

# Lepení materiálů

RNDr. Libor Mrňa, Ph.D.

- Princip
- Adheze
- Smáčivost
- Koheze
- Dělení lepidel
- Technologie lepení
- Volba lepidla
- Lepení kovů
- Zásady navrhování lepených konstrukcí
- Typy spojů

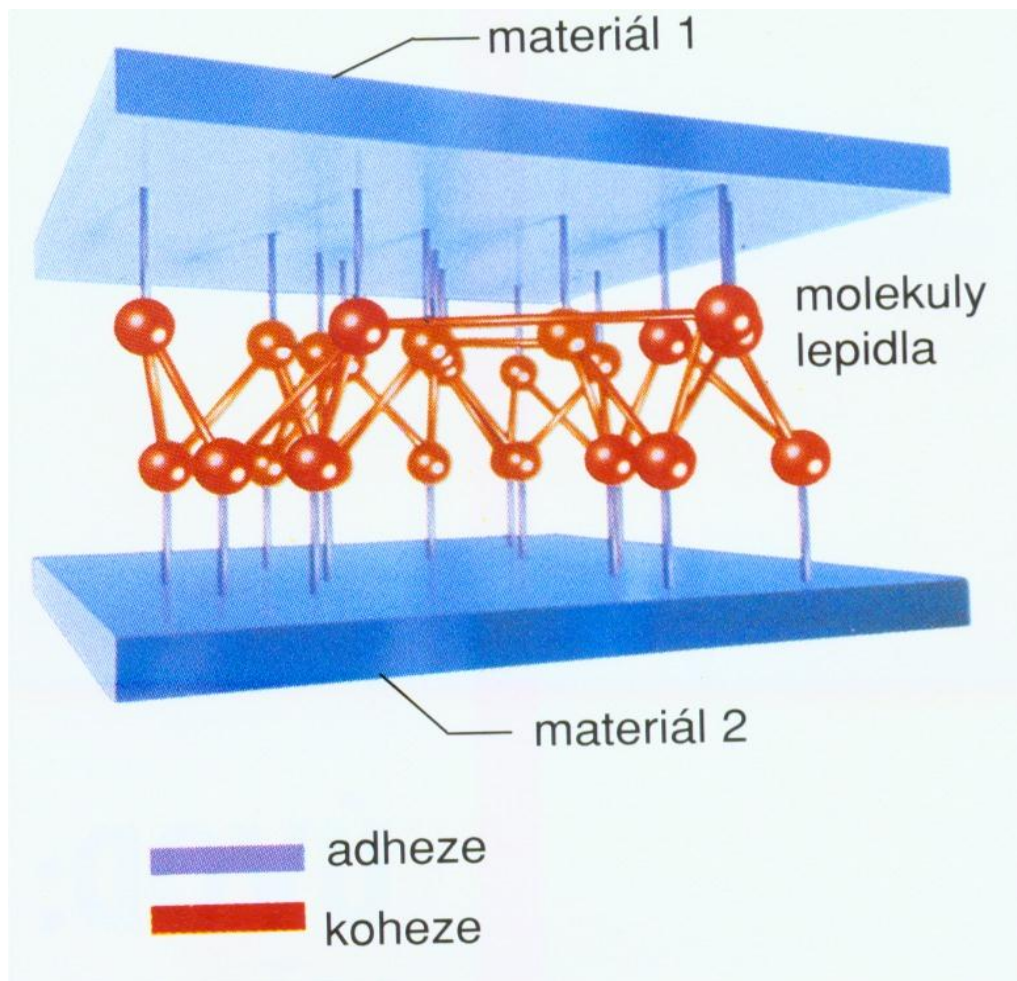
# Princip lepení

Lepení znamená spojení dvou různých ploch prostřednictvím lepidla, které má dobrou přilnavost k oběma plochám. Každé lepidlo je v okamžiku lepení v kapalném stavu.

Pevnost lepeného spoje závisí na čtyřech parametrech:

- Na přilnavosti lepidla k lepenému povrchu (**adheze**)
- Na soudržnosti hmoty lepidla – vnitřní pevnosti (**koheze**)
- Na **smáčivosti** lepeného povrchu lepidlem
- Na **pevnosti** (soudržnosti) lepeného materiálu

# Princíp lepení



# Adheze

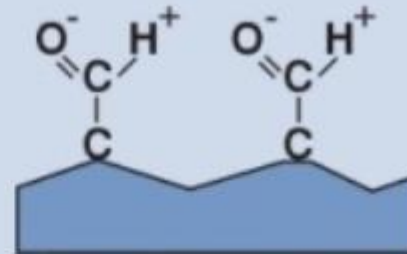
Existují dva druhy vazby mezi lepidlem a lepeným povrchem:

- *Mechanická vazba*. Uplatňuje se u pórovitých a členitých povrchů (u leštěných povrchů je zanedbatelná)
- *Chemická vazba*. Uplatňují se kovalentní vazby i van der Waalovy síly. Dobré je aktivovat povrch. Je důležité zvolit správné lepidlo reagující s povrchem.

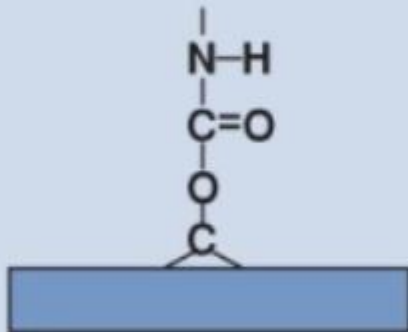
# Adheze



Mechanická vazba



Dipólová vazba

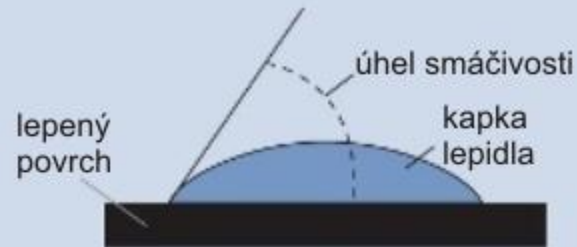







Chemická vazba



Difuze molekulový řetězců

# Smáčivost



$\alpha = 0^\circ$		dokonale smáčivý
$\alpha < 90^\circ$		velmi dobře smáčivý
$\alpha = 90^\circ$		smáčivý
$\alpha > 90^\circ$		částečně smáčivý
$\alpha > 180^\circ$		nesmáčivý

# Smáčivost

Souvisí s povrchovou energií látek, vyjádřenou jako *povrchové napětí*. Je-li povrchové napětí kapaliny nižší než povrchové napětí pevného povrchu, dojde k rozlití kapaliny po povrchu. Povrchové napětí se vyjadřuje v mN.m

<b>Polární látky</b>	Celulóza	<b>&gt;70 mN.m</b>
	Železo	60
	PVC	42
<b>Nepolární látky</b>	Polyetylen	25
	Polypropylen	31
	Silikon	<20
	teflon	<20
<b>Kapaliny</b>	Voda	73
	Voda+saponát	24 – 40
	Toluen	28
	Etanol	23

# Koheze

Pevnost lepidla (koheze) by měla být vyšší než adheze a pevnost lepeného materiálu.

Kohezní pevnost závisí na

- charakteru lepidla
- tepelném namáhání lepeného spoje



# Závěry

- Nejlépe se lepí porézní povrchy polárních materiálů (dřevo, papír)
- Povrchové napětí lepidla musí být vždy nižší než povrchové napětí lepeného povrchu, jinak nedojde k dokonalému smočení povrchu lepidlem.
- Špatně se lepí nepolární materiály, jako jsou plasty (PE, PP, ABS, silikon, PTFE). Jejich povrch je nutné nejprve aktivovat (chemicky, elektrickým výbojem – plazmatem)
- Nesoudržné materiály lze pevně lepit i měkkými lepidly (papír akrylátovým lepidlem)

# Dělení lepidel

- Reaktivní dvousložková (vytvrzují chemickou reakcí) – epoxidy, polyuretany, fenolformaldehydová
- Reaktivní jednosložková (vytvrzují vulkanizací vzdušnou vlhkostí), polyuretany, kyanoakryláty, silikony
- Rozpouštědlová (vytvrzují odpařením rozpouštědel) kaučuková, polyuretanová, nitrocelulósová, ..
- Vodná roztoková (vytvrzují odpařením vody) – škrobová, dextrinová, kaseinová..
- Vodná disperzní (vytvrzují odpařením vody a spojením jednotlivých částíček polymeru do souvislého filmu)
- Tavná (do lepidivého stavu se přivedou roztavením, vytvrzují ochlazením)

# Způsoby vytvrzování

- Anaerobní reakce (aktivací povrchovými ionty lepených kovů)
- UV zářením
- Vlhkostí prostředí
- Odpařením rozpouštědla
- Teplem
- Tužidlem s promísením

<b>REAKTIVNÍ LEPIDLA</b>					
<b>Druh lepidla</b>	<b>Princip vytvrzování</b>	<b>Vhodné pro lepení materiálů</b>	<b>Aplikační oblast</b>	<b>výhody</b>	<b>nevýhody</b>
<b>Epoxidová</b>	Chem. reakce mezi pryskyřicí a tužidlem	Dřevo, kovy, keramika, sklo, kůže, termosety	Auta, letadla, konstrukční lepení dřeva	Velmi vysoká pevnost ve smyku, teplotní a chemická odolnost	Nedostatečná pevnost v odlupování z hladkých ploch, nelepí termoplasty, pomalé tuhnutí; vysoká cena
<b>Polyuretanová dvousložková</b>	Chem. reakce mezi pryskyřicí a tužidlem	Dřevo, kovy, termosety, kůže, některé termoplasty, sklo	Strojírenství, spojování plastových folií, speciální lepení dřeva, dopravní prostředky, izolační materiály	Vysoká pevnost ve smyku i v odlupování, teplotní a chemická odolnost, adheze k obtížně lepitelným povrchům	Zdravotní škodlivost tužidla (isokyanáty), skladování tužidla v suchu; vysoká cena
<b>Polyuretanová jednosložková</b>	Vulkanizace vlivem vzdušné a povrchové vlhkosti	Dřevo, kovy, termosety, kůže, některé termoplasty, sklo	Strojírenství, spojování plastových folií, speciální lepení dřeva, dopravní prostředky, izolační materiály	Jako dvousložková polyuretanová, ale o něco nižší kvalita spoje	Zdravotní škodlivost lepidla (isokyanáty), skladování v suchu; vysoká cena
<b>Silikonová</b>	Vulkanizace vlivem vzdušné a povrchové vlhkosti	Spíše pružné těsnící hmoty (tmely) proti protékání vody	Sanitární technika, stavebnictví	Vysoká odolnost proti vodě, pružný spoj	Pomalé tuhnutí, nepříliš vysoká pevnost spoje
<b>Fenolformaldehydová</b>	Zesíťování působením silně kyselého katalyzátoru a odpaření vody	Velmi pevné a vodovzdorné konstrukční lepení dřeva, výroba termosetů (bakelitu)	Dřevozpracující průmysl	Velká pevnost spoje	Krátká životnost kapalného lepidla, hnědé zbarvení, zdravotní a ekologická škodlivost; tužidlo je korozivní
<b>Resorcinolformaldehydová</b>	Zesíťování působením práškového tužidla a odpaření vody	Vysoce pevné a vodovzdorné lepení dřeva	Dřevěné lodě, lepené střešní konstrukce	Výborná pevnost lepeného dřeva, tužidlo nezpůsobuje korozi kovů	Hnědé zbarvení, zdravotní a ekologická škodlivost, vysoká cena
<b>Močovinoformaldehydová</b>	Zesíťování působením slabě kyselého katalyzátoru	Tvrdé lepení dřeva	Výroba dřevotřísky, překližky a dýchání dřeva	Nizká cena	Malá odolnost spoje proti vodě, malá životnost kapalného lepidla, zdravotní a ekologická škodlivost
<b>Melaminofldehydová</b>	Zesíťování působením slabě kyselého katalyzátoru a odpaření vody	Tvrdé a vodovzdorné lepení dřeva, povrchové lepení dřeva, lamináty	výroba laminátů na dřevo, konstrukční vodovzdorné lepení dřeva	vysoká pevnost a vodovzdornost, bílý spoj	vysoká cena, relativně křehký spoj
<b>Kyanoakrylátová</b>	Vulkanizace vlivem vzdušné a povrchové vlhkosti	Okamžité lepení kovů, některých plastů, pryže, dřeva	Strojírenství, hobby	Bleskové lepení	Vysoká cena, příliš křehký a nepružný spoj, nedostatečná teplotní odolnost spoje

<b>ROZPOUŠŤEDLOVÁ</b>					
Druh lepidla	Princip vytvrzování	Vhodné pro lepení materiálů	Aplikační oblast	výhody	nevýhody
Chloroprenová	Odpaření rozpouštědel a vulkanizace kaučuku přítomnými aditivami	Kontaktní lepení kůže, pryže, některých plastů, kovů a dřeva	Obuvnictví, strojírenství, stavebnictví	Pružný a poměrně odolný spoj; snížená hořlavost suchého lepidla	Pomalá vulkanizace, nelepí termoplasty kromě PS a PVC
Polyuretanová	Odpaření rozpouštědel, eventuálně reakce s tužidlem, je-li použito	Kontaktní lepení kůže, pryže, některých plastů (PVC, PU, PS, PMMA), kovů, dřeva	Obuvnictví, strojírenství, dopravní prostředky	Dobrá adheze k plastům, pružný spoj	Vyšší cena, bez tužidla omezená teplotní odolnost
Kaučuková (z přírodního kaučuku)	Odpaření rozpouštědel	Kontaktní lepení kůže, pryže; pomocné lepení	obuvnictví	Výborná adheze k pryži, velmi pružný spoj, nízká cena	Problém stárnutí (křehnutí) lepidla ve spoji, malá koheze
Kaučuková (ze styrenbutadienového kaučuku – SBR)	Odpaření rozpouštědel	Kontaktní lepení kůže, pryže, PU pěny	Stavebnictví, výroba nábytku (čalounění)	Velká kontaktní lepivost, pružný spoj	Nepříliš vysoká koheze a teplotní odolnost
Polyvinylacetátová	Odpaření rozpouštědel	Transparentní lepení dřeva, papíru, textilu, skla a některých plastů (PS, PMMA)	Výroba nábytku, hračky, hobby	Čirý spoj, dobrá adheze k polárním povrchům	Vysoká cena, omezená chemická a tepelná odolnost spoje
Nitrocelulózová	Odpaření rozpouštědel	Transparentní lepení dřeva, papíru, textilu	hračky, hobby	Rychlé lepení, dobrá adheze ke dřevu a papíru	Vysoká cena, vysoká hořlavost kapalného i zaschlého lepidla

<b>VODNÁ ROZTOKOVÁ</b>					
Druh lepidla	Princip vytvrzování	Vhodné pro lepení materiálů	Aplikační oblast	výhody	nevýhody
Škrobová	Odpaření vody	Papír (etikety, pytle, trubice)	Papírenský průmysl	Nízká cena, dobrá lepivost papíru	Není vodovzdorné, snadné mikrobiální napadení (hnutí)
Dextrinová	Odpaření vody	Papír (etikety, pytle, trubice)	Papírenský a obalový průmysl	Nízká cena, dobrá lepivost papíru	Není vodovzdorné, snadné mikrobiální napadení (hnutí)
Kaseinová	Odpaření vody	Papír (etikety)	Obalový průmysl	Relativně rychlá lepivost papíru na nesavé povrchy	Není vodovzdorné, snadné mikrobiální napadení (hnutí), kolísavá cena
Klilivá (glutinová)	Ochlazení roztoku a odpaření vody	dřevo, kartonáž, povrchové úpravy papíru	hudební nástroje, obalový průmysl	poměrně rychlé lepení	poměrně drahé, snadné mikrobiální napadení, práce za tepla
Karboxymethylcelulózová	Odpaření vody	Papír (tapety)	Papírenský průmysl, hobby	Dlouhá otevřená doba	Není vodovzdorné, snadné mikrobiální napadení (hnutí)
Vodní sklo	Odpaření vody	Papír (trubice, pytle)	Papírenský průmysl	Nízká cena	Není vodovzdorné, příliš křehké



## VODNÁ DISPERZNÍ

Druh lepidla	Princip vytvrzování	Vhodné pro lepení materiálů	Aplikační oblast	výhody	nevýhody
Akrylátová	Odpaření vody a spojení částic do souvislého filmu	Papír, plasty (včetně PE, PP), textilie, dřevo	Obalový průmysl, stavebnictví, dopravní prostředky	Velké množství variant, vysoká odolnost proti UV záření a stárnutí, relativně vodovzdorné	Vysoká cena, omezená teplotní odolnost spoje
Styrenakrylátová	Odpaření vody a spojení částic do souvislého filmu	Keramika, měkčené PVC, beton	Stavebnictví (spíše přípravky do malt a betonu)	Nízká cena, vysoká odolnost proti UV záření a stárnutí	Horší adheze než akryláty, nižší pružnost
Polyvinylacetátová	Odpaření vody a spojení částic do souvislého filmu	Dřevo, papír, stavební keramika	Papírenský a dřevozpracující průmysl, knihy, stavebnictví	Nízká cena, pružný a někdy i vodovzdorný spoj, výborná adheze ke dřevu a papíru	Horší chemická odolnost než akryláty, menší odolnost proti povětrnosti, nelepi plasty
Kopolymerní vinylacetátová (EVA kopolymery, VeoVA kopolymery, PVAc-akrylátové kopolymery)	Odpaření vody a spojení částic do souvislého filmu	Upravený papír, plastové folie	Obalový průmysl, polygrafie, knihy	Přijatelné ceny, výborná adheze k papíru a lakovanému papíru, pružnost bez změkčovadel	Horší chemická odolnost než akryláty, menší odolnost proti povětrnosti, nelepi nepolární plasty
Kaučuková (z latexu přírodního kaučuku)	Odpaření vody a spojení částic do souvislého filmu	Textil, PU pěny, kůže, pryž	Obuvnictví, výroba nábytku (čalounictví)	Rychlý nárůst počáteční lepivosti, velmi pružný spoj	Zápach čpavku, malá životnost kapalného lepidla, stárnutí lepidla ve spoji
Kaučuková (ze styrenbutadienových o kaučuku)	Odpaření vody a spojení částic do souvislého filmu	Textil, papír	Povrchové úpravy papíru, výroba koberec (lepení rubové mřížky)	Nízká cena, možnost použít velký poměr plniv	Stárnutí lepidla ve spoji
Polyuretanová	Odpaření vody a spojení částic do souvislého filmu	Plastové folie, upravený papír, textil, PU pěny	Auta, obalový průmysl, výroba čalounění	Výborná adheze k mnoha materiálům, možnost použít tužidla, chemická a teplotní odolnost	Vysoká cena; někdy nutná drahá nanášecí technologie

## TAVNÁ

Druh lepidla	Princip vytvrzování	Vhodné pro lepení materiálů	Aplikační oblast	výhody	nevýhody
EVA kopolymery	Ochlazení taveniny	Dřevo, papír, upravený papír, skoro všechny plasty, textilie, PU pěny	Výroba nábytku, obalový průmysl, knihářství, auta	Velmi rychlé lepení, dobrá adheze k mnoha materiálům (včetně PE, PP)	Vyšší ceny, nakladné nanášecí zařízení, omezená teplotní a chemická odolnost spoje
APAO polymery	Ochlazení taveniny	pěnové hmoty, plasty	čalounění, dopravní prostředky	dlouhá otevř. Doba, vyšší tepl. Odolnost	mirně vyšší cena
Polyuretany	Ochlazení taveniny + zesíťování vzduš. Vlhkostí	plasty, pěnové hmoty, pryž	dopravní prostředky	velmi vysoká tepl. A chem. Odolnost, nízká aplikační teplota, delší otevř. Doba	velmi vysoké ceny, speciální aplikační zařízení bez přístupu vzduchu
Polyamidy	Ochlazení taveniny	Kůže, pryž, plasty	Obuvnictví, dopravní prostředky	Velmi rychlé lepení, dobrá adheze k mnoha materiálům, vysoká tepl. Odolnost	Velmi vysoké ceny, vysoká aplikační teplota

# Příprava lepených ploch

- Odmaštění
- Mechanická úprava
- Chemická úprava
- Ionizační úprava (aktivace plazmou)

# Lepení kovů – příprava povrchů

Tabulka 1: Příklady použití povrchové úpravy kovových materiálů před lepením.

<b>Materiál</b>	<b>Odmašťovadlo</b>	<b>Povrchová úprava materiálu před lepením</b>	<b>Vlastní lepení po povrchové úpravě materiálu do oxidace materiálu</b>
<b>Hliník a jeho slitiny</b>	MEK, aceton, IFA	Broušení smirkem zrnitosti 320–400 anebo pískování oxidem hlinitým anebo chemické moření (vysoká pevnost).	do 1 hod.
<b>Litina</b>	MEK, aceton, IFA	Broušení smirkem zrnitosti 220–320, uhlová bruska anebo pískování.	do 15 min.
<b>Měď</b>	MEK, aceton, IFA	Broušení smirkem zrnitosti 400.	do 15 min.
<b>Konstrukční a nerezové oceli</b>	MEK, aceton, IFA	Broušení smirkem zrnitosti 320–400 anebo pískování.	ocel do 1 hod. nerez do 6 hod.
<b>Titan</b>	MEK, aceton, IFA	Broušení smirkem zrnitosti 320–400 anebo pískování.	do 15 min.
<b>Hořčík</b>	MEK, aceton, IFA	Jemným pilníkem zdrsnit povrch.	do 15 min.
<b>Mosaz</b>	MEK, aceton, IFA	Broušení smirkem zrnitosti 320–400.	do 15 min.
<b>Zinek</b>	MEK, aceton, IPA	Broušení smirkem zrnitosti 400.	–
<b>Cín</b>	MEK, aceton, IFA	Broušení smirkem zrnitostí 400.	do 15 min.
<b>Pochromované kovy</b>	MEK, aceton, IFA	Broušení smirkem zrnitosti 400.	–
<b>Poniklované kovy</b>	MEK, aceton, IFA	Vrstvu niklu mechanicky anebo chemicky odstranit.	–



# Technologie lepení

## **Ruční nános:**

- Pistolí (rozpuštědlová, disperzní)
- štětec nebo stěrka (rozpuštědlová, disperzní, reaktivní)
- Kartuší (kyanoakryláty, polyuretany, silikony)

## **Strojní nános:**

- Stříkání
- Válečky a kotouče
- dávkovače

# Volba lepidla

## **Dle chemické podstaty lepených materiálů**

- Polární plasty (PET, PVC, PU pěny) – rozpouštědlová, tavná, disperzní
- Nepochární plasty (PE, PP) – akrylátové, tavné, kyanoakrylát (nutná aktivace povrchu)
- Kovy – epoxidy, chloropreny, kyanoakryláty
- Dřevo – disperzní, rozpouštědlová
- Papír – disperzní, kasein...

# Chyby při lepení

- nízká pevnost – (nepravý spoj) – nedostatečná příprava, odmaštění, oxidická vrstva. Kontaktní vrstva není mezi Z.M. a lepidlem ale mezi tuky, oxidy atd..
- nesprávný výběr materiálu – špatná snášivost, negativní reakce mezi lepidlem a Z.M.
- bubliny v lepící vrstvě – nesprávné nanášení, nerovnost povrchu, plynné reakce lepidla a Z.M.
- nevhodná tloušťka lepidla – optimální spára 0,1mm
- nízká životnost – hlavní příčinou jsou degradační pochody způsobené UV zářením a u dvousložkového lepidla korozní napadení spoje (korozi způsobuje zbytky lepidla), vliv agresivních látek, chyby vzhledu, funkční nedostatky, ... .

# Typy spojů



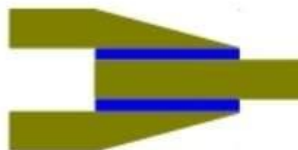
Tupý



Šikmý



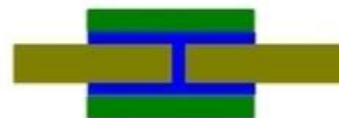
Překlátovaný



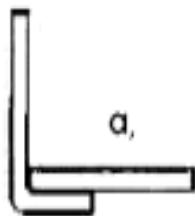
Dvojitý překlátovaný



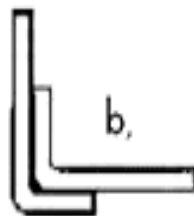
Vyztužený páskem



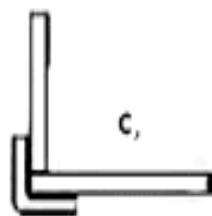
Dvojitě vyztužený



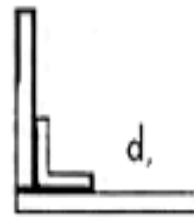
a,



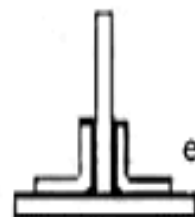
b,



c,



d,



e,



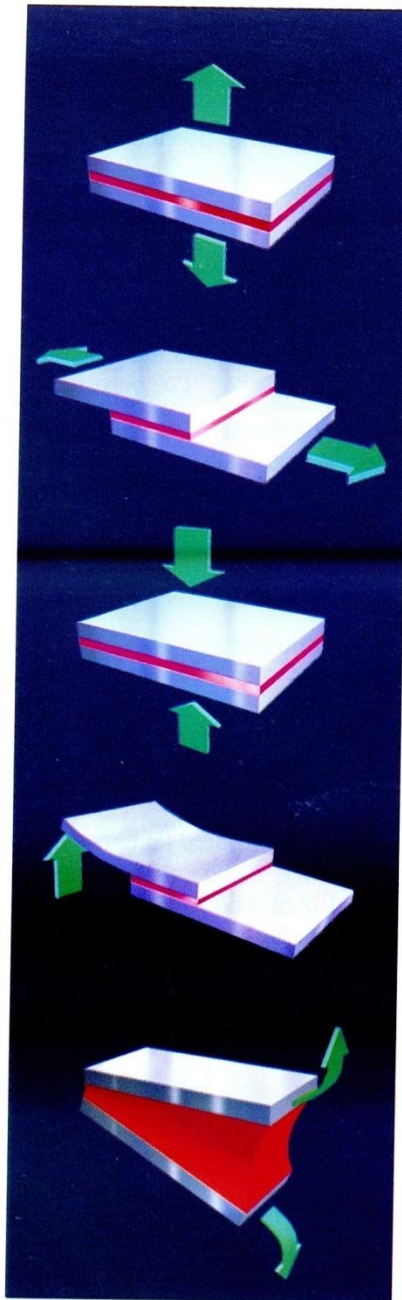
f,

Příklady konstrukčního provedení koutových spojů

# Zásady navrhování lepených konstrukcí

- Lepenou konstrukci je nutné rozdělit na části co nejméně složité a vhodné k lepení.
- Při lepení je třeba přísně dodržet technologický předpis a vyhnout se dvojitému lepení, které je při montáži vystavené odlupujícím silám.
- Na lepení se nehodí dílce s velikým a složitým zakřivením. Nejběžnější jsou jednoduše přeplátované spoje.
- Lepší výsledky z hlediska pevnosti se dosahují u tenčích plechů. Spoje je třeba situovat tak, aby byly namáhány ve smyku a ne na odlupování.

# Typy namáhání



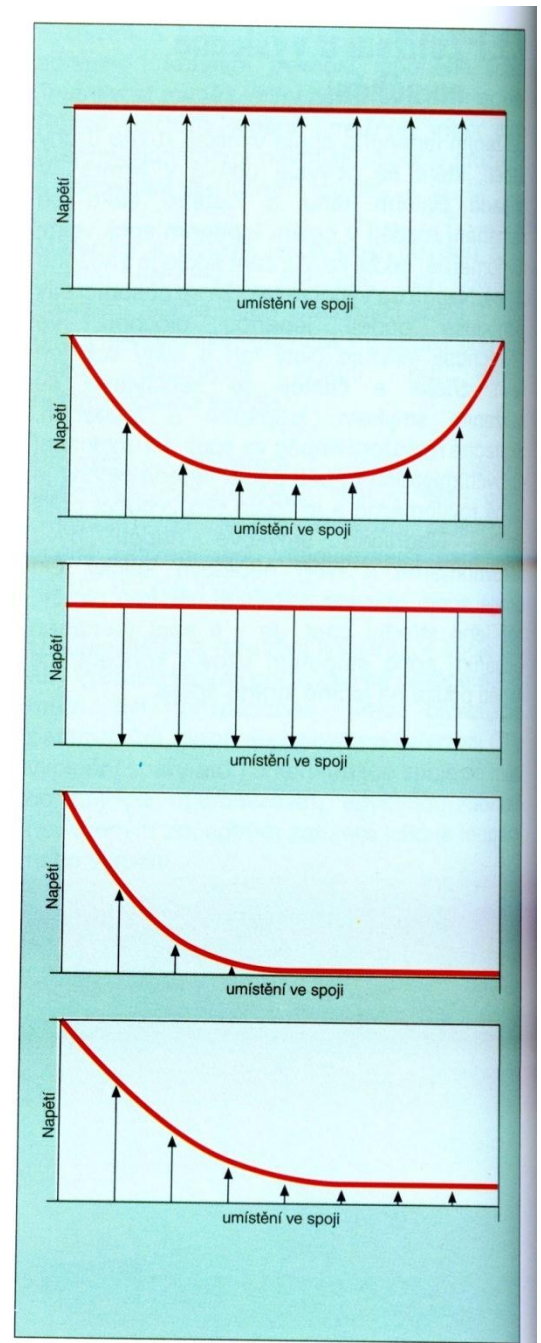
Namáhání tahem

Namáhání smykem







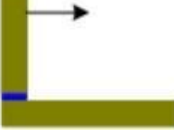
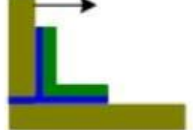

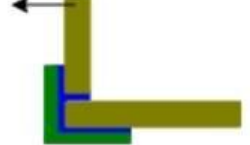


Tlakové zatížení

Namáhání loupáním

Namáhání štěpením



# Volba spoje dle namáhání

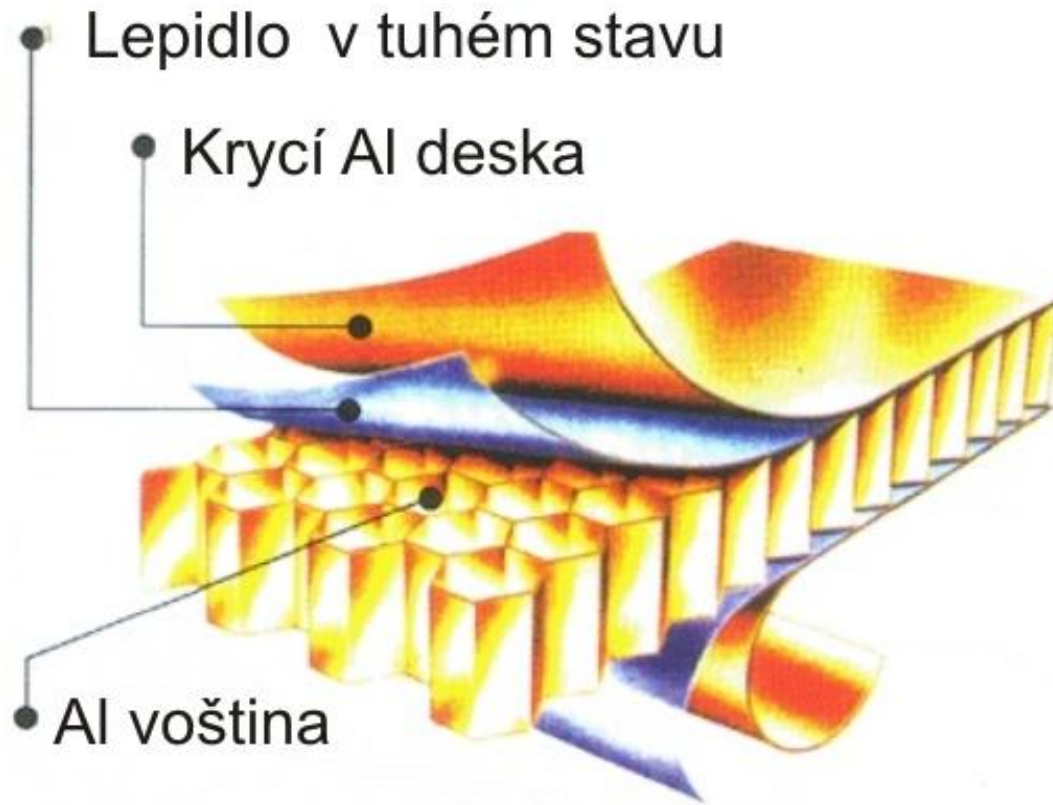
Návrh lepeného spoje	
Špatně	Dobře
	
	
	
	
	
	

# Příklady lepení





# Voštinové struktury



# Příklady voštin



# Havárie motoru A380

