
zesíťení polymerních
řetězců ve vytvrzeném
stavu (4).

●● = fotoaktivátory
● = volné radikály
● = monoméry

Lepidla vytvrzující UV zářením

- ▶ Rychlost vytvrzení záleží u těchto lepidel na intenzitě ozáření a na vlnové délce UV-záření. Rozlišujeme druhy vytvrzení:

- hloubkové vytvrzení UV-zářením
- povrchové vytvrzení UV-zářením
- sekundární vytvrzení

Při skladování musíme tato lepidla chránit před UV-zářením.

- ▶ Hloubkové vytvrzování

Při hloubkovém vytvrzování používáme vlnové délky v oblasti mezi 300–400 μm . Podle typu produktu lze při tomto ozařování dosáhnout hloubky vytvrzování až 6 mm.

- ▶ Povrchové vytvrzování

Používáme oblast vln pod 300 nm. Tím se zabrání nežádoucí reakci povrchu lepidla se vzdušným kyslíkem. Dostáváme tak povrchově vytvrzenou hmotu, která je vhodná např. jako těsnění.

- ▶ Sekundární vytvrzení

U zastíněných ploch se dosáhne úplné polymerizace pomocí těchto působících systémů, tj. pomocí sekundárního vytvrzení. Sekundární systémy vytvrzují při tom nejčastěji:

- anaerobně
- teplem
- aktivátory
- vlhkostí vzduchu

Lepidla vytvrzující UV zářením

- ▶ Lepidla se vyznačují těmito vlastnostmi:
 - vysoká pevnost
 - překlenutí velké spáry
 - velmi krátké vytvrzovací časy na dosažení manipulační pevnosti (řádově sekundy)
 - dobrá odolnost proti médiím

Lepidla vytvrzující aktivátory

- ▶ Tato lepidla nevytvrzují přímo smícháním lepidla s aktivátorem, ale nanesením aktivátoru na $\frac{1}{2}$ plochy a lepidla na druhou $\frac{1}{2}$ plochy
- ▶ Charakteristické vlastnosti těchto lepidel:
 - dobrá odolnost proti médiím velmi vysoká pevnost na stříh a na smyk
 - dobrá odolnost proti rázům
 - široká oblast tepelného nasazení (-55°C až $+120^{\circ}\text{C}$)
 - možnost lepení téměř všech materiálů
 - překlenutí velké spáry

▶ Lepidla vytvrzující promísením s tužidlem

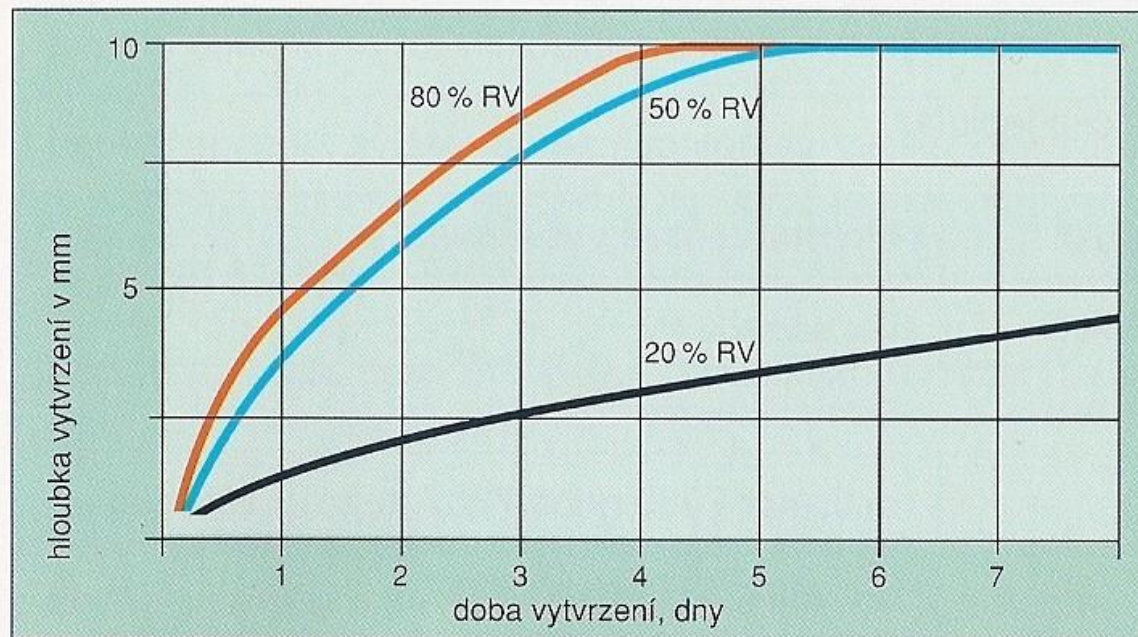
- ▶ U těchto lepidel se jedná v podstatě o nízkomolekulární umělé pryskyřice, které vytvrzují pomocí tužidel (např. anhydrid kyseliny ftalové ozn. P11). Epoxidy bývají též jako složka náplní tmelů. (podrobně dále)

▶ Lepidla vytvrzující teplem

- ▶ Jednosložková lepidla na bázi epoxidových pryskyřic vytvrzující ohřevem na teploty cca 120– 150°C
 - střední až vysoká pevnost
 - schopnost překlenutí velké spáry
 - dobrá přilnavost k materiálům
 - dobrá odolnost k prostředí

Lepidla vytvrzující okolní vlhkostí

Obr. 16:
Rychlost vytvrzení jako
funkce relativní vlhkosti.



- ▶ **Lepidla vytvrzující vlhkostí** – jedno komponentní polyuretany, MS polymery, silikony a hybridy (modifikované polyuretany).
- ▶ **SILIKONY** – vytvrzují reakcí s okolní vlhkostí kdy využívají molekul vody přímo k polymernímu zesíťení. Vlhkost musí vniknout do lepidla do míst kde vulkanizace nastává.
- ▶ Vynikající tepelná odolnost
- ▶ Pružné, houževnaté vysoké prodloužení
- ▶ Účinné těsnění a vyplnění spáry
- ▶ **POLYURETANY** – se vytvrzují mechanismem při němž voda reaguje s chemickou přísadou izokyanátové skupiny. Vlhkost musí vniknout do lepidla do míst kde nastává polymerní zesíťení. Mají vynikající houževnatost
- ▶ Pružné, houževnaté vysoké prodloužení
- ▶ Účinné těsnění a vyplnění spáry
- ▶ Jsou natíratelné po vytvrzení
- ▶ Vynikající chemická odolnost





Lepidla pro nejvyšší pevnosti

Polyesterové pryskyřice

- ▶ Se podle své chemické struktury dělí na ortoftalové, izoftalové a tereftalové typy, v tomto pořadí obecně stoupají jejich mechanické vlastnosti, teplotní a chemická odolnost.
- ▶ Nejlepších vlastností lze dosáhnout použitím vinylesterových pryskyřic s teplotní odolností až do 160°C a dlouhodobou chemickou odolností vůči většině agresivních látek – např. kyselinám, hydroxidům a rozpouštědlům.
- ▶ Monomerem a síťujícím činidlem je u těchto pryskyřic styren.
- ▶ Pryskyřice se pro zlepšení zpracovatelských podmínek dodávají i s přídavkem urychlovačů, speciálních voskových složek pro snížení odparu zdraví škodlivého styrenu případně s přídavkem thixotropních složek, upravujících viskozitu a snižujících stékání pryskyřice ze svislých stěn.
- ▶ Pro povrchové vrstvy, dodávající výrobku povětrnostní a chemickou odolnost a zajišťující estetický efekt se používají speciální polyesterové pryskyřice obsahující různá aditiva, zejména barevné pigmenty, UV stabilizátory a další složky.

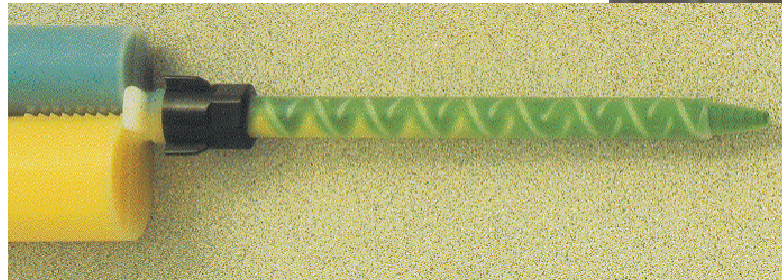
Vytvrzovací systémy pro termosetické matrice

- ▶ Nenasycené polyesterové pryskyřice a vinylestery, kde je síťujícím monomerem styren, se vytvrzují exotermní radikálovou kopolymerací za využití dvojných vazeb v řetězci polyesterových jednotek a styrenu.
- ▶ Potřebnou iniciaci dodávají volné radikály, vzniklé rozpadem peroxidů, které se dávkuje v množství 1–2 dílů na 100 dílů pryskyřice v závislosti na typu pojiva a teplotě.
- ▶ Nejčastěji užívanými iniciátory jsou ketonperoxydy (metyletylketonperoxid –MEKP), cyklohexanonperoxid a jejich směsi a dibenzoylperoxid zejména pro vytvrzování za zvýšených teplot.

Epoxidové pryskyřice

- ▶ Se vyznačují lepšími mechanickými, zejména dynamickými vlastnostmi, použitím vhodných tvrdidel lze získat i vyšší teplotní odolnost – až do 180°C. Neobsahují škodlivý styren.
- ▶ Epoxidových pryskyřic je řada typů, nejběžnější jsou na bázi bisfenolu A nebo bisfenolu F. Vhodných technologických vlastností, zejména snížení viskozity, se dosahuje mísením epoxidových pryskyřic s tzv. reaktivními ředidly.
- ▶ Volbou správného typu lze zlepšit i další vlastnosti pojivového systému, např. teplotní odolnost a snížení hořlavosti.
- ▶ Teplotní odolnost matrice se vyjadřuje buď hodnotou T_g – teplota skelného přechodu, tj. teplota, pod kterou vytvrzený polymer zůstává v tzv. skelném stavu, makromolekuly jsou pevně fixovány v polymerní síti. V tomto stavu si kompozit zachovává potřebné mechanické vlastnosti, nad touto teplotou do jisté míry měkne a počíná jeho teplotní destrukce a stává se tedy nepoužitelným.

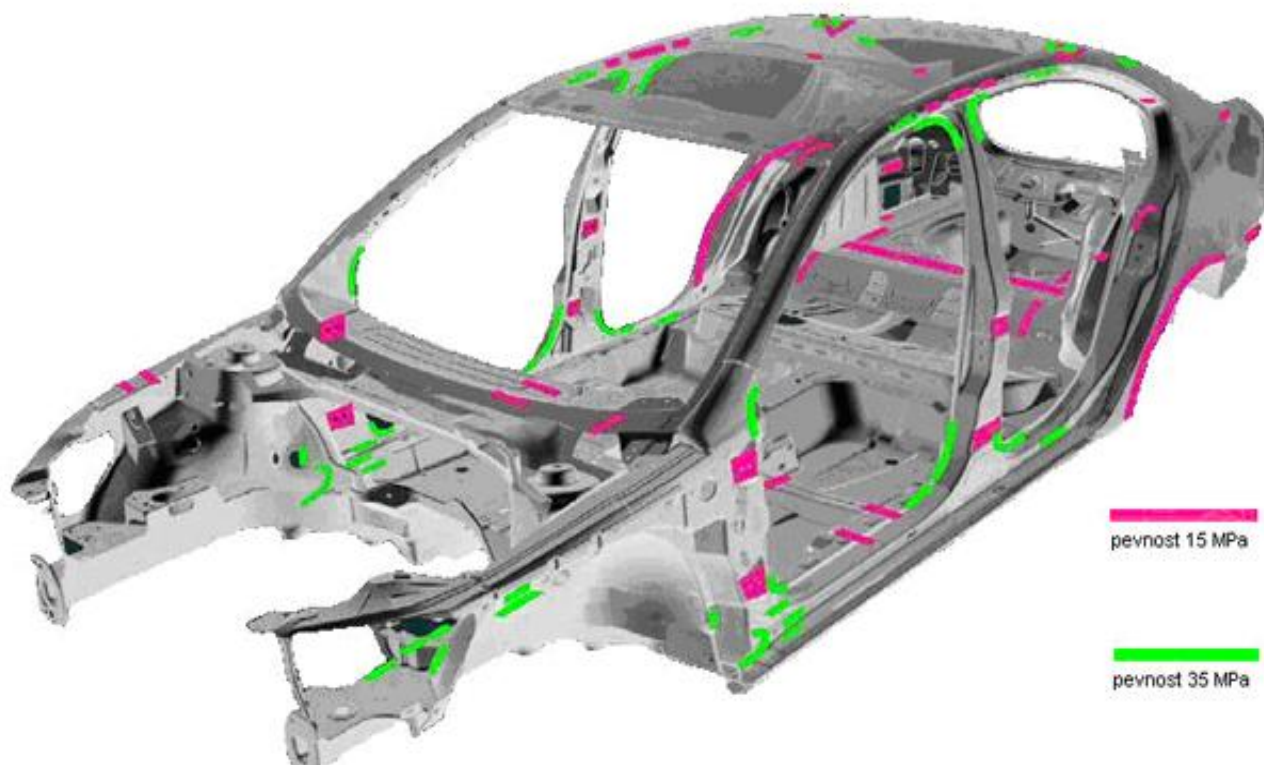
- ▶ Teplotní odolnost lze vyjádřit i hodnotou HDT (heat distortion temperature), tj. mezní teplota, nad níž těleso kompozitu vystavené ohybovému zatížení vykazuje nepřípustnou deformaci (průhyb). Hodnoty T_g a HDT jsou vodítkem pro použití lepidel, které by neměly být dlouhodobě vystavovány teplotám, daným hodnotami T_g nebo HDT minus 20°C .
- ▶ **Epoxidové pryskyřice** se vytvrzují (sít'ují) tužidly/tvrdidly. Jedná se většinou o polyadiční reakce s lineárními (alifatickými), aromatickými nebo cykloalifatickými aminy, pro dosažení vyšší teplotní odolnosti se k vytvrzování užívají anhydridy organických kyselin nebo vhodné amidy (např. dikyandiamid).
- ▶ Řídčeji vytvrzování probíhá iontovou polymerací s využitím komplexů BF_3 s aminy, zejména pro rychletvrdnoucí tmely a lepidla.



Příspěvky do lepidel

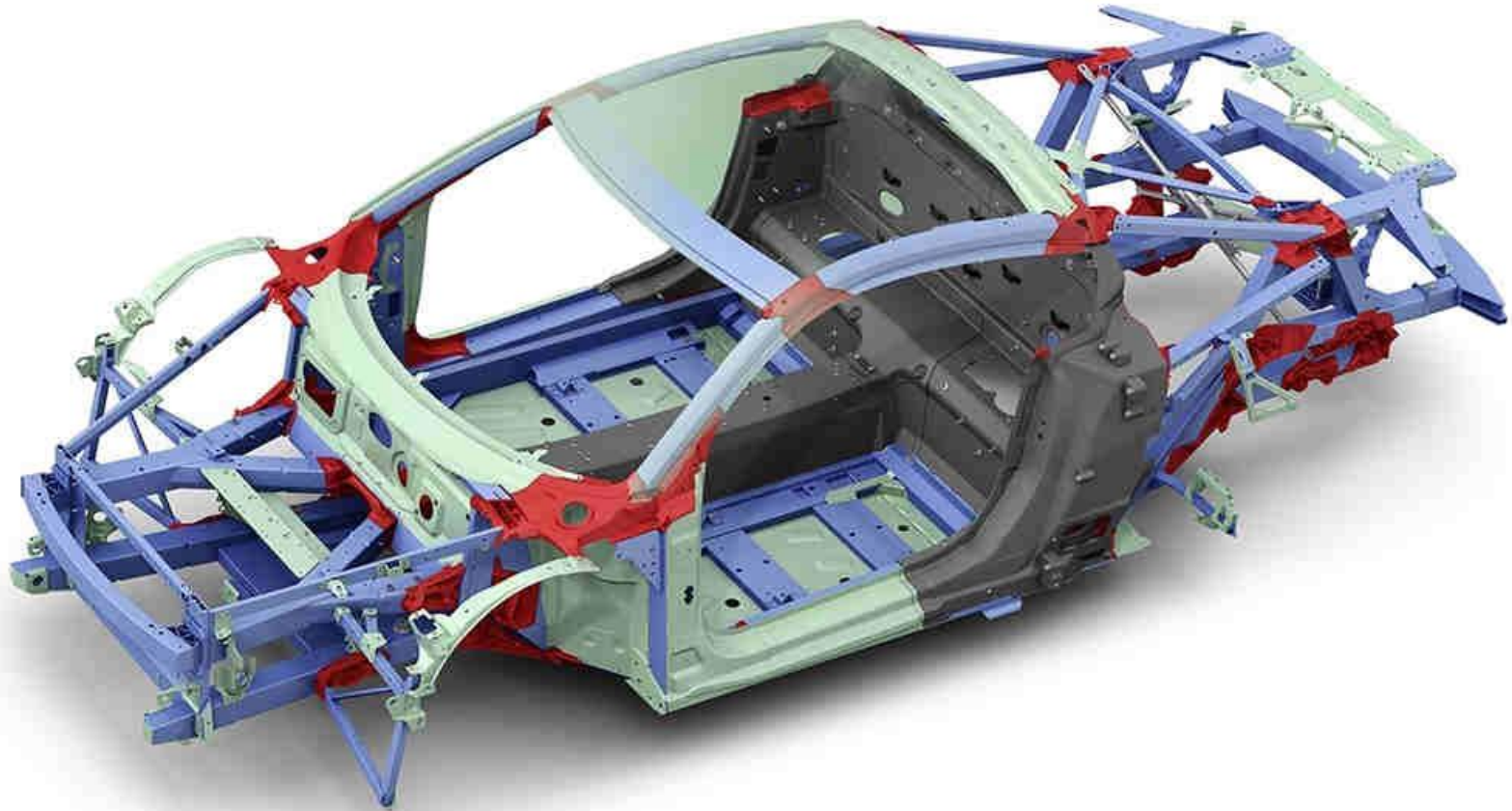
- ▶ **Aditiva** jsou takové látky, které přidáním malého množství příznivě upravují některé vlastnosti pojiv, např. zlepšují smáčení povrchů pryskyřicí, ulehčují odvzdušnění pryskyřic, antioxidanty a UV absorbery zpomalují stárnutí a degradaci polymerů.
- ▶ **Pigmenty** jsou užívány pro probarvení pryskyřic. Požadavky: dostatečná kryvost, – odstín lepidla dosažený s minimálním přídatkem pigmentu, dlouhodobě stabilní vůči UV záření a dalším povětrnostním vlivům, aby byla zaručena stálost odstínu. Z těchto hledisek jsou nejvhodnější anorganické pigmenty, většinou oxidy různých kovů. V poslední době se však v řadě případů přechází na pigmenty organické, aby se vyloučilo znečištění životního prostředí toxickými těžkými kovy, jako jsou rtuť, olovo, chrom a molybden. Jako bílý pigment je téměř výlučně používána nezávadná titanová běloba.

- ▶ **Plniva** jsou malé, pevné částice inertních materiálů, které se přidávají do pojiva s cílem zvýšit pevnost, tvrdost, tvarovou stálost, zlepšit zpracovatelnost, snížit hořlavost a smrštění a většinou také pro zlevnění produktu.
- ▶ Nejužívanějšími plnivy jsou uhličitán vápenatý (křída), mastek, kaolin, křemenná moučka, písek aluminiumtrihydrát (snížení hořlavosti), oxid hořečnatý, vločky oxidu hlinitého (estetické efekty), kameninová drť atd. Plniva se přidávají podle typu a účelu použití v množství 30–400 hm.d. na 100 hm.d. matrice.
- ▶ Zvláštním případem je koloidně srážený oxid křemičitý známý pod názvem Aerosil nebo Cabosil, který vytváří velmi lehké jemné vločky s enormně velikým specifickým povrchem a je proto užíván pro vytvoření tzv. thixotropního efektu – nestékavosti za klidového stavu jak v pryskyřicích. Pro zvýšení tuhosti a snížení váhy se pro některé aplikace jako plnivo používají duté skleněné mikrokuličky o $\varnothing$ 20 – 100 μm .

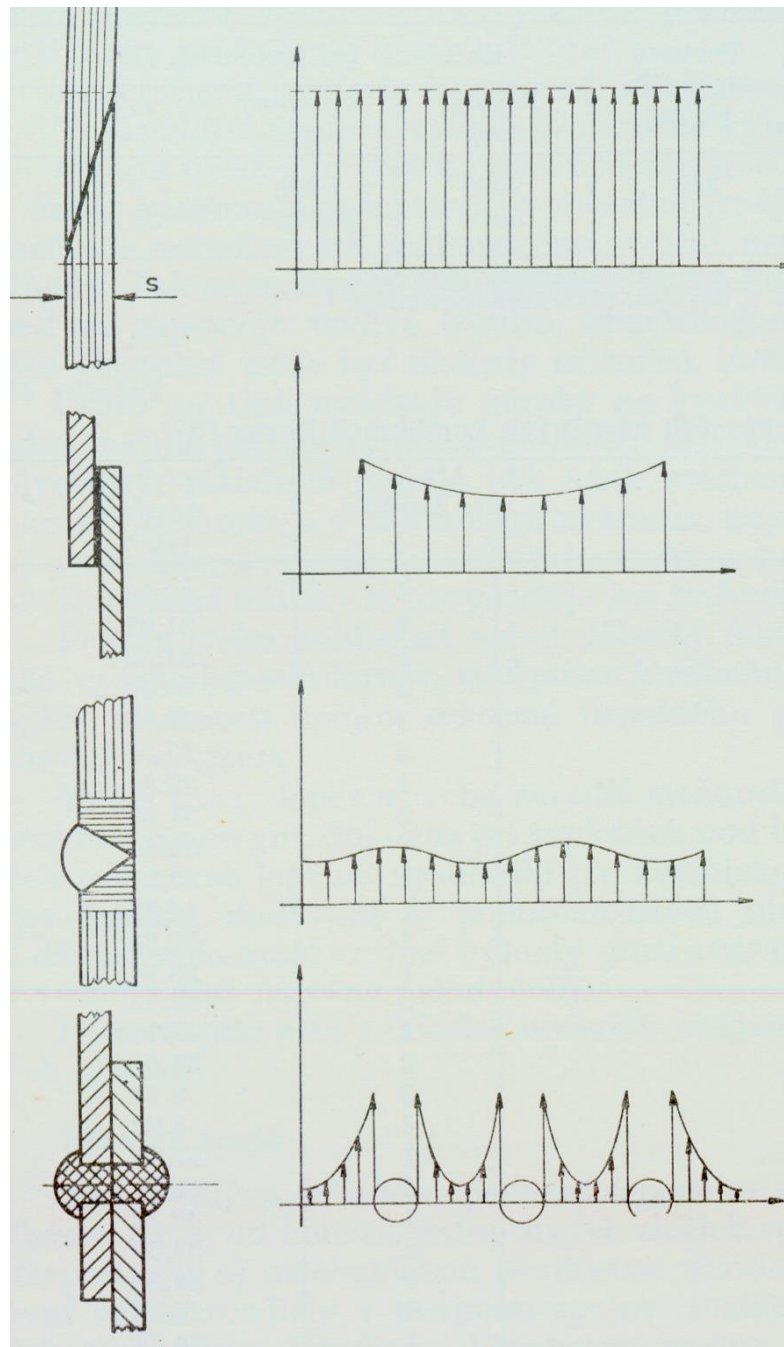


Příklad umístění epoxidových lepidel na karoserii automobilu

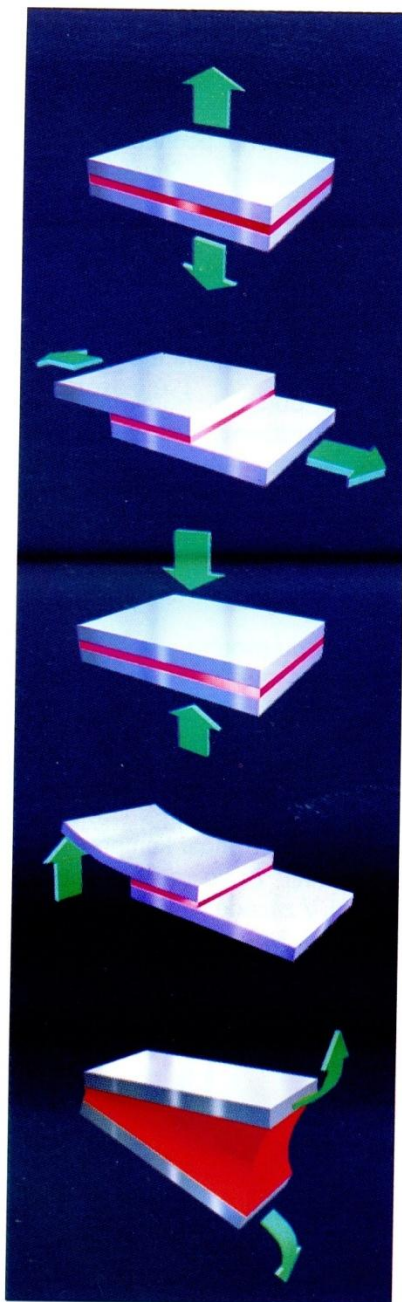
Karoserie automobilu Audi R8: kompozitní díly označeny šedou barvou



Porovnání napětí v různých způsobech spojení



Typy namáhání



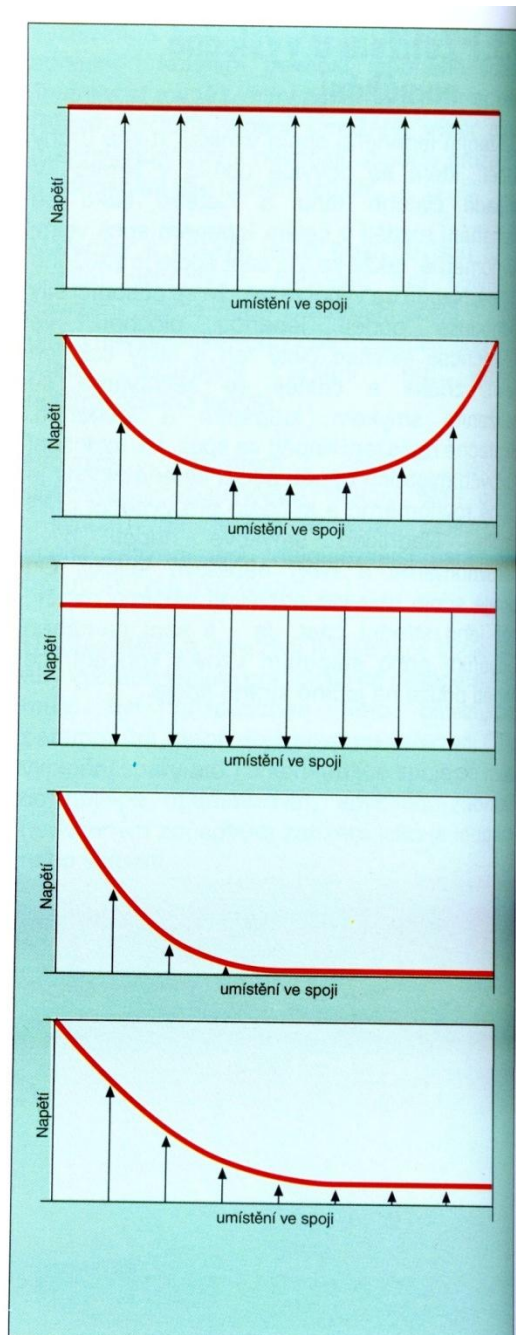
Namáhání tahem

Namáhání smykem

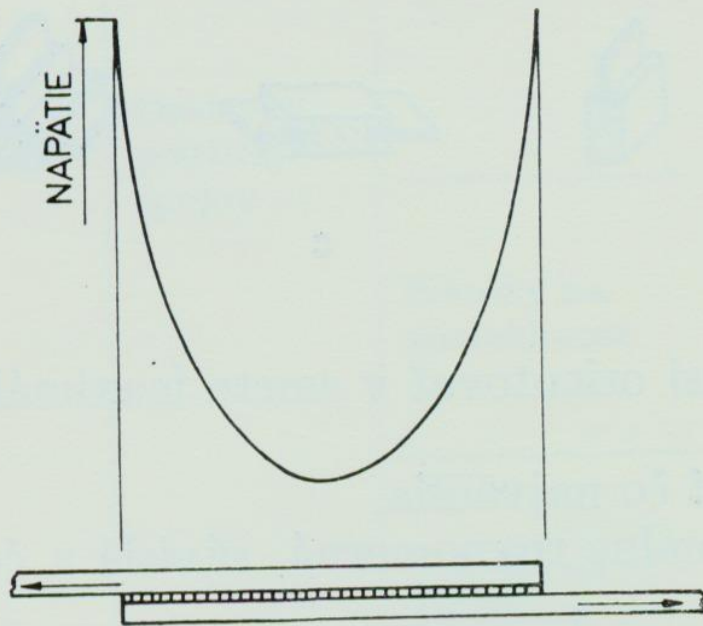
Tlakové zatížení

Namáhání loupáním

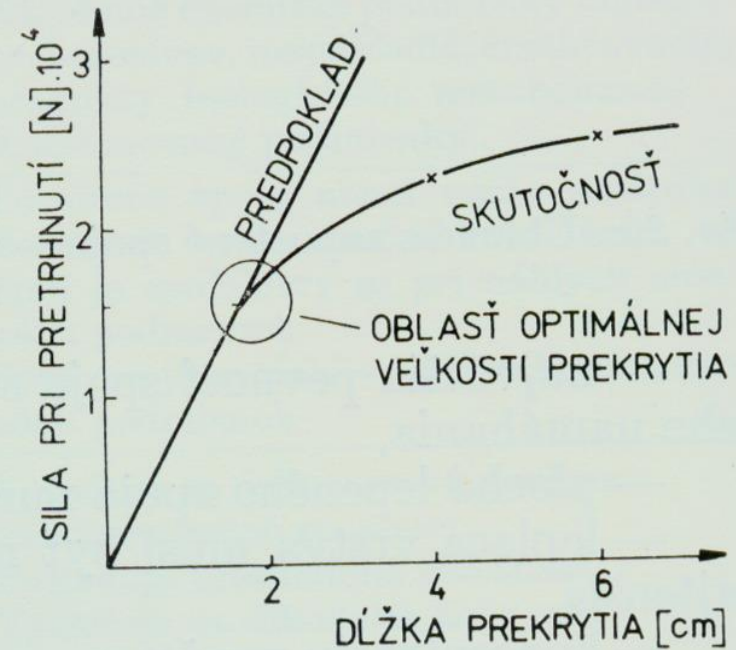
Namáhání štěpením



Překrytí spoje

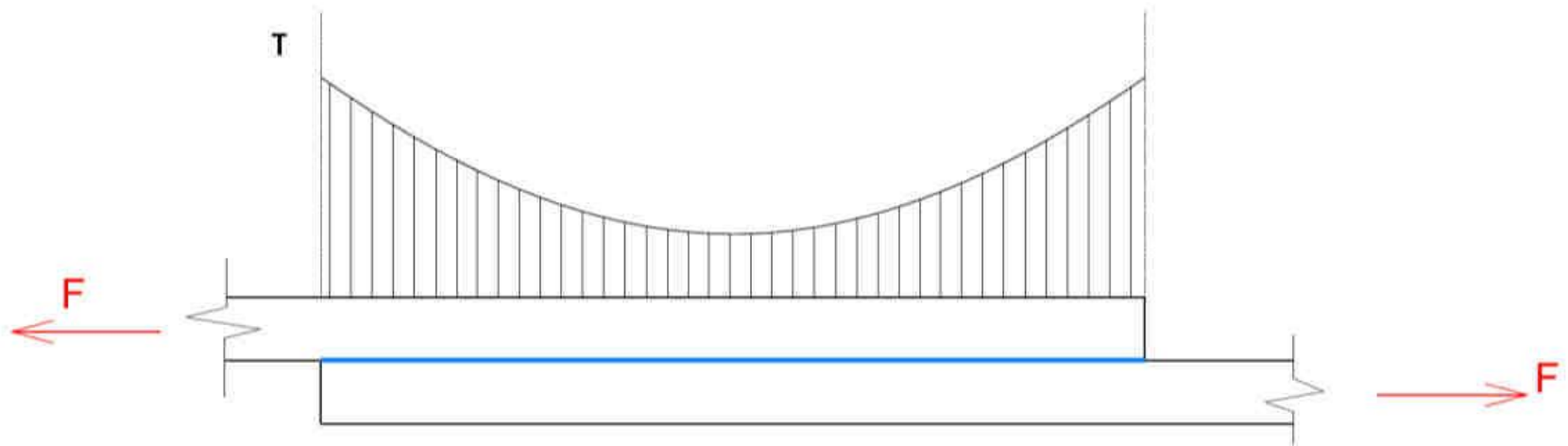


Obr. 21. Distribúcia napätí v prekrývanom spoji

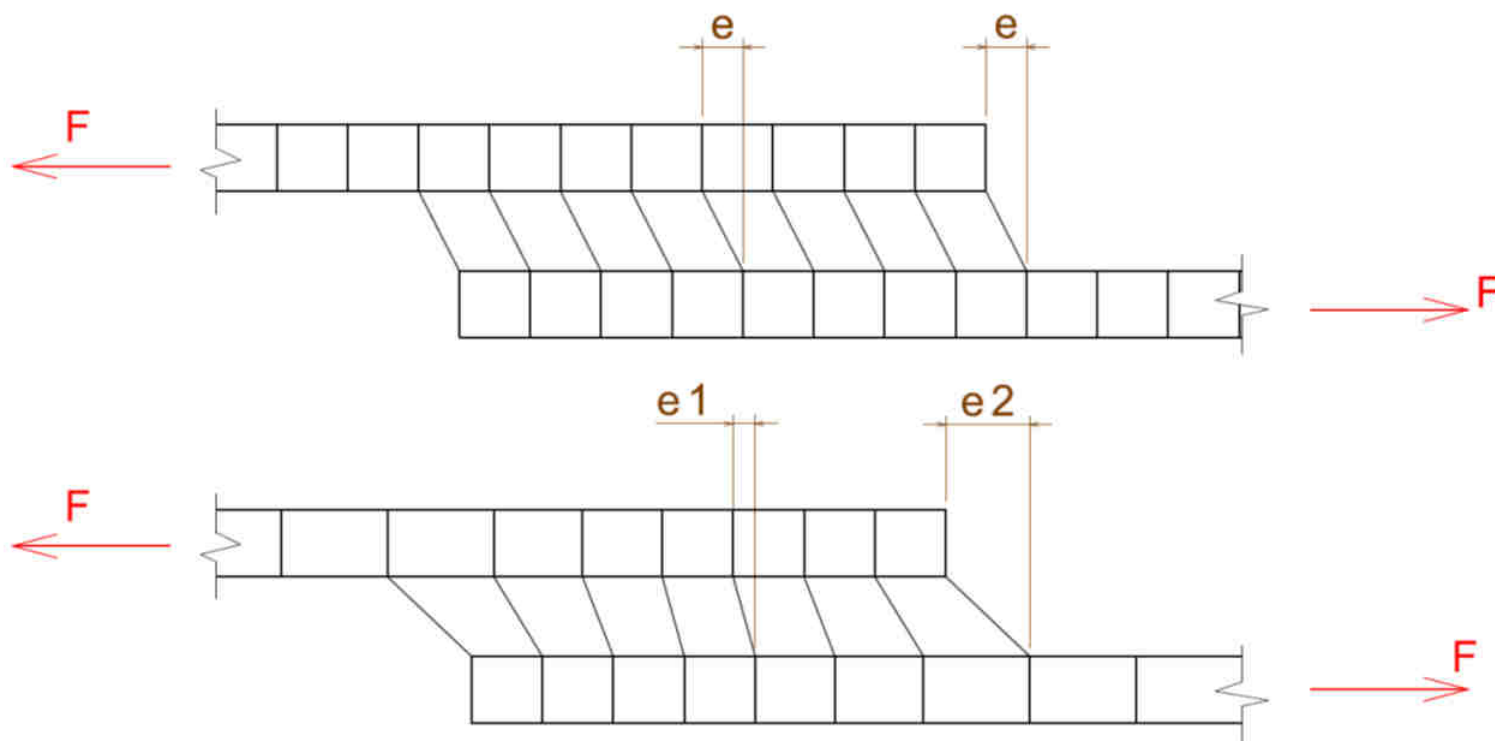


Obr. 22. Závislosť pevnosti spoja od dĺžky prekrytia

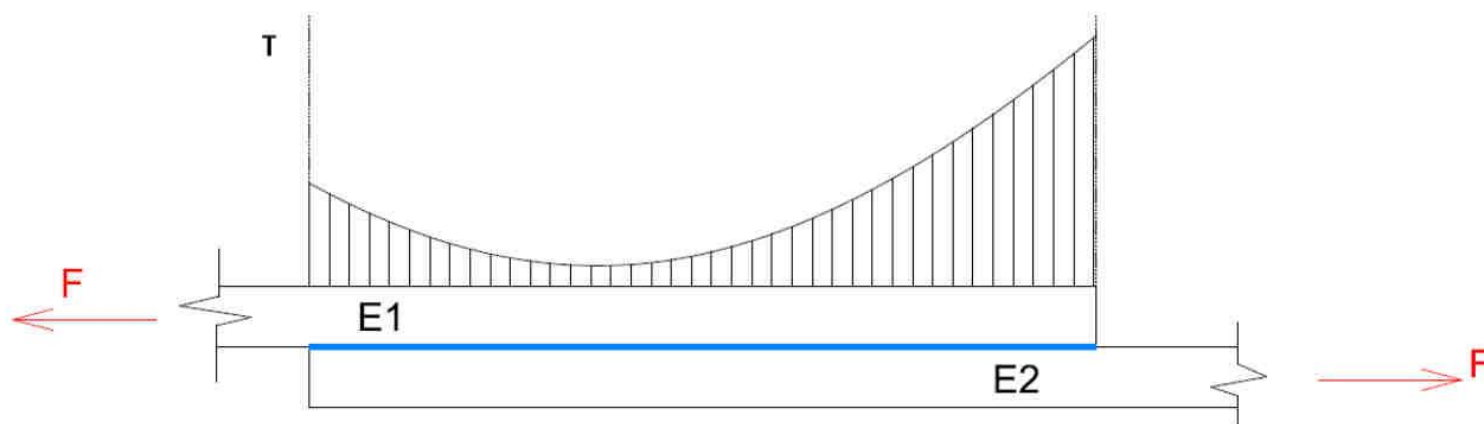
- ▶ Napětí v jednoduše přeplatovaném spoji je rozděleno nerovnoměrně, to je způsobeno zejména:
 - ▶ – Smrštěním lepeného spoje po vytvrzení
 - ▶ – Nerovnoměrnou deformaci adherendů
 - ▶ – Nesymetrickým namáháním lepeného spoje



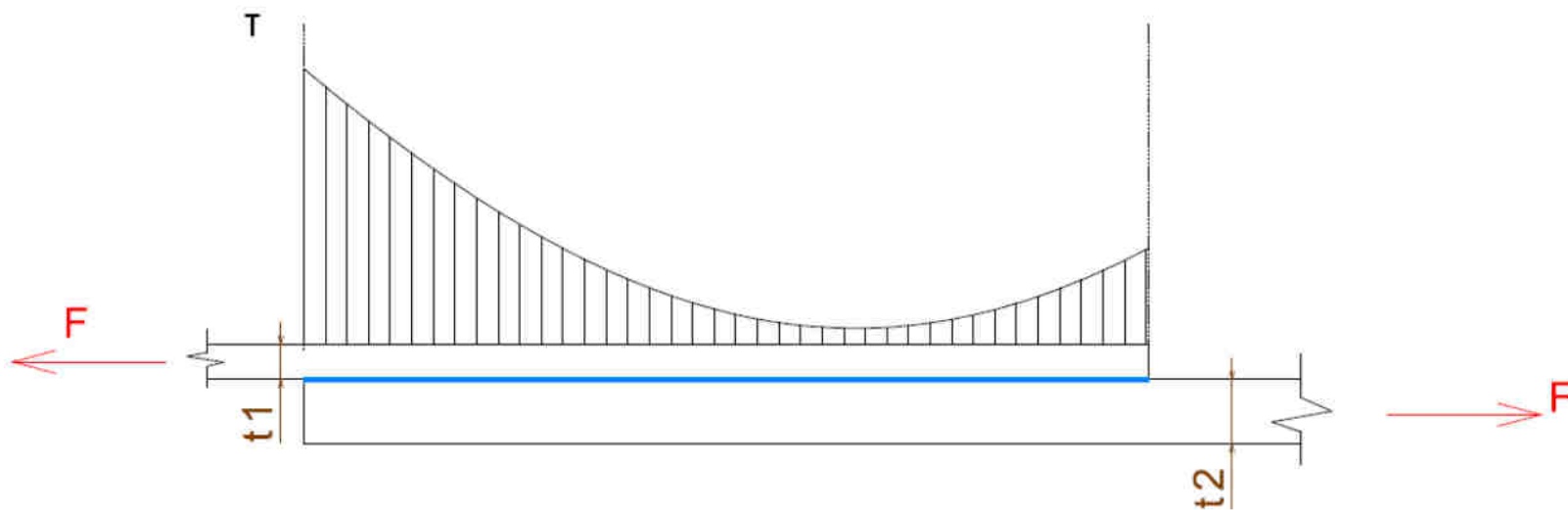
- Rozložení deformace jednoduše přeplátovaného lepeného spoje



- ▶ Adherend s vyšším modulem pružnosti vykazuje menší deformaci a k poruše spoje dojde při vyšších hodnotách napětí.
- ▶ Vliv rozdílné tuhosti adhérendu: $E1 > E2$



- Při konstantním zatížení je adherend s větší tloušťkou méně deformován než adherend s menší tloušťkou. Z důvodu menších deformací adherendu s větší tloušťkou je napětí v lepidle menší, lepidlo je méně deformováno a poškození spoje nastane při vyšším zatížení.



Typy spojů

Způsoby lepení



Tupý spoj



Spojení šikmo



Překládání

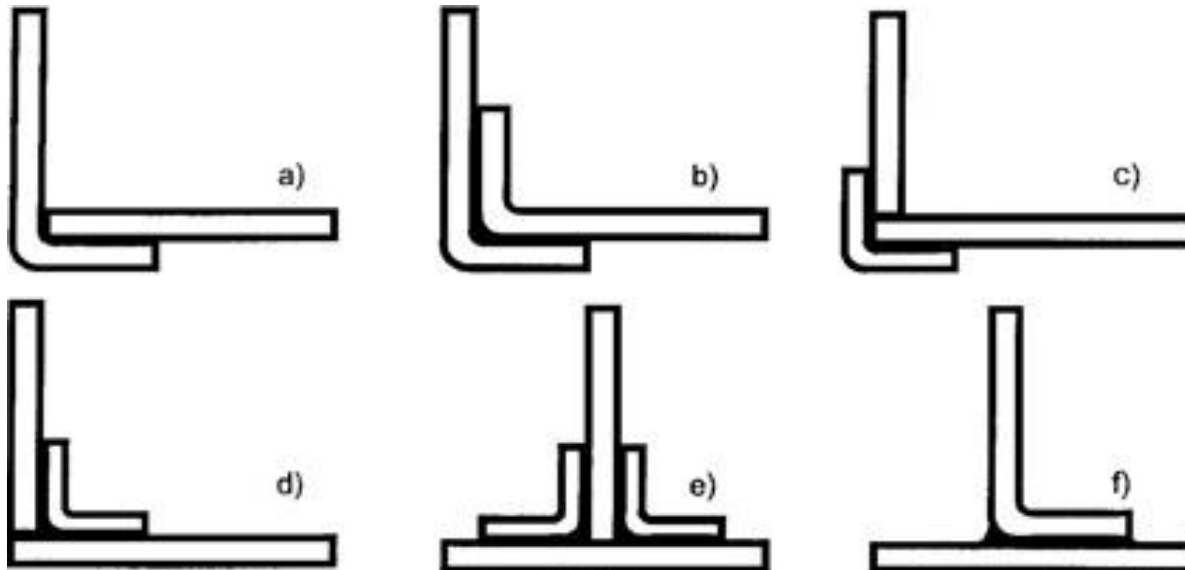


Vyztužení

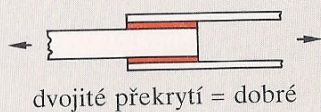
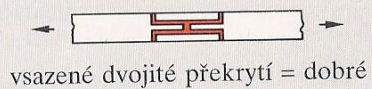
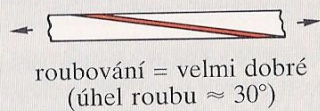
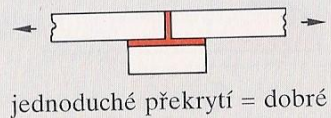
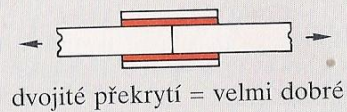
Účinnost spoje při způsobu lepení



Možnosti lepení koutových spojů

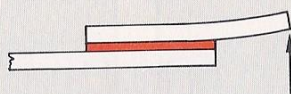


Tahově stříhová zatížení

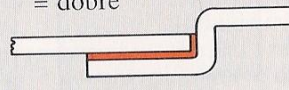


Síly působené loupáním

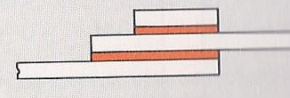
Zatížení na loupání
= špatné



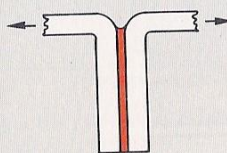
Přeměna na zatížení
tahem a tlakem
= dobré



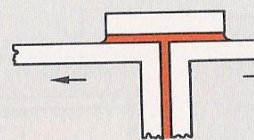
Zpevnění
= dobré



Zatížení loupáním
na tah
= velmi špatné



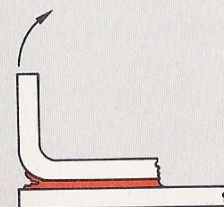
Přeměna na zatížení
tahem na stříh
= dobré



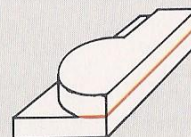
Zpevnění
= dobré



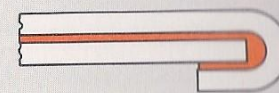
Zatížení na loupání
ve směru rolování
= velmi špatné



Zvětšit lepenou
plochu nebo

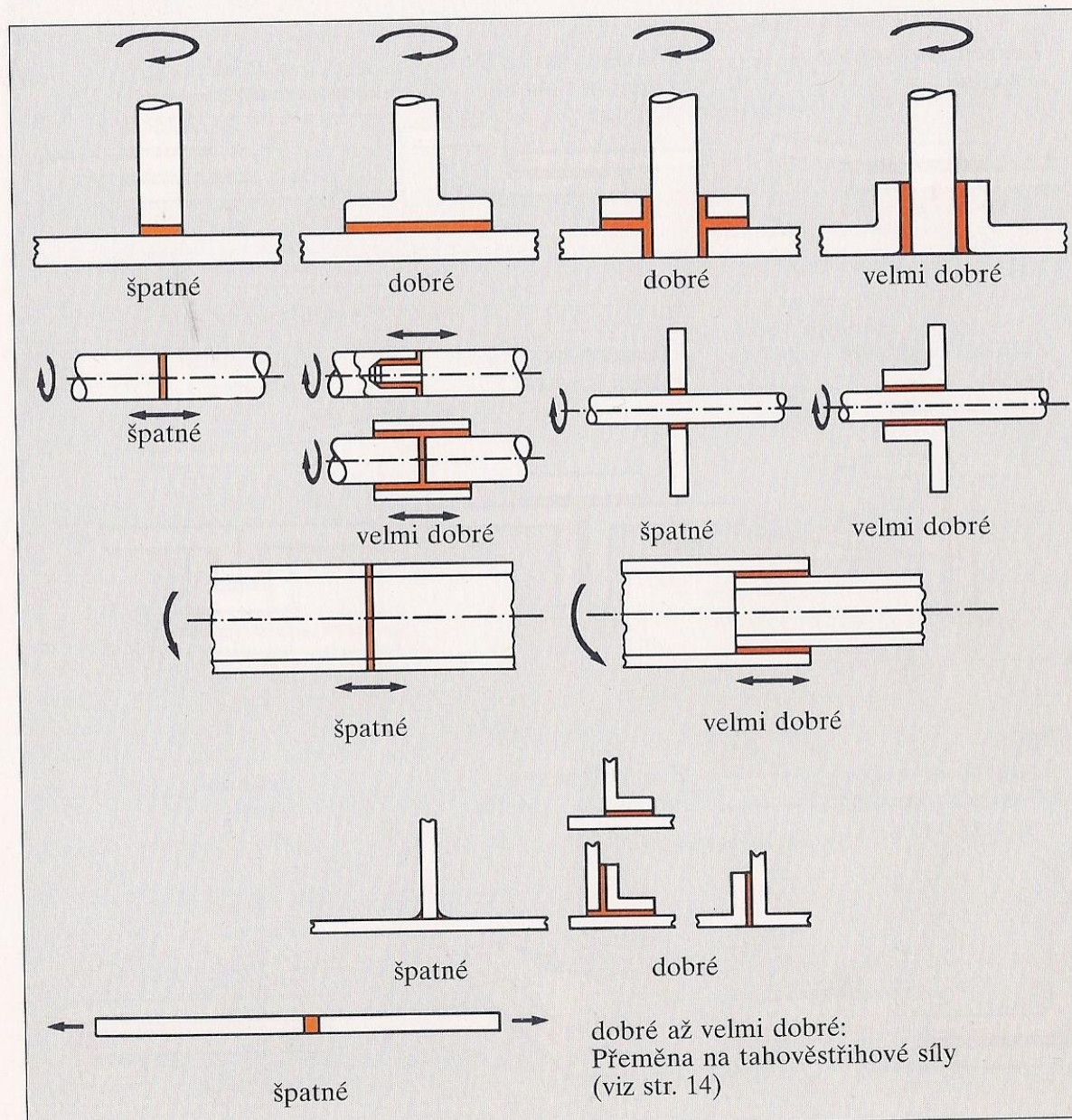


přehnout
okraj!



Příklady dalších zatížení

(Nutno dbát na maximální velikost lepených ploch)



- ▶ Do Guinnessovy knihy rekordů se zapsalo vteřinové lepidlo Scotch Weld PR 100 od 3M, které dokázalo po dobu jedné hodiny udržet metr nad zemí vysokozdvížný vozík o váze 8,1 tuny. Komisař Guinness World Records zaznamenal rekord v St. Paulu v americké Minnesotě. Zdroj:
https://hobby.idnes.cz/vterinove-lepidlo-se-zapsalo-do-knihy-rekordu-f44-/hobby-dilna.aspx?c=A120630_105004_hobby-dilna_bma
- ▶ Vozík visel na jeřábu pomocí ocelového válce o průměru pouhých sedm centimetrů (asi 38,5 cm²). Válec se skládal ze dvou částí slepených vteřinovým