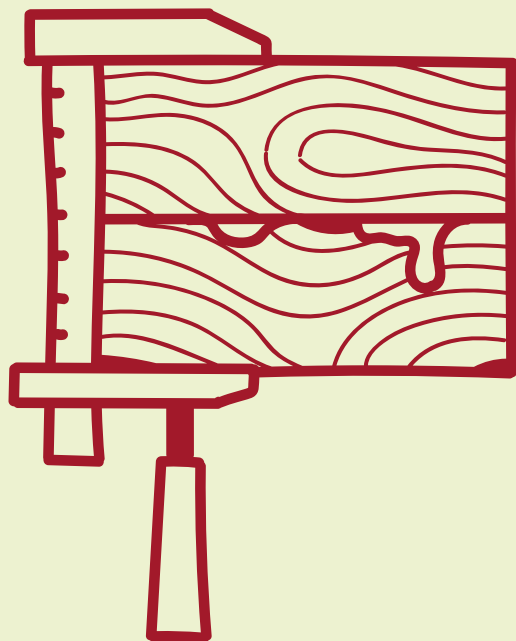


Lepidla v dřevozpracujícím průmyslu



2025

Ing. Ondřej Dvořák, Ph.D.

Ing. Lukáš Sahula

doc. Monika Sarvašová Kvietková, Ph.D.



Lepidla v dřevozpracujícím průmyslu

Ing. Ondřej Dvořák, Ph.D.

Ing. Lukáš Sahula

doc. Monika Sarvašová Kvietková, PhD.

OBSAH

Úvod.....	4
1. Základy historie lepení.....	5
1.1. Lepidla a nátěrové hmoty.....	6
1.2. Základní terminologie.....	7
1.2.1. Adheze.....	7
1.2.2. Koheze.....	10
1.2.3. Adherend.....	10
1.2.4. Často vyskytující se pojmy.....	10
2. Teorie lepení.....	11
2.1. Mechanická adheze.....	11
2.2. Elektrostatická teorie.....	12
2.3. Smáčivost, povrchová volná energie, termodynamická teorie či adheze.....	15
2.4. Teorie difuze.....	16
2.4.1. Interpenetrating Polymer Network (IPN).....	17
2.4.2. Teorie chemické (kvalentní) vazby.....	17
2.5. Acidobazické teorie a koncepce.....	18
2.6. Teorie slabé mezní vrstvy (WBL).....	19
2.7. Speciální mechanismy lepidel na bázi elastomeru.....	20
3. Lepidla v dřezozpracujícím průmyslu.....	21
3.1. Lepidla z přírodních surovin.....	22
3.1.1. Lepidla živočišného původu.....	22
3.1.2. Lepidla rostlinného původu.....	24
3.1.3. Lepidla s minerálními pojivy.....	25
3.2. Syntetická lepidla.....	26
3.3. Lepidla nereaktivní.....	27
3.3.1. Roztoková lepidla.....	27
3.3.2. Disperzní lepidla.....	28
3.3.3. Tavná lepidla.....	29
3.4. Lepidla reaktivní.....	32
3.4.1. Termoreaktivní lepidla.....	32
3.4.2. Termoplastická lepidla.....	37
3.5. Lepivé tmely.....	38
3.6. Předpoklady pro dobré výsledky při lepení.....	38
3.6.1. Správná volba lepidla požadavky na lepidla.....	39
4. Testování lepidel.....	40
4.1. Zkoušky všeobecných vlastností.....	40
4.2. Zkoušky fyzikálních vlastností.....	40
4.3. Zkoušky chemických vlastností.....	41
4.4. Zkoušky lepených spojů.....	41
4.5. Hodnocení pevnosti lepeného spoje.....	43
5. Zdroje.....	45

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek 1 Princip lepeného spoje.....	6
Obrázek 2 Adheze – průřez lepenou spárou.....	7
Obrázek 3 Vztah mezi adhezí a lepeným materiálem.....	7
Obrázek 4 Schéma mechanického blokování	11
Obrázek 5 Mechanická vazba (zámek) lepidla s povrchem.....	12
Obrázek 6 Schématické znázornění tvorby adhezí vazby připisované přenosu náboje z elektropozitivního materiálu na elektronegativní materiál	12
Obrázek 7 Interakce mezi elektricky nabitými částicemi. F_1 a F_2 jsou síly interakce mezi dvěma náboji (q_1 a q_2) a vzdálenost (r) mezi nimi	13
Obrázek 8 Druhy smáčivosti	16
Obrázek 9 Schéma dle difúzní teorie adheze: (a) dva kompatibilní materiály jsou přivedeny do blízkého kontaktu (b) a vytvoří mezifázi (c), kde se oba materiály promíchávají a/nebo splétají jeden s druhým	17
Obrázek 10 Hydrolýza organofunkčního silanu a reakce hydrolyzovaného organosilanu s hydroxylovým funkčním substrátem.....	18
Obrázek 11 Charakteristika mechanických a chemických slabých mezních vrstev.....	19
Obrázek 12 Chování lepidla (lepkavého) lepidla při lepení dvou kusů dřevěných lepidel.....	20
Obrázek 13 Lepidlo z kostního kluhu ve formě granulí	23
Obrázek 14 Kaseinové lepidlo ve formě prášku	23
Obrázek 15 Proces tuhnutí tavného lepidla	30
Obrázek 16 Typický cyklus účinnosti tavného lepidla po roztavení.....	30
Obrázek 17 Fordův výtokový pohárek a vpravo Fordův pohárek pro měření viskozity	40
Obrázek 18 Zkoušení vzorky	43
Tabulka 1 Rozdělení lepidel podle tříd trvanlivosti ČSN EN 204.....	37
Tabulka 2 Ukázky z norem ČSN EN 205 a ČSN EN 302-1	42
Tabulka 3 Třídy trvanlivosti versus klimatické podmínky	43
Tabulka 4 Požadavky na lepidla podle pevnosti lepeného spoje.....	44

ÚVOD

Lepidla hrají klíčovou roli ve dřevozpracujícím průmyslu, kde jsou nezbytná pro výrobu široké škály produktů od nábytku až po konstrukční prvky. Tento text se zaměřuje na význam a aplikaci lepidel ve dřevozpracujícím průmyslu. Dřevozpracující průmysl je dynamický a inovativní sektor, který se neustále vyvíjí a zdokonaluje. Jedním z klíčových aspektů tohoto vývoje je použití lepidel. Lepidla jsou nezbytná pro spojování dřevěných dílů, a to jak v malém měřítku, například při výrobě nábytku, tak v velkém měřítku, například při konstrukci budov. Lepidla ve dřevozpracujícím průmyslu jsou velmi rozmanitá. Existuje mnoho různých typů lepidel, každé s vlastními specifickými vlastnostmi a aplikacemi. Některá lepidla jsou ideální pro spojování velkých dřevěných dílů, zatímco jiná jsou vhodnější pro detailní práce. Výběr správného lepidla pro konkrétní aplikaci je klíčový. To vyžaduje porozumění vlastnostem a výhodám různých typů lepidel, stejně jako pochopení specifických požadavků daného projektu. Tento text poskytne čtenářům podrobný přehled o lepidlech ve dřevozpracujícím průmyslu. Budeme se zabývat různými typy lepidel, jejich vlastnostmi a aplikacemi, stejně jako nejnovějšími trendy a inovacemi v oblasti lepidel pro dřevozpracující průmysl.

V dnešní době je důležité zdůraznit, že lepidla ve dřevozpracujícím průmyslu nejsou jen prostředkem k dosažení pevných spojů. Jsou také nástrojem pro zlepšení kvality a trvanlivosti výrobků. Například některá lepidla mohou zlepšit odolnost dřeva vůči vlhkosti a hmyzu, což prodlužuje životnost výrobku. Kromě toho vývoj v oblasti lepidel také otevírá nové možnosti pro dřevozpracující průmysl. Například výzkum se nyní zaměřuje na vývoj ekologicky šetrných lepidel, které by mohly nahradit tradiční lepidla na bázi formaldehydu. Tyto inovace by mohly vést k výrobě dřevěných výrobků, které jsou nejen pevné a trvanlivé, ale také šetrné k životnímu prostředí. V neposlední řadě lepidla také hrají roli při vytváření estetických a designových prvků ve dřevozpracujícím průmyslu. Lepidla mohou být použita k vytvoření hladkých a bezšvových spojů, které zvyšují vizuální přitažlivost výrobku.

Tato publikace je navržena tak, aby oslovila širokou skupinu čtenářů, včetně studentů středních odborných škol zaměřených na zpracování dřeva, studentů vysokoškolských programů dřevařského zaměření a technických pracovníků v dřevařském průmyslu. To znamená, že obsahuje informace a učební materiály, které mohou být prospěšné a relevantní pro různé úrovně vzdělání a profesního zázemí. Tím pádem může přispět k šíření znalostí a dovedností v oblasti lepení dřeva a materiálů na bázi dřeva.

1. ZÁKLADY HISTORIE LEPENÍ

Historie lepení je stará jako lidstvo samo. První lepidla byla vyrobena z přírodní gumy a pryskyřice. První prokázané použití lepidla pochází z doby 4000 př. n. l., kdy archeologové studováním pohřebních míst prehistorických kmenů našli rozbitou keramiku, která byla opravena pryskyřicemi. Asfaltové lepidlo bylo použito již před 6 tis. lety v soškách v babylonských chrámech, Gótové používali směs vaječných bílků a limetky pro lepení mincí na dřevo. První novodobé komerční lepidlo pochází z Holandska z roku 1690. Vývoj polyuretanových lepidel lze vysledovat do roku 1937, kdy průkopník Otto Bayer zahájil kombinaci polyesterpolyolů s di- a polyisokyanáty. Uretanové prepolymery byly jako první použity na počátku roku 1950 pro lepení kůže, dřeva, tkaniny a gumových kompozitů. Následoval široký rozvoj a používání v mnoha odvětvích, ten byl částečně omezen v roce 1990 z důvodu poškozování ozónové vrstvy. Výrobu lepidel živočišného původu znali již staří Egypťané. Jako pojivo pro zdobení dřevěných rakví pigmenty se využívala směs křídý a klihu. Sošky, které byly nalezeny v Babylóně, měly oči ze slonoviny zalepeny do očních důlků.

Ve starověku se k lepení používal albumin ze zvířecí krve, dextrin z papyru a glutin, který se získával vařením kostí, kůží a zbytků ryb. Dle Plinia byl hojně využíván také rybí klič. K utěsnění lodí používali Římané dřevěné klíny společně s dehtem a včelím voskem. Také vaječné bílky našly své uplatnění v technologii lepení. Zejména při lepení zlatých fólií na papír. Vaječný bílek byl zjištěn v lepidle, kterým jsou přilepeny staré římské mince k víku dubové skříňky, která byla objevena roku 1886 ve Wroclawi. Jihoameričtí domorodci patří mezi národy, které zůstaly na nižším stupni kulturního vývoje a používají včelí vosk k lepení per a utěšňování nádob i v dnešní době.

První plantáže surovin pro výrobu klihu byly zakládány v Holandsku od roku 1690. Kolem roku 1700 vznikly první továrny na výrobu rybiho klihu v Anglii. Asi v roce 1750 byl vydán v Británii první patent na výrobu rybiho lepidla. Patenty poté byly rychle vydány i pro lepidla vyráběná z přírodního kaučuku, zvířecích kostí, ryb, škrobu, mléčné bílkoviny (kasein). Do roku 1900 vyrostlo mnoho továren vyrábějící lepidlo z uvedených materiálů.

Další milník v oblasti vývoje lepidel i lepení představoval objev nitrace celulosy v letech 1845 až 1846. První továrna na celuloid byla v Americe otevřena v roce 1872. Počátky průmyslového využívání syntetických lepidel se datují až do roku 1912, kdy byl na obuvnické výstavě v Budyšině (Bautzen, Německo) představen propracovaný výrobní postup lepení obuvi.

Velká změna v oblasti výroby lepidel nastala před druhou světovou válkou, kdy se ve velké míře začal rozvíjet průmysl s výrobou plastických hmot. Vše začalo v roce 1910, kdy byl objeven bakelit. Poté se na trhu objevily syntetické pryskyřice, které měly daleko lepší účinky i vlastnosti než do té doby používaná přírodní lepidla. Objev fenolformaldehydové pryskyřice představoval další mezník v historii techniky lepení. Dále ve 20., 30. a 40. letech bylo syntetizováno mnoho nových plastů a pryží. Lepidlo pod názvem Redux začala využívat společnost de Havilland ve Velké Británii při výrobě letounu typu DH - 103 Hornet. Díky lepení duralu na překližku došlo k výraznému snížení množství použitého dřeva na sklápěcích křídlech letounu. Lepení mělo takový úspěch, že bylo použito i u prvního poválečného letounu firmy de Havilland DH - 104 Dove. Firma vyrobila celkem 528 kusů tohoto letounu.

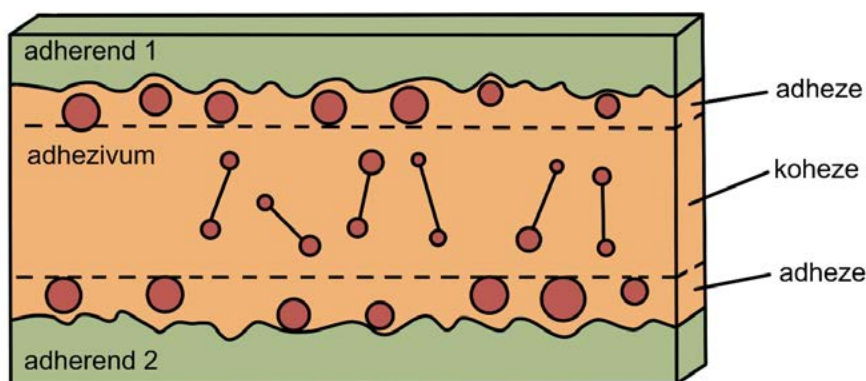
Letecký průmysl v USA začal lepení používat až roku 1941. Do roku 1943 bylo slepeno fenolkaučukovým Cycleweldem 50 000 různých prvků, nejčastěji pro stíhací letouny. Díky letectví se tedy technologie lepení stává jednou z nejvyužívanějších metod pro rychlé, snadné a pevné spojování konstrukčních materiálů. Jsou lepeny stále větší a složitější prvky konstrukce letounů. Díky velkému kvalitativnímu vývoji se lepení začíná využívat i u menších letounů. V současnosti jsou lepidla vyráběna přesně podle požadavků odběratele a jen těžko by se dnes hledal obor, kde by se nepoužívala. Navzdory jejich rozsáhlé historii mají stále co nabídnout a mají vysokou perspektivu do budoucna.

S prudkým rozvojem vědy a techniky se téměř ve všech průmyslových odvětvích dostávají do popředí i systémy spojování nejrůznějších materiálů pomocí lepidel. Mezníkem v používání lepidel byl vývoj syntetických lepidel, epoxidových, polyvinylacetátových a různých typů modifikovaných syntetických lepidel, jakož i kaučukových roztokových lepidel na bázi speciálních syntetických elastomerů (Peterka 1980). Poslední roky jsou charakterizovány rychlým rozvojem používání lepených spojů v strojírenském, automobilovém i leteckém průmyslu, ve stavebnictví, v dřevoprůmyslu a v dalších odvětvích. Používání lepidel znamená nejen určité technologické výhody, ale zejména

poměrně velký ekonomický efekt v uvedených odvětvích, ve kterých se spotřeba lepidel neustále zvyšuje. Zvýšený zájem je o lepení plastů, gum, dřeva a kombinace nejrůznějších adherendů (materiálů). O tom, že lze lepením dosáhnout vysoké pevnosti spojů svědčí i to, že v současnosti se lepidla používají v tak náročných aplikacích jako například v leteckém průmyslu a kosmické technice. Lepené spoje představují také snížení hmotnosti a nákladů na provedení spoje. V souvislosti s porovnáváním hospodárnosti některých spojů spojování i u kovů bylo zjištěno, že když náklady na lepení = 100, pak náklady na svařování dosahují hodnoty 120 a při nýtování od 120 do 180. Proto se na celém světě věnuje velká pozornost nejen vývoji nových lepidel, ale také technologii lepení, aby se alespoň v některých případech dala zjednodušit. Navzdory velkým výhodám, které má lepení, je třeba provést laboratorní zkoušky s každým novým lepidlem a dokonale ověřit jeho vlastnosti, případně vlastnosti lepeného spoje. Technologie lepení je jedním z důležitých prvků procesu chemizace a modernizace průmyslu. Proniká postupně do většiny výrobních odvětví, kam přináší řadu specifických konstrukčních a technologických předností. Patří k nejdůležitějším alternativám v automatizaci montážních a dokončovacích prací

1.1. Lepidla a nátěrové hmoty

Lepidla jsou látky, které umožňují přilnutí (adhezi) povrchů pevných předmětů a tím jejich pevné spojení. Lepení je technologie nerozebíratelného spojování částí prostřednictvím lepidla, jak zobrazuje obrázek 1.



Obrázek 1 Princip lepeného spoje

Proces vytvoření lepeného spoje začíná smáčením lepené plochy lepidlem v tekutém nebo roztaveném stavu a končí vznikem pevného lepeného spoje, tedy vznikem lepené spáry. Při lepení nejsou narušeny vlastnosti lepených materiálů. Proces vytvoření lepeného spoje se urychluje zpravidla teplem (odpařením vody, rozpouštědly a zahájením reakce) a tlakem (přiblížení lepidla a lepených podkladů k sobě). Při lepení dřeva se vyžaduje, aby pevnost lepeného spoje dosahovala vyšších hodnot než pevnost vlastního lepeného materiálu. Lepení je proces spojování materiálů (adherendů), při kterém se dosahuje trvalé spojení stejných, případně různých materiálů prostřednictvím lepidel (adhesiv). Uvedená schopnost závisí na adhezi k povrchům lepených materiálů a od koheze samotného lepidla. Lepení se velmi rozšířilo nejen v průmyslových oborech, ale i při individuálních pracích, neboť lepidla umožňují spojování materiálů bez nároku na vybavení dílny.

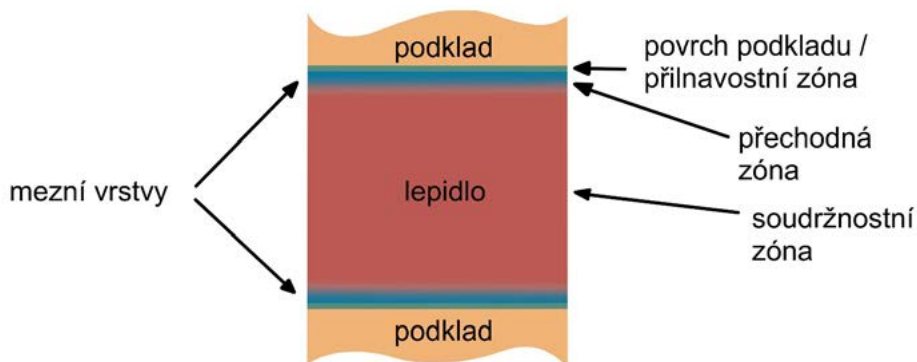
Lepidla lze popsat i jako nekovové materiály, jenž mají schopnost spojovat pevné látky díky vysoké přilnavosti k jejich povrchu při dobré vnitřní soudržnosti. Většina lepidel jsou látky kapalné, avšak mohou se vyskytovat i jako látky pevné. Lepidla jsou v kapalné formě při procesu lepení a následně dochází (dle vytvrzovacích podmínek) ke změně skupenství na pevné. U lepidel, jejichž výchozí stav je pevný (většinou ve formě granulátu či prášku), musí dojít k roztavení a ke změně skupenství na kapalný. Po vychladnutí u těchto lepidel dochází k opětovnému vytvrzení čili ke změně skupenství na pevné.

1.2. Základní terminologie

Tato terminologie poskytuje základní přehled o pojmech, které jsou běžně používány v kontextu lepení dřeva.

1.2.1. Adheze

Na obrázku 2 vidíme adhezi (přilnavost) dané látky/lepidla k adherendu tedy podkladu. Jedná se o působení adhezních sil mezi zmiňovaným adherendem a lepidlem. Při působení těchto sil dochází ke složitým chemicko-fyzikálním jevům a k působení mechanických adhezních sil, které probíhají zároveň.



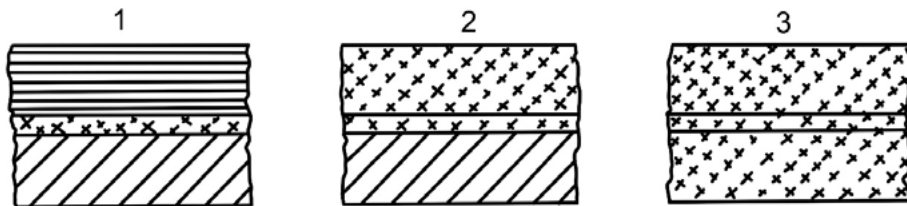
Obrázek 2 Adheze – průřez lepenou spárou

Jeden z nejstarších názorů vysvětlujících adhezi vzájemnou přitažlivostí molekul je teorie polarizace. Byla publikována v roce 1935 de Brunem. Atomy v molekule jsou spojeny velmi pevnými chemickými nebo primárními vazbami.

Rozlišujeme tři druhy chemických vazeb:

- ionové (elektrovalentní)
- kovalentní
- kovové

Ke vzniku intramolekulární chemické vazby dochází působením přitažlivých a odpuzivých sil na atomy. Mimo chemických vazeb mezi atomy existují ještě slabší přitažlivé síly, které působí mezi molekulami a určují mnohé fyzikální vlastnosti většiny organických sloučenin. Tyto fyzikální anebo sekundární síly jsou označovány jako síly Van der Waalsovy. Van der Waalsovy síly se dělí obvykle na tři kategorie, a to na Keesomovy, Debyeovy a Londonovy síly. Obrázek 3 prezentuje vztah mezi adhezí a lepeným materiálem.



Obrázek 3 Vztah mezi adhezí a lepeným materiálem

1. Běžný adhezní vztah, různé složení lepidla a lepených dílů
2. Částečná autoadheze, jedna lepená plocha a lepidlo mají stejné chem. složení
3. Úplná autoadheze, oba lepené materiály a lepidlo mají shodné chemické složení

Druhy adheze

Mechanické adhezí síly mají původ v mechanickém uchycení (upevnění) lepidla v nerovnostech a pórech spojovaných materiálů. Makroskopické adhezí vlastnosti jsou závislé na aplikovaném množství materiálu, hrubosti a homogenitě povrchu materiálu. Lze konstatovat, že čím je nanesená adhezí vrstva tenčí, tím větší adhezí síla bude držet materiály pohromadě. K lepší přilnavosti je možné přispět co největší plochou kontaktu mezi částicemi. Díky tomuto může dojít k vytvoření více vazebných interakcí. Aby bylo docíleno co nejvyšších adhezí sil, je vhodné povrchy očistit a homogenizovat.

K tomu, aby bylo možné přesně popsat adhezí síly, je třeba se zabývat i fyzikálními vlastnostmi látek (viskoelastičita, plasticita nebo pevnost v lomu). Na těchto vlastnostech závisí to, jakým způsobem se bude vzniklý spoj chovat. Přilnavost je také ovlivněna vnitřním pnutím systému. Materiály s vyšším vnitřním pnutím mají větší tendenci se oddělit. Vnitřní pnutí je závislé na rychlosti relaxačních procesů, ke kterým dochází během tvorby polymerních povlaků. Jeho minimalizováním se zvyšuje přilnavost.

Mikroskopický pohled nám ukazuje, že pevnost kontaktních ploch u dvou materiálů je ovlivněna chemickými vlastnostmi, čímž jsou myšleny mezifázové síly, chemické složení, polarita, volná povrchová energie. Molekulární přitahování je nejvíce přijímané vysvětlení adhezího mechanismu, kdy právě tento stav je uskutečněn pomocí přitažlivých chemických vazeb a fyzikálních sil v místě, kde dochází ke kontaktu jednotlivých atomů a molekul adheziva a substrátu. Dochází zde k působení intramolekulárních vazeb (vazba uvnitř molekuly) dělící se na iontové, kovalentní a kovové vazby a intermolekulárních vazeb (vazby mezi jednotlivými molekulami) dělící se na van der Waalových síly a vodíkové můstky. Van der Waalovy síly patří mezi slabé nevazebné interakce z důvodu nízké vazebné energie a jsou přibližně až 100x slabší než běžné kovalentní vazby. Vodíkový můstek také patří mezi slabé nevazebné interakce a je přibližně 10x slabší než standardní kovalentní vazba. Vodíkový můstek se může tvořit ve sloučeninách, ve kterých existuje vysoce elektronegativní prvek (F, O, N) a zároveň tam existuje H. Tyto mechanismy popisují pevnosti spojů mezifázovými silami a také přítomnost polárních skupin. U molekulárních vazebných mechanismů je nutné dodržet dokonalé kontaktování a na rozhraní mezi adhezivem a substrátem, avšak samotný kontakt nezaručuje dobrou přilnavost kvůli přítomnosti anomálií jako jsou vady, trhliny a vzduchové bubliny apod.

Mimo tyto síly je důležité neopomenout smáčivost lepeného povrchu kapalným lepidlem. Pokud lepidlo není schopno se rovnoměrně rozprostřít po lepeném povrchu, žádná adhezí vazba nevznikne. Smáčivost souvisí s polaritou lepeného povrchu a s povrchovým napětím lepidla a povrchu. Jelikož lepidla obsahují spoustu reakce schopných chemických skupin, jsou molekuly lepidla jednostranně elektricky orientovány – jsou polární. Dobře smáčí polární povrchy, dochází zde k podobné přitažlivosti jako mezi severním a jižním pólem dvou magnetů. Mezi polární povrchy lze zařadit např. dřevo, papír a jiné deriváty celulózy, mírně povrchově oxidované kovy, přírodní textilie, ale například i sklo a další. Naopak nepolární povrchy jsou mnohé plasty, vosk a syntetické textilie. Polarita povrchu látek je příčinou vzniku tak zvané povrchové energie, která se vyjadřuje veličinou povrchového napětí. Čím je vyšší hodnota povrchového napětí, tím je pevný povrch nebo kapalina polárnější. Je-li povrchové napětí kapaliny nižší než povrchové napětí pevného povrchu, dojde k rozliti kapaliny po povrchu (smočení). Je-li naopak povrchové napětí kapaliny vyšší než napětí povrchu, kapalina se nerozlije a kapka kapaliny se drží na povrchu jako kulička. Pokud kapalně lepidlo nedokáže proniknout a rozprostřít se rovnoměrně na lepeném povrchu, dojde k oslabení adheze, a tím pádem k možnému rozpadu lepeného spoje. Pro vyjádření povrchového napětí se využívá jednotka mN.m, dříve označovaná jako dyn/cm. Oba tyto názvy označují stejnou hodnotu této jednotky.

Polární materiály:

Dřevo a Papír: Obsahují hydroxylové skupiny, které jsou polární a přispívají k jejich schopnosti dobře se smáčet.

Sklo: Jeho povrch obsahuje kyslíkové skupiny, což z něj činí polární materiál.

Kovy: Některé kovy mohou mít polární povrch, zejména pokud jsou mírně oxidované.

Textilie z přírodních vláken: Bavlna, vlna a jiné přírodní textilie mají polární povrch díky obsahu hydroxylových a aminových skupin.

Příklady:

Voda: Přibližně 72 mN/m

Sklo: Přibližně 500–700 mN/m (v závislosti na typu skla)

Oxidované kovy (např. hliník): Přibližně 60–70 mN/m

Bavlna: Přibližně 50–60 mN/m

Polyamidy (např. nylon): Přibližně 40–60 mN/m

Papír: Přibližně 40–60 mN/m

Dřevo: Borovice: Přibližně 50–55 mN/m

Smrk: Přibližně 40–50 mN/m

Dub: Přibližně 45–55 mN/m

Bříza: Přibližně 40–50 mN/m

Nepolární materiály:

Plasty: Materiály jako polyetylen, polypropylen a další jsou často nepolární.

Vosk: Má tendenci být nepolární.

Syntetické textilie: Některé moderní textilie vyrobené z umělých vláken, jako je polyester, jsou často nepolární.

Příklady:

Polyetylen: Přibližně 31–33 mN/m

Polypropylen: Přibližně 29–32 mN/m

Teflon (polytetrafluorethylen): Velmi nízké hodnoty, běžně méně než 20 mN/m

Parafín (vosk): Nízké hodnoty, běžně kolem 25 mN/m

Polyester: Přibližně 42–48 mN/m

Polyuretan: Přibližně 40–46 mN/m

1.2.2. Koheze

Vnitřní soudržnost látky, tak se dá popsat koheze (soudržnost). Jedná se o vlastnost molekul, kdy molekuly stejného druhu se navzájem přitahují. Právě mezimolekulární síly (Vodíkové můstky, Londonovy a van der Waalsovy síly) a chemické vazby spolu zajišťují, že látka daná látka se udrží pohromadě. Výsledná vazebná síla, kterou na sebe navzájem působí molekuly dané látky, se nazývá jako kohézní. Kohézní síly jsou nepřímo úměrné vzdálenostem mezi molekulami, jinými slovy roste-li vzdálenost, dochází k úbytku sil.

Pevnost lepeného spoje (spáry) závisí na kohezi lepidla v suchém stavu a na adhezi lepidla na lepené plochy. Při poréznych materiálech ještě závisí na mechanickém zajištění lepidla v materiálu.

1.2.3. Adherend

Je lepidlem spojovaný podklad pevného skupenství, označuje se jako substrát a lepidlo se nazývá adhezivum.

1.2.4. Často vyskytující se pojmy

Adhesivum – lepidlo.

Doba schnutí – proces, při kterém dochází ke změně fyzikálních vlastností adhasiva odstraněním rozpouštědla či odpařením disperzního média, sorpcí, případně jejich kombinací. Někdy může probíhat jako první fáze vytvrzovacího procesu.

Film lepidla – vrstva vysušeného lepidla mezi slepovanými povrchy.

Tloušťka vrstvy lepidla – vrstva lepidla naneseného na adherend.

Chudý spoj – malá síla na rozlepení, adherend neporušen.

Viskozita lepidla – závisí od sušiny, teploty, polymerizačního stupně filmotvorní složky lepidla.

Nastavovadlo – má lepivou funkci.

Plnivo lepidla – obvykle materiál ve formě prášku. Přidává se za účelem změny vlastností, popřípadě snížení ceny. Plnivo nemá lepivou funkci.

Nános lepidla – v g/m^2 , výjimečně v kg/m^3 výrobku.

Pevnost spoje – zatížení působící na jednotku plochy nebo šířku spoje potřebnou na jeho roztržení.

Životnost lepidla – čas, po který zůstává lepidlo ve stavu vhodném k nanášení.

Životnost lepidla ve filmu – subjektivně ověřená lepivost filmu lepidla po nanesení na adherend – je vyjadřován v časových jednotkách (minuty, hodiny apod.).

Životnost po smíchání lepidla – jedná se o čas od smíchání lepidla až do okamžiku, kdy hrozí, že dojde k poklesu pevnosti, a to důsledkem želatinace (zhoustnutí).

2. TEORIE LEPENÍ

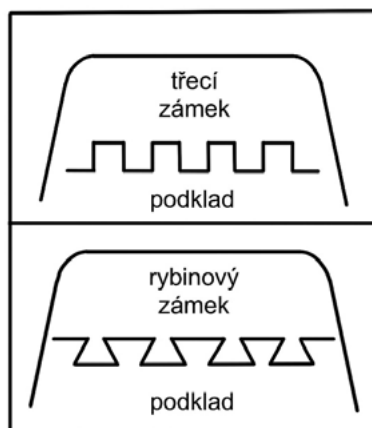
Teorie lepení se zabývá procesem spojování materiálů pomocí lepidla. Klíčové aspekty zahrnují přilnavost lepidla k povrchu (adheze), vnitřní pevnost lepidla (koheze) a smáčivost povrchu kapalným lepidlem. Lepení může být ovlivněno chemickými a mechanickými vazbami mezi lepidlem a povrchem.

Existuje sedm akceptovatelných teorií adheze:

- A) Mechanická adheze
- B) Elektronická, elektrostatická či elektrická
- C) Adsorpce
- D) Difúze
- E) Chemická
- F) Acidobazická
- G) Slabé vazby

2.1. Mechanická adheze

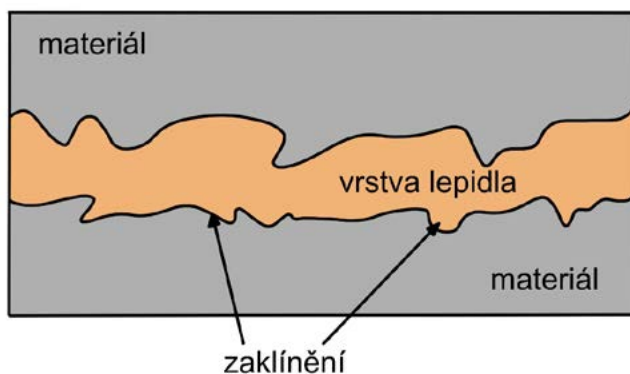
Koncepčně je všudypřítomnost mechanického propojení v přírodě již dlouho předmětem zájmu, umění a společnosti. V oblasti adheze bylo mechanické blokování poprvé navrženo na počátku minulého století. Došlo ke změně názoru na důležitost mechanického vzájemného spojení v adhezi, protože analytické metody pro studium adheze a naše základní porozumění se zlepšilo. V zásadě lze mechanické blokování rozdělit do dvou skupin: blokování třením a blokování rybinou (Obr. 4). U mechanicky propojených adheziv existují nerovnosti, póry nebo štěrby, do kterých adheziva pronikají nebo se do nich vsakují, a tím se ovlivňují mechanické vlastnosti adheziv. Navíc samotná geometrie či drsnost povrchu má značný vliv na adhezi. Drsnější adhezivní povrchy poskytují lepší adhezi než hladké povrchy. Vysoké úrovně adheze lze dosáhnout zlepšením vlastností adhezivního povrchu a mechanické zaklínování lze zlepšit zvětšením povrchové plochy. Absorpce je důležitým faktorem mechanického spojování, protože ovlivňuje pronikání lepidel do pórů nebo nerovností na lepených površích.



Obrázek 4 Schéma mechanického blokování

Větší absorpce vytváří lepší adhezi v mechanických zámkových systémech. Dalším faktorem ovlivňujícím adhezi je délková škála, která se mění podle typu interakce. Mechanické spojení je silně závislé na vlastnostech povrchu. Při studiu mechanického vzájemného spojení by měly být dobře charakterizovány vlastnosti povrchu, včetně přítomnosti štěrbin, pórů, drsnosti a nepravidlostí. Optimalizace vlastností povrchu – například zvýšení drsnosti povrchu – povede k silnějšímu nebo lepšímu mechanickému spojení. Primárním omezením teorie mechanického vzájemného spojení je, že ze své podstaty nebere v úvahu interakce náboje, které mohou také nastat při

vytváření adhezivního spojení. V posledních několika desetiletích bylo těžiště mechanického vzájemného spojení adheze v oblasti mikro – a nanomateriál. Existují dvě populární výzkumné oblasti polymerních materiálů, které se zabývají teorií mechanického vzájemného spojení: mechanicky propojené molekuly (MIM) včetně dendrimerů a mikrostrukturování povrchu pro zvýšení adheze v polymerních kompozitech. Při hodnocení vlivu mechanického vzájemného spojení na adhezni pevnost rozhraní polymer-kov byly na kovové povrchy prostřednictvím procesu obrábění zavedeny mikrovzorové topografie. Bylo zjištěno, že molekulární disipace polymeru v blízkosti rozhraní je hlavní příčinou praktické energie separace při mechanickém testování. Mechanické blokování také poskytuje jednoduchý a účinný prostředek pro zvýšení adheze mezi odlišnými materiály v mikroelektromechanických systémech (MEMS). Morfologické vlastnosti nanočástic jsou také důležité pro pochopení mechanického vzájemného spojení (Obr. 5) na nanoměřtku. Nanoporézní zlaté částice přidané do silikonu ve filmových aplikacích vykazují vynikající adhezi k silikonu, kterou lze přičíst mechanickému spojení s elastomerním substrátem. V polymerních nanokompozitech s nízkým obsahem nanoplňiv fungují grafenové destičky lépe než uhlíkové nanotrubic, pokud jde o zlepšení mechanických vlastností, a to je částečně přičítáno zlepšenému mechanickému vzájemnému spojení/adhezi na matici nanoplňiva. rozhraní. Role vrásek v tepelně exfoliovaném chemicky modifikovaném grafenu může skutečně přispívat k drsnosti povrchu v nanoměřtku, a to by mohlo zlepšit mechanické vzájemné spojení v aplikacích polymerních nanokompozitů. Nanomechanické provázání bylo pozorováno na rozhraní nanotrubic-polymer, což přispívá ke zlepšení mechanických vlastností v polymerní nanokompozity.

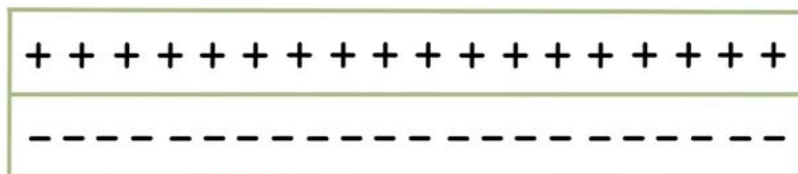


Obrázek 5 Mechanická vazba (zámek) lepidla s povrchem

2.2. Elektrostatická teorie

Elektrostatická teorie byla zveřejněna v letech 1948 až 1950 autory Derjagin a Kratovová. Podle ní je adheze vysvětlována elektrostatickými přitažlivými silami. Autoři vychází z pozorování, podle nichž při odtržení lepidlového filmu od lepeného materiálu vznikají elektrické výboje. Vysvětlují to tím, že dvouvrstvý systém (lepidlový film a adherend) vytváří kondenzátor. Vliv elektrostatických nábojů na adhezi nebyl dostatečně dokázán.

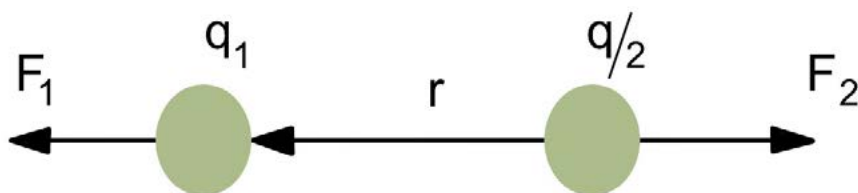
Primárním principem elektrostatického mechanismu je, že dva přílnavé materiály jsou považovány za podobné deskám elektrického kondenzátoru, přes které dochází k přenosu náboje, a adhezni síla je připisována elektrostatickým silám (Obr. 6). Pojmy a veličiny důležité při elektrostatické adhezi jsou uvedeny níže.



Obrázek 6 Schématické znázornění tvorby adhezni vazby připisované přenosu náboje z elektropozitivního materiálu na elektronegativní materiál

Koncepty a veličiny důležité v elektrostatické adhezi

Koncept	Definice
Elektrické pole	Jsou tvořeny elektricky nabitými částicemi
Coulombův zákon	Elektrostatická interakce mezi elektricky nabitými částicemi.
Kondenzátor	Skládá se ze dvou vodičů, které jsou odděleny nevodivou oblastí.
Hustota náboje	Měření elektrického náboje na jednotku objemu prostoru v jednom, dvou nebo třech rozměrech.
Van der Waalsova síly	Síla mezi dvěma molekulami přisuzovaná jejich dipólovým momentům.
Hamakerova konstanta	Augmentační faktor pro Van der Waalsovu sílu, když jsou zapojeny mnohé molekuly, jako je tomu například u nano částic. (Augmentační faktor je hodnota, která zvyšuje sílu Van der Waalsovy interakce, zejména když jsou do procesu zapojeny mnohé molekuly. Tento jev je často pozorován v případě nanočástic, což jsou částice s velikostí na nanometrové škále)
Teorie DLVO	Pojmenován po Derjaguinovi, Landauovi, Verweymu a Overbeekovi. Teorie kvantitativně vysvětluje shlukování částic ve vodných disperzích a popisuje sílu mezi nabitými povrchy interagující prostřednictvím kapalného média. Kombinuje účinky van der Waalsovy přitažlivosti a elektrostatického odpuzování tzv. dvojité vrstvě protiiontů.
Zeta potenciál	Tato hodnota vyjadřuje potenciální rozdíl mezi disperzním médiem a stacionární vrstvou kapaliny, která je připojena k rozptýleným částicím. (Zeta potenciál hraje klíčovou roli v elektrokinetických jevech, jako je elektroforeze a elektrozeta potenciál, což jsou procesy, kde se nabitě částice pohybují nebo udržují v kapalině pod vlivem elektrického pole.)
Smoluchowského aproximace	Tato aproximace se často používá k výpočtu zeta potenciálů (elektrokinetických veličin) rozptýlených kulových částic, zejména nano částic, v kapalině. Při této aproximaci jsou předpokládány některé jednoduché podmínky, jako je kulovitost částic, homogenita disperze, a také, že částice jsou dostatečně malé, aby se mohly pohybovat v kapalině pod vlivem tepelného pohybu (Brownův pohyb). Tato aproximace umožňuje odhadovat zeta potenciály, což je důležitý parametr popisující elektrokinetické vlastnosti částic v kapalině.



Obrázek 7 Interakce mezi elektricky nabitými částicemi. F_1 a F_2 jsou síly interakce mezi dvěma náboji (q_1 a q_2) a vzdálenost (r) mezi nimi

Coulombův zákon popisuje elektrostatickou interakci mezi elektricky nabitými částicemi (Obr. 7) jako:

$$F_A = F_{vdW} + F_{EDL} \quad (1)$$

F	síla
k_e	Coulombova konstanta
q_1 a q_2	elektrický náboj
r	vzdálenost

Kapacita C je definována jako poměr el. náboje Q na každém vodiči ku napětí V mezi nimi:

$$C = \frac{Q}{V} \quad (2)$$

Derjaguin přenesl sílu $F(h)$ působící mezi dvěma navzájem oddělenými náboji na sílu adhezní vazby, kde:

$$F(h) = 2 R_{eff} W(h) \quad (3)$$

Kde $W(h)$ je energie interakce na jednotku plochy mezi dvěma rovinnými stěnami a R_{eff} efektivní poloměr. Při zvažování elektrostatických interakcí v kapalinách Derjaguin, Landau, Verwey a Overbeek ve své teorii definují interakce mezi nabitými povrchy, kde celková adhezní síla F_A je rovna součtu van der Waalsovy síly F_{vdW} a elektrické síly ve dvou vrstvách F_{EDL} .

$$F_A = F_{vdW} + F_{EDL} \quad (4)$$

Van der Waalsova síla je funkcí Hamakerovy konstanty systému, průměru částice, kontaktního poloměru a vzdálenosti separace povrchu částice. Elektrostatická teorie se často používá k popisu adhezního chování prášků k pevným povrchům. Elektrostatická adheze, ke které dochází v kapalně fázi prostřednictvím koloidních interakcí, získala mnohem větší důraz ve vědecké literatuře a praktické aplikace jsou hojné v různých oblastech. Elektrostatické samoskládání v kapalinách představuje v nanovědě důležitou oblast aplikací. Hlavním omezením elektrostatické teorie je, že neutralizace náboje prostřednictvím uzemnění nebo podobného mechanismu může potenciálně narušit propojení. Dle získaných informací byl proveden výzkum v oblasti elektrostatické adheze se zaměřil na biomimetické aspekty přilnavosti prstů gekonů pomocí syntetických materiálů. Suché lepidlo inspirované biomimetickou přilnavostí prstů gekona využívající Teflon amorfického fluoropolymeru s nanopilířky bylo přičítáno elektrostatické adhezi. Vylepšená ovladatelná adheze na hrubých i hladkých površích může být dosažena s hybridním/fibrilárním lepidlem. Další výzkum se věnoval porovnání adhezních sil mezi elektrostatickou a Coulombovou atrakcí, elektrostatické adhezi nanorozměrných částic a kohesivní roli vody. Elektrostatické síly mají výrazný vliv na interakce adheze od mikro po nanoměřítko, včetně mikromanipulace objektů v měřítku mikrometrů.

2.3. Smáčivost, povrchová volná energie, termodynamická teorie či adheze

Termodynamická adheze nebo smáčivost se odkazuje na atomární a molekulární interakce mezi lepidly a adherendy. Povrchové napětí nebo povrchová volná energie jsou projevy těchto sil a jsou považovány za základní materiálové vlastnosti pro pochopení adheze, protože jsou spojeny s tvorbou adhezivního spoje. Tvorba spoje vychází z vysoko lokalizovaných intermolekulárních silových interakcí mezi materiály. Z těchto důvodů je dobrá smáčivost přínosem k silnému adhezivnímu spojení. Je známo, že klíčovým chemickým a energetickým faktorem ovlivňujícím pevnost spoje je mezifázové napětí mezi lepidlem a adherendem (γ_{sl}): pevnost spoje vzrůstá s poklesem hodnoty γ_{sl} . Síly na atomární a molekulární úrovni, které se podílejí na smáčení, zahrnují: (1) interakce kyselina–základ, (2) slabé vodíkové vazby nebo (3) van der Waalsovy síly (dipól–dipól a disperzní síly).

Podmínka pro spontánní smáčivost je stanovena jako:

$$\gamma_{sg} \geq \gamma_{lg} \geq \gamma_{adheze} \quad (5)$$

Kde γ_{sg} , γ_{sl} a γ_{lg} jsou v tomto pořadí volné mezifázové energie pro rozhraní pevná látka–plyn, pevná látka–kapalina a kapalina–plyn.

Pokud je γ_{sl} nevýznamné, lze kritérium zjednodušit na:

$$\gamma_{sg} \geq \gamma_{lg} \text{ nebo } \gamma_{substrát} \geq \gamma_{adheze} \quad (6)$$

To znamená, že adhezivum pronikne do povrchu adherendu, pokud je povrchová volná energie substrátu vyšší. Povrchové volné energie pevných látek lze stanovit měřením stykových úhlů vhodných zkoumacích kapalin na pevném povrchu. Při měření různých forem substrátů se používají různé techniky analýzy stykových úhlů. Jednou z metod je metoda kapičky v klidu, nazývaná také technika statického stykového úhlu. Další metodou je technika Wilhelmyho destičky, která je vhodná pro měření stykových úhlů na tenkých deskách a jednotlivých vláknech.

Stykový úhel lze vypočítat pomocí Wilhelmyho rovnice:

$$F = \gamma_L P \cos \theta + mg - \rho_L A h g \quad (7)$$

F	je postupující nebo ustupující síla působící na vzorek v kapalině
γ_L	povrchové napětí kapaliny
P	obvod smáčeného průřezu
m	hmotnost vzorku
g	gravitační zrychlení
ρ_L	hustota kapaliny
A	průřezová plocha vzorku
h	hloubka ponoření

Pro třískové a vláknité materiály lze zaznamenáním procesu, kdy kapalina prochází sloupcem, který je ovlivněn kapilárními silami, kde jsou částice zájmu baleny uvnitř, vypočítat stykový úhel z Washburnovy rovnice, která řídí kapilární proces nasávání:

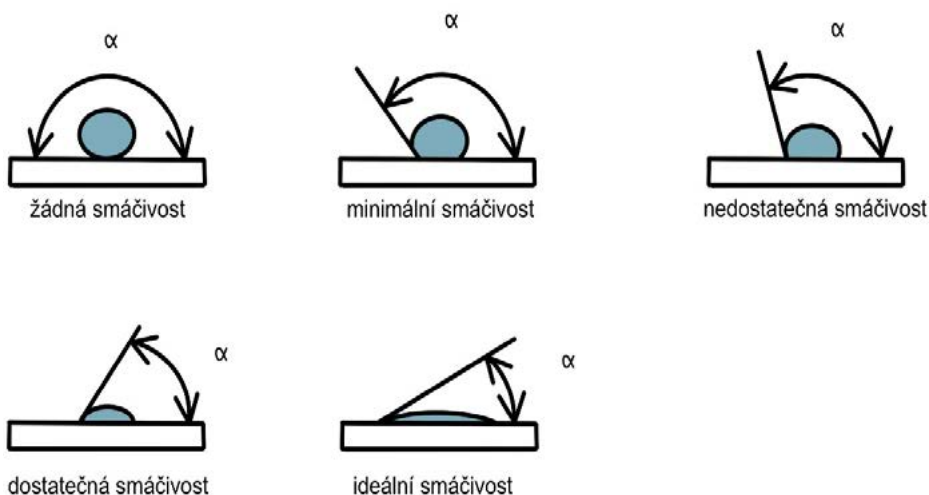
$$h^2 = \frac{t R \gamma_L \cos \theta}{2 \eta} \quad (8)$$

h	výška, do které kapalina vystoupila jako funkce času t
R	efektivní mezičásticový poloměr pórů mezi uspořádanými částicemi
γ_L	povrchové napětí kapaliny
η	viskozita kapaliny

Existuje mnoho metod pro stanovení povrchové volné energie pevných látek na základě stykových úhlů. Přestože je při vytváření adhezivního spoje žádoucí uspokojivé smáčení nebo vnitřní adheze, nemusí to nutně zajistit, že konečná mechanická pevnost spoje bude optimální pro danou situaci spojování.

Smáčivost lze měřit pomocí okrajového úhlu α , kdy k vytvoření tohoto úhlu dochází při dosednutí kapaliny na testovaný povrch (Obr. 8). Požadovaný úhel je měřen mezi testovaným povrchem a povrchem kapaliny. Je-li úhel otevřený na 160° až 180° , tak se jedná o superhydrofóbní povrch. To znamená, že kapalina na tomto povrchu vytváří téměř kulatý tvar a má tendenci se snadno sklouznout z povrchu. Je-li úhel větší jak 90° ale menší než 160° , materiál je tedy nesmáčivý (hydrofobní). To znamená, že kapalina má tendenci tvořit kuličkovitý tvar na povrchu, ale nemá tak vysokou odpudivost jako u superhydrofóbního povrchu. Pokud nedojde k překročení nazýváme materiál jako hydrofobní. Okrajový úhel se zmenšuje, pakliže je materiál hydrofilní. Kapalina na takovém povrchu má tendenci roztékat se a vstřebávat do povrchu. Pokud okrajový úhel α nepřesahuje 90° , můžeme povrch nazvat nesmáčivým, což znamená, že kapalina má tendenci se rozlévat na povrchu a nepřilnout k němu.

Tento způsob měření a charakterizace smáčivosti povrchu je důležitým nástrojem pro porozumění interakci mezi materiály a kapalinami a má široké uplatnění v různých oborech, včetně vývoje povrchových materiálů, biomedicíny, potravinářství a dalších.

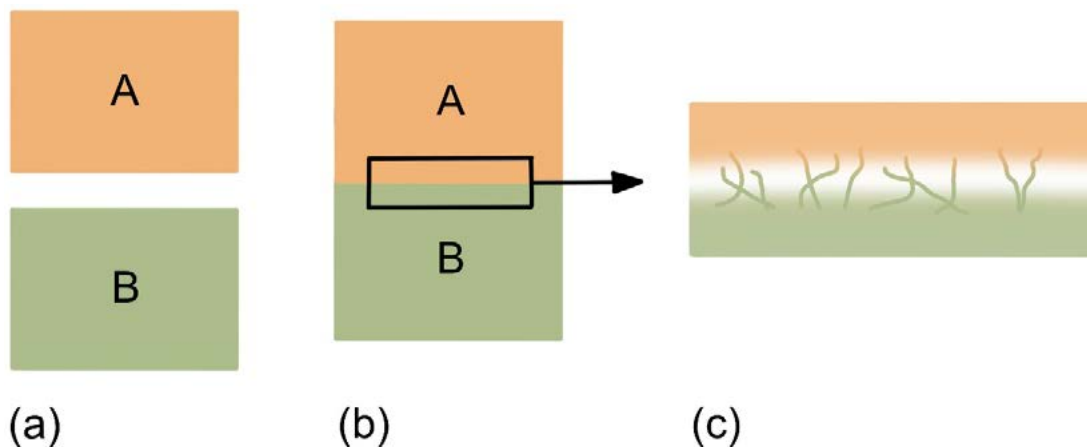


Obrázek 8 Druhy smáčivosti

2.4. Teorie difuze

Teorie difuze vychází z konceptu, že dva materiály jsou vzájemně rozpustné, tedy kompatibilní, a pokud jsou přivedeny do blízkého kontaktu, rozpustí se jeden v druhém a tvoří mezifázi, která je roztokem obou materiálů v sobě a nevytváří tedy diskontinuitu fyzikálních vlastností mezi oběma materiály, jak je možné vidět na obrázku 9. Materiály musí být kompatibilní, což znamená, že jejich chemické a fyzikální vlastnosti jsou vhodné pro vzájemné smíšení bez vytvoření diskontinuity vlastností mezi nimi. Teorie difuze byla poprvé zmíněna Voyutskiim a Vakulou a zkoumala roli interakcí polymer–polymer při vytváření adhezivního spoje na základě difuzního jevu. Pro mechanismus difuze adheze musí být pro adhezivum a adherend podobné parametry rozpustnosti. Tento jev je dobře ilustrován procesem rozpouštění pomocí rozpouštědel v termoplastických systémech. Tento proces vede k silnému spojení mezi materiály a výrazně zvyšuje pevnost adhezivního spoje.

V praxi se teorie difuze často využívá při výrobě adhezivních spojů, laminátů a kompozitních materiálů, kde je důležité dosáhnout pevného a trvanlivého spojení mezi různými materiály. Porozumění principům difuzní adheze umožňuje optimalizovat procesy spojování a zlepšit vlastnosti výsledných materiálů. Znalost této teorie může být klíčová při návrhu a vývoji adhezivních materiálů s optimálními vlastnostmi pro konkrétní aplikace.



Obrázek 9 Schéma dle difúzní teorie adheze: (a) dva kompatibilní materiály jsou přivedeny do blízkého kontaktu (b) a vytvoří mezifázi (c), kde se oba materiály promíchávají a/nebo splétají jeden s druhým

Adhezivum je obvykle nízkomolekulární polymerní roztok v kompatibilním rozpouštědle, který se nanáší na adhe-rend, a rozpouštědlo – polymerní roztok difunduje do adherendu, vytvářejíc molekulární spletení, které charakteri-zuje difúzní spoj. Termální svařování termoplastických polymerů různými technikami ohřevu je samostatnou oblastí v oblasti adhezivního spojování. Termální svařování nabízí možnost vytvořit adhezivní spoj mezi dvěma adherendy bez přidání samostatného adheziva, protože samotné adherendy v podstatě přispívají k adhezivnímu spoji. Adheze polymer–polymer plastových částí vyrobených aditivním procesem fúzní vrstvy nebo modelování tavením je také závislá na interakcích difúzního spojování (svařování). Difúzní spojování není vhodné v situacích, kde adherend není schopen absorbovat polymerové adhezivum, jako je například při lepení skla.

2.4.1. Interpenetrating Polymer Network (IPN)

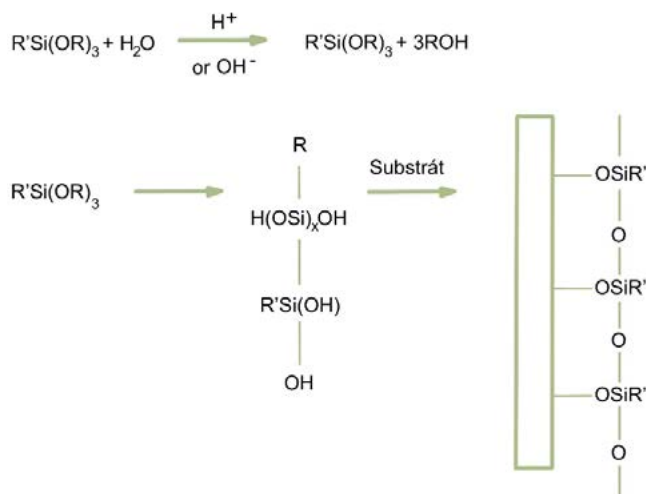
Interpenetrating Polymer Network (IPN) je složitá polymerní struktura skládající se z dvou nebo více polymerových sítí, které jsou vzájemně propletené nebo provázané na molekulární úrovni bez fáze oddělení. V IPN si jednotlivé polymerové sítě udržují svou jedinečnou identitu a jsou plně provzájemně propojeny. Toto vytváří jednofázovou, ho-mogenní strukturu s vylepšenými mechanickými, tepelnými a chemickými vlastnostmi ve srovnání s individuálními polymerovými sítěmi. Vytvoření IPN obvykle zahrnuje sekvenci nebo současnou polymerizaci různých monomerů nebo polymerních systémů. Klíčovým prvkem IPN je vzájemná penetrace polymerových řetězců z jedné sítě do druhé. Toto vzájemné proplétání na molekulární úrovni zvyšuje celkový výkon a stabilitu materiálu. IPN nachází uplatnění v různých oblastech, včetně biomateriálů, lepidel, povlaků a pokročilých kompozitních materiálů, kde je žádoucí kombinace různých vlastností polymerů. Návrh a kontrola struktury IPN nabízejí možnosti tvarování materiálů s konkrétními charakteristikami pro různé aplikace.

2.4.2. Teorie chemické (kovalentní) vazby

Kovalentní vazba je spojení, kde dva atomy sdílejí elektronový pár, a má za cíl zlepšit odolnost spoje mezi adhe-rendem a adhezivem. Síla kovalentních vazeb je klíčová pro adhezi a celkovou pevnost adhezivního spoje. V daném materiálu je energie kovalentní vazby (kohezní pevnost vazby) přibližně 1000krát větší než povrchová volná energie tohoto materiálu. Vytvoření kovalentní vazby mezi adhezivem a adherendem by tedy mělo poskytnout adhezivní spoj s vysokou pevností. V systémech kompozitních materiálů, kde se spojují dva odlišné materiály, je využívání spojovacích látek, které mostí chemickou interakci mezi dvěma látkami, důležitou oblastí vývoje adhezivní technolo-gie. Příklad spojovací látky na bázi silanu procházející (1) hydrolyzou a (2) reakcí s hydroxylovým substrátem (sklo) je znázorněn na obrázku 9. Spojovací látky umožňují vytváření pevných adhezivních spojů mezi materiály, které jsou chemicky odlišné, například skleněná vlákna a polyester, epoxid a hliník, nebo polypropylen a další.

Vodíkové vazby

Význam role vodíkové vazby v adhezi je obecně uznáván. Avšak historicky byla síla vodíkové vazby často zařazována do rozmezí síly Lifshitz–van der Waals nebo interakcí kyselina–základ (8–25 kJ/mol). (Aktuální důkazy naznačují, že síla vodíkových vazeb (4–188 kJ/mol) se přibližuje rozsahu síly kovalentní vazby (147–628 kJ/mol). Důležité je si uvědomit, že síla vodíkových vazeb může být významná při adhezi a interakcích mezi povrchy, zejména pokud jsou molekuly schopné vytvořit vodíkové vazby s povrchem substrátu. Tyto silné interakce mohou hrát rozhodující roli v adhezích procesech, jako je například adheze polymerů na pevné povrchy nebo interakce mezi biomolekulami. Porozumění síle vodíkových vazeb je proto klíčové pro vývoj lepších adhezivních materiálů a pro pochopení přírodních procesů, které jsou závislé na těchto interakcích. Mnohá běžná syntetická lepidla na biologické bázi adheziva, například epoxidové pryskyřice, polyuretany, proteiny a adheziva na bázi formaldehydu, disponují výraznými funkcionálními skupinami vodíkových vazeb. Nová data o síle vazby zdůrazňují význam vodíkových vazeb v rámci chemické teorie adheze (Obr. 10).



Obrázek 10 *Hydrolýza organofunkčního silanu a reakce hydrolyzovaného organosilanu s hydroxylovým funkčním substrátem*

2.5. Acidobazické teorie a koncepce

Založeném na korelaci kyselin–zásad provedené Drago a spol. navrhli Fowkes a Mostafa nový přístup k interpretaci interakcí během adsorpce polymerů, přičemž polarita této interakce je označována jako kyselina–záhada. V této formě interakce je kyselina (příjemce elektronů) vázaná na zásadu (dárce elektronů) sdílením elektronového páru poskytnutého druhým, což vytváří koordinační vazbu. Následující text stručně shrnuje Lewisův kyselino–zásaditý koncept v jevech souvisejících se smáčením. Podle Fowkese a van Osse et al. lze celkovou práci adheze při interfaciální interakci mezi pevnými látkami a kapalinami vyjádřit jako součet Lifshitz–van der Waalsových (LW) a Lewisových kyselino–zásaditých (acidobazických – AB) interakcí, jmenovitě.

$$W_a = W_a^{LW} + W_a^{AB} \quad (9)$$

Rozdělení práce adheze na LW a AB složky je také užitečné pro povrchové volné energie podle:

$$\gamma_i = \gamma_i^{LW} + \gamma_i^{AB} \quad (10)$$

Pokrokem v chápání jevů smáčení bylo Good–Girifalco–Fowkesovo kombinační pravidlo „geometrického průměru“ pro LW interakce mezi dvěma sloučeninami i a j, které lze vyjádřit jako:

$$W_a^{LW} = 2\sqrt{\gamma_i^{LW}\gamma_j^{LW}} \quad (11)$$

Pokud je tedy určen kontaktní úhel (θ) jak pro nepolární, tak i pro polární kapalinu se známými parametry γ^{LW} na stejném povrchu, lze pomocí rovnic 1.9 až 1.11 určit W_a^{LW} a W_a^{AB} . Teorie kyselina–zásada hraje kritickou roli v povrchové chemii a adhezi a byla široce využívána na různých materiálech. Bylo navrženo několik modelů pro výpočet povrchové energie pevných látek, kde byla aplikována teorie kyselina–zásada, včetně Fowkesovy metody, Goodovy metody, van Ossovy metody a Chang-Chenovy metody. Na nanoměřítku jsou síly LW důležité při vázání nanočástic stříbra na polyamid v tisknutelných elektronických aplikacích. Význam interakcí kyselina–zásada v oblasti adheze lze posoudit porovnáním pevnosti adhezivního spoje nepolárního a polárního polymerového substrátu.

2.6. Teorie slabé mezní vrstvy (WBL)

Bikerman představil koncept slabé mezní vrstvy (WBL - weak boundary layers concept) ve vědě o adhezi. Specifikoval tři různé třídy WBL: vzduchové bubliny, nečistoty na rozhraní a reakce mezi složkami a médiem. Good dále naznačil, že WBL na povrchu adherendu je zodpovědný za nižší mechanickou pevnost. Rozhraní je místem selhání adheze vázaného spoje, když je přítomna WBL. Pokud jsou dodržována pravidla správné přípravy adherendu při vytváření adhezivního spoje, zejména při lepení čerstvě připraveného povrchu, pak koncept WBL není problémem. Nicméně v mnoha případech lepení nemusí být možné použít čerstvě připravený a čistý povrch adherendu. Zjednodušuje naše chápání WBL kategorizovat je jako mechanické nebo chemické povahy (Obr. 11).



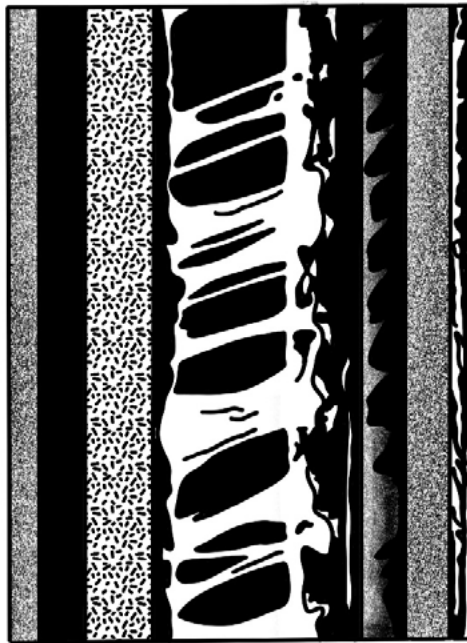
Obrázek 11 Charakteristika mechanických a chemických slabých mezních vrstev

Mechanické WBL mohou vzniknout nesprávným obráběním a nedostatečným čištěním povrchu adherendu před lepením, zatímco chemické WBL mohou být připisovány pomocným látkám nebo mazivům, které se používají při přípravě povrchu. Příklady mechanických WBL jsou běžné při lepení dřeva, zatímco chemické WBL jsou běžné při přípravě kovových povrchů (oleje) a extrudovaných plastových povrchů (maziva) pro lepení. Navíc „staré“ povrchy jsou často chemicky změněny vlivem environmentálních vlivů, jako je expozice vlhkosti, UV záření, oxidace nebo teplo. Staré povrchy mají tendenci mít nižší povrchové energie a jsou tak obtížněji mokřeny adhezivy. Teorie slabé hraniční vrstvy poprvé formulovaná Bikermanem tvrdí, že porucha spoje na rozhraní je způsobena buď kohezním prasknutím nebo existencí slabé hraniční vrstvy. Tato slabá hraniční vrstva může vzniknout v adhezivu, adherendu, z vnějšího prostředí nebo jejich kombinací. V adhezivu nebo adherendu může dojít k vytvoření slabé hraniční vrstvy. A to v případě, že se nečistoty koncentrují poblíž vázacího povrchu, a vytvoří tak slabé spojení se substrátem. Při selhání je následkem porucha slabé hraniční vrstvy, i když se to jeví jako selhání na rozhraní adheziva-adherendu.

Adheziva mohou být formulována tak, aby vyhovovala WBL v určitých situacích lepení, ale doporučuje se pokusit se WBL odstranit před lepením, pokud je to vůbec možné. Skvělým příkladem skupiny adheziv, které mohou tolerovat vlhkost ve „vlhké“ WBL, jsou adheziva založena na isokyanátové funkčnosti. Isokyanáty mohou chemicky reagovat s vodou (hydroxylovými skupinami) a vytvářet močovinové vazby, které přispívají k adhezivnímu spoji. Adheziva, která jsou katalyzována silnými kyselinami nebo zásadami během procesu vytvrzení, mohou také ovlivnit povrch adherendu a pomoci „aktivovat“ starý povrch.

2.7. Speciální mechanismy lepidel na bázi elastomeru

Důležitou třídou adheziv, která vykazují charakteristiky jak pevné látky, tak kapaliny, jsou adheziva na bázi elastomerů, mezi něž patří tlaková adheziva a adheziva na bázi kontaktního spoje. Mnoho adheziv na bázi elastomerů je ve formě silně viskózních kapalin, které jsou kombinovány s flexibilními substráty ve formě pásek, které lze okamžitě spojit s různými materiálovými substráty pomocí nízkého tlaku (lepidla citlivá na tlak). Kontaktní pojivová lepidla jsou reprezentována vytlačovatelnými konstrukčními lepidly, tmely a tmely, které jsou vysoce viskózní a také vytvářejí relativně okamžité polostrukturální spoje. Hlavní rozdíly mezi lepidly citlivými na tlak a lepidly kontaktního spoje jsou pevnost spoje při aplikaci lepidla a doba potřebná k udržení spoje. Lepidla na elastomerní bázi mají charakteristické adhezní chování popsané jako lepkavost nebo lepivost, které napomáhají vytvoření téměř okamžitého adhezivního spojení. Lepkavost vzniká přidáním nízkomolekulárních, pryskyřicových lepidel k elastomerovým polymerům používaným při formulaci adheziv na bázi elastomerů. Teploty skelného přechodu a měknutí lepkavých lepidel jsou často mnohem nad teplotou místnosti. Existuje několik definic lepivosti, včetně definice Pressure-Sensitive Tape Council, „stav adheziv, když se cítí lepkavý nebo velmi adhezivní“, a definice ASTM, „vlastnost adheziv, která mu umožňuje vytvořit spoj s měřitelnou pevností ihned poté, co jsou adherend a adhezivo přivedeny do kontaktu za nízkého tlaku.“ Vizuální příklad lepivosti je ukázán na obrázku 12. Překvapující charakteristikou adheziv na bázi elastomerů je, že intenzita lepkavosti nebo lepivosti, která je formulována pro konkrétní adhezivum, je největší při teplotě aplikace, a tato lepivost bude klesat jak pod, tak nad formulovanou teplotou aplikace. Lepidla na bázi elastomerů, a vlastně jakákoli adheziva, která vykazují lepivost, musí zohlednit také další charakteristiky adheze, jako jsou povrchové napětí, smáčivost, mechanické zaklínění a další, aby zajistily správnou adhezi se substrátem. Nicméně, podle názoru autora, zákonitost lepivosti nebo lepkavosti si zasluhuje zvážení mezi mechanismy adheze.



Obrázek 12 Chování lepivého (lepkavého) lepidla při lepení dvou kusů dřevěných lepidel

3. LEPIDLA V DŘEVOZPRACUJÍCÍM PRŮMYSLU

Lepidla v dřezpracujícím průmyslu jsou klíčové pro spojování dřevěných komponentů. Existují různé typy lepidel: tavná, studená a reaktivní. Tyto lepidla se používají v různých aplikacích, jako je lepení nábytku, opravy vad dřeva a výroby nábytku včetně materiálů na bázi dřeva. Základní schéma rozdělení lepidel: z přírodních surovin, syntetická lepidla, tmely a speciální lepidla.

Lepidla z přírodních surovin

Lepidla živočišného původu

- glutinové klišy
- kaseinové klišu
- alubiminové klišy

Lepidla rostlinného původu

- škrobová
- deriváty celózy
- rostlinné gumy
- algináty
- přírodní kaučuk

Lepidla s minerálními pojivy (maltoviny) - vodní skla, cementy

Syntetická lepidla

Dvousložková (termoreaktivní) lepidla

- močovinoformaldehydová
- melaminoformaldehydová
- fenolformaldehydová
- rezorcinformaldehydová
- epoxidová
- izokyanátová
- polyesterová
- sekundová

Disperzní lepidla (vodou ředitelná lepidla)

- polyvinylacetátová
- akrylátová
- kopolymerní

Roztoková lepidla

- Kaučuková
- speciální
- deriváty celulózy

Tavná lepidla

- Ethylvinylacetátová
- polyamidová
- polyesterová
- polyuretanová
- kaučuková
- polyolifenická

Termoplastická lepidla

- Akrylová
- vinylová

Speciální lepidla

Lepivé tmely

3.1. Lepidla z přírodních surovin

Lepidla z přírodních surovin jsou vyrobena z materiálů, které jsou šetrné k životnímu prostředí, ale špatně snášejí vlhkost. Tyto lepidla mohou být vyrobena z různých přírodních materiálů, včetně smůly z jehličnanů a dřevěného uhlí, nebo živočišného původu.

3.1.1. Lepidla živočišného původu

Lepidla živočišného původu se získávají trávením kostí, kůže, šlach a dalších zvířecích orgánů. Zlepšená schopnost lepidla je způsobena dvěma látkami glutin a chondrin. První zmínky o použití živočišného lepidla pocházejí z doby 2000 př. n. l. Kromě vaječných bílků, používali lidé další přírodní přísady jako krev, kosti, kůži, mléko, sýr, zeleninu a zrna. Římané byli jedni z prvních, kteří použili těr a včelí vosk k utěsnění lodí.

- Glutinová lepidla (klich – z koster a kůží)
- Kaseinová lepidla (z bílkovin)
- Albuminová lepidla (z krve jatečných zvířat)

GLUTINOVÁ LEPIDLA

Slouží svému účelu celá staletí. Ještě dnes jsou oblíbená zvláště v uměleckém truhlářství a při výrobě hudebních nástrojů. Rozpouštějí se v teplé vodě ohřáté na 60 až 80 °C, ale vařením se silně poškozuje. Rozpouštění trvá 2–3 hodiny. Aby se lepidlo nepřipalovalo na dně nádoby, rozpouští se ve dvojité nádobě (klihovaru); do vnitřní části klihovaru se vloží granulované lepidlo spolu s vodou v poměru 1 hmotnostní díl lepidla (Obr. 13) a 2 hmotnostní díly vody. Vnější nádoba obsahuje pouze vodu, která působí jako termostat a zabraňuje připalování klihu.



Obrázek 13 Lepidlo z kostního klihu ve formě granulí

KASEINOVÁ LEPIDLA

Kaseinové lepidlo (Obr. 14) je v podstatě odtučněný, vysušený a na prášek rozemletý tvaroh, který se mísí s páleným práškovým vápnem a potaší, nebo hydroxidem sodným. Hmotnostní poměry jednotlivých složek jsou: 75 % kaseinu, 20 % vápna a 5 % potaše nebo hydroxidu sodného. Dobře promíchaná směs se rozpouští ve vlažné vodě v poměru 1 objemový díl prášku a 2 díly vody. Roztok má barvu i konzistenci smetany. Kaseinové lepidlo se nehodí pro dýhování, přítomné alkalické látky pronikají přes dýhu a způsobují neodstranitelné žluté a hnědé zbarvení. Nevýhodou je rychlé otupování nástrojů.



Obrázek 14 Kaseinové lepidlo ve formě prášku

3.1.2. Lepidla rostlinného původu

Lepidla rostlinného původu jsou organická a získávají se z rostlin. Zahrnují škroby, pryskyřice, rostlinné gumy, pektiny, klovatinu a přírodní kaučuk. Škroby jsou jedním z nejstarších známých lepidel a používají se v různých aplikacích, včetně lepení papíru a výroby lepidel pro sklo a porcelán. Pryskyřice, rostlinné gumy a pektiny jsou dalšími běžnými rostlinnými lepidly. Klovatina je lepidlo získané z rostlin a je široce používána v průmyslu. Přírodní kaučuk je také často používán jako lepidlo díky svým vynikajícím adhezním vlastnostem.

Hlavními zástupci jsou:

- škrobová lepidla
- deriváty celulózy
- rostlinné gumy
- algináty
- přírodní kaučuk

Škrobová lepidla

Hlavní představitel rostlinných lepidel. Základem je škrob pšeničný, bramborový a kukuřičný. Škrob se skládá ze dvou hlavních polymerníchází: amylázy (relativní mol. hmotnost 50 000 až 160 000) a amylopektinu (relativní mol. hmotnost až 400 000). Vlastnosti škrobových lepidel jsou lepivost rozličných materiálů jako jsou pórovité i nepórovité materiály. Spoje nejsou odolné vůči působení vody, bakterií a plísní. Používají se pro lepení tapet, papíru a jako kancelářské lepidlo. Výhodou je nízká cena.

Deriváty celulózy

Karboxymethylcelulóza (CMC) je derivát celulózy s karboxymethylovými skupinami ($\text{CH}_2 - \text{COOH}$) navázanými na některé z hydroxylových skupin glukopyranózových monomerů, které tvoří kostru polymeru. Často se používá i sodná sůl karboxymethylcelulózy. Je hygroskopická a rozpustná ve vodě na rozdíl od celulózy, která je nerozpustná ve vodě. CMC se používá v potravinářství ke změně viskozity (k zahušťování) a ke stabilizaci emulzí v řadě výrobků. Přidává se také do mnoha nepotravinářských výrobků, například lubrikantů, zubních past, projímadel, dietních tablet, vodou ředitelných nátěrových hmot, čisticích prostředků, výrobků z papíru a pro změnu velikosti oděvů.

Nitrát celulózy je vysoce hořlavá látka vzniklá esterifikací celulózy působením kyseliny dusičné nebo silné nitrační směsi. Je to silná trhavina náchylná k deflagračně-detonačnímu přechodu. Hoří velmi jasným žlutým plamenem bez zápachu a bez nespalitelných zbytků. Rozpustnost ve vybraných organických rozpouštědlech (aceton, ether, rozpouštědla esterového typu, částečně ethanol) a nerozpustnost ve vodě.

Acetobutyrát celulózy je organická a syntetická sloučenina, kterou lze získat v pevném stavu jako vločky, vločky nebo bílý prášek. Je vyroben ze suroviny získané z rostlin: celulózy, což je homopolysacharid. Může být ve formě sodné soli. Je hygroskopická a rozpustná ve vodě na rozdíl od celulózy, která je nerozpustná ve vodě.

Rostlinné gumy

Koloidní roztoky sacharidů ve vodě tvoří viskózní roztoky. Jsou to gumy vylučované jako "hojivé zábaly" poraněné višně a různých druhů jižních akácií (arabská guma). Použití pro výrobu tužek lepidlo TRAGENT a pro kancelářská lepidla.

Algináty

Škrobové látky obsažené v některých mořských řasách v množství až 30 %. Vyluhováním a odpařením se získává AGAR, který ve vodě bobtná a po zahřátí se rozpustí. Po ochlazení gelovatí. Agar je obdoba glutinových lepidel. Jeho spoje nejsou odolné vůči vodě, což znamená, že jeho spoje nejsou stabilní a mohou se rozpustit, pokud jsou vystaveny vodě nebo vlhkosti. Tato vlastnost agaru je důležitá při jeho použití v potravinářství a dalších aplikacích, kde je žádoucí, aby se gel rozpustil a uvolnil svůj obsah při kontaktu s tekutinou. Je zajímavé, že agar je obdobou glutinových lepidel, která jsou také polymery s podobnými vlastnostmi vytváření gelovitých struktur. Glutinová lepidla jsou však obvykle získávána z obilovin, zatímco agar pochází z mořských řas. Oba tyto polymery jsou důležité pro své schopnosti zahušťovat a gelovat, což je využíváno v různých průmyslových procesech a potravinářských aplikacích.

Přírodní kaučuk

Přírodní kaučuk je elastomer, který se získává zpracováním přírodního latexu, který vytéká z nařezané kůry kaučovníku brazilského „*Hevea brasiliensis*“. Z hlediska chemického složení se jedná o cis polyizopren. Kaučukovníky se až do poloviny 19. století pěstovaly jen na plantážích v Jižní Americe. Přírodní kaučuk je základem k výrobě pryže, plastů a gumy. Vysoká flexibilita využití kaučuku je dána především díky vysoké elasticitě, pružnosti a snadnému zpracování.

Lacentex – lepidlo pro výrobu gumožíní a lepení čalounických materiálů. Přírodní latex se vyznačuje zdravotní nezávadností a pružnými elastickými spoji. Zvýšení pevnosti se docílí vulkanizačními přísadami na bázi ZnO_2 . Roztoky přírodních kaučuků v organických rozpouštědlech jsou kaučuková (kontaktní) lepidla. Při jejich aplikaci se nanáší oboustranný nános lepidla na oba adherendy.

3.1.3. Lepidla s minerálními pojivy

Lepidla s minerálními pojivy jsou typy lepidel, které využívají minerály jako pojivo. Tato lepidla se často používají ve stavebnictví, ale nalezneme je i v dřevozpracujícím průmyslu například:

- vodní sklo
- sádra
- cementy
- asfalty

Vodní sklo – koloidní vodný roztok křemičitanu sodného (Na_2SiO_3). Vodní sklo se používá jako lepidlo, například na lepení šamotového obložení kamen – reaguje se vzdušným oxidem uhličitým a tvrdne. V minulosti se používalo také při restaurování ke konzervaci povrchu soch, což ale z dlouhodobého hlediska památkám přitížilo. Vodní sklo se používá ve stavebnictví k urychlení tuhnutí cementových směsí a k mineralizaci dřevěných konstrukcí, a tím i k ochraně proti požáru. Vlivem vody a oxidu uhličitého (CO_2) dochází k vyloučení gelu $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, který dřevo mineralizuje.

Sádra, cementy

Sádra: Sádra je materiál, který se často používá ve stavebnictví, je tvořen sádrovým jádrem v kombinaci s celulóзовými vlákny. Sádra je vyráběna ze sádrovce a dalších přísad. Po smíšení s vodou dochází k opětné hydrataci a vzniká zářivě bílá, poměrně pevná a tvrdá hmota. Sádra se také používá jako lepidlo v koncentraci 33–60 %. Pro výrobu sádry se smíchá sádrovec s vodou, čímž dochází k opětné hydrataci a vzniku sádrové kaše. Tato kaše se poté odlévá do forem a nechává ztuhnout. Po ztuhnutí se sádra vysuší a zpevní, vytvářející zářivě bílou, poměrně pevnou a tvrdou hmotu.

Cementy: Cementová lepidla jsou dominantní lepicí hmotou pro izolanty v systému ETICS. Jsou to tenkovrstvá cementová lepidla se speciálními přísadami. Cementotřískové desky se vyrábí lisováním částic na bázi dřeva, které jsou spojeny cementem s různými přísadami. Po lisování pod vysokým tlakem vznikne rozměrově stálá odolná deska. Pro zajištění hladkého povrchu těchto desek jsou na střední vrstvu desky nanášeny hrubší frakce dřevěných třísek oboustranně. Poté jsou aplikovány souvislé vrstvy jemnějších třísek, což vede k vytvoření hladkého povrchu desky. Tento proces má za následek vznik desek s vysokou pevností a stabilitou, které jsou ideální pro použití v systémech ETICS. Cementová lepidla se poté aplikují na povrch těchto desek, aby se umožnila adheze izolačních materiálů, jako jsou polystyrenové desky, k povrchu budov. Tyto lepidla mají schopnost vytvořit pevné a trvanlivé spoje mezi izolanty a podkladem, což je klíčové pro úspěšnou instalaci systému ETICS a zajištění jeho dlouhodobé funkčnosti a účinnosti v izolaci budovy.

Keramická lepidla,

Keramická lepidla jsou lepidla na bázi kovových a nekovových oxidů, dusičnanu sodného, kyseliny borité apod. Používají se při lepení kovů a keramiky při zvýšené teplotě nad $500\text{ }^\circ\text{C}$. Lepené spoje odolávají teplotám nad $+3000\text{ }^\circ\text{C}$, což je výhodné v průmyslových odvětvích, jako je metalurgie, výroba keramiky, výroba vysokoteplotních pecí nebo výroba speciálních komponentů pro letectví a kosmonautiku. Keramická lepidla jsou navržena tak, aby vytvářela pevné a odolné spoje při vysokých teplotách, což je činí ideálními pro aplikace v prostředí, kde jsou kladeny vysoké nároky na tepelnou stabilitu a mechanickou pevnost. Keramická lepidla jsou klíčovým materiálem v mnoha technologických aplikacích, kde je vyžadována vysoká tepelná a mechanická stabilita.

Metalická lepidla

Metalická lepidla jsou speciální typ lepicích hmot, které obsahují směsi tekutých kovů, jako je rtuť (Hg) nebo galium (Ga), smíchané s prášky těžkovitelných kovů. Tyto lepicí hmoty jsou často používány v elektronice, zejména pro spojování elektrických a elektronických součástek na plošných spojích (PCB), čipových kartách, v mikroelektronice a dalších aplikacích. Spoje vytvořené pomocí těchto metalických lepidel jsou známé pro svou vysokou tepelnou a elektrickou vodivost, což je klíčové pro přenos tepla a elektrického proudu v elektronických zařízeních. Metalická lepidla jsou schopna vytvářet pevné a trvanlivé spoje mezi různými materiály, jako jsou kovy, sklo, keramika a polovodiče. Díky svým vlastnostem jsou metalická lepidla ideální pro použití v prostředí s vysokými teplotami, jako je elektronika, kde jsou kladeny nároky na odolnost vůči tepelným šokům a vysokým teplotám. Spoje vytvořené těmito lepidly jsou obvykle odolné v teplotním rozmezí od +800 °C až po +1000 °C, což je zásadní pro stabilitu a spolehlivost elektronických zařízení v extrémních podmínkách. V průmyslových aplikacích jsou metalická lepidla často používána pro spojování čidel, senzorů, elektrických vodičů a dalších součástek, kde je vyžadována vysoká tepelná a elektrická vodivost spojů, spolehlivost a dlouhá životnost v náročných prostředích.

Asfaltová lepidla přírodního i syntetického původu,

Přírodní asfaltová lepidla jsou založena na přírodních směsích, které mohou obsahovat přírodní gumu a pryskyřici. Tyto lepidla se využívají v různých dílnách, kancelářích a průmyslu. První lepidla byla vyrobena z přírodní gumy a pryskyřice.

Syntetická asfaltová lepidla jsou založena na syntetických materiálech. První syntetizovaný polymer byl nitrocelulóza, termoplastický materiál odvozený z celulózy dřeva. Syntetická asfaltová lepidla mohou být použita v různých aplikacích, včetně lepení asfaltových pásů.

Speciální asfaltové lepidlo – homogenní roztok asfaltu, kaučuku a pryskyřice v kapalném prostředí. Má vysokou lepicí sílu i za nízkých teplot. Lepení při pokojových podmínkách, dříve lepení parketových podlah.

- používá se tehdy, když není možné použít natavení plamenem
- pro nanesení asfaltového lepidla je možné použít i štětec, váleček nebo asfaltový kartáč, spotřeba asfaltového lepidla je cca 0,4 kg/m², na takto natřenou plochu se rozvinutím role položí pás, který se vlastní tíží spojí s lepidlem.

3.2. Syntetická lepidla

Od 30. let minulého století postupně nahrazují lepidla přírodní. Oproti přírodním lepidlům se vyznačují větší pevností lepeného spoje, tepelnou, chemickou a biologickou odolností. Syntetická lepidla jsou vyrobena z chemických sloučenin a jsou široce používána v dřevozpracujícím průmyslu. Mezi hlavní zástupce patří lepidla uvedená níže.

- Lepidla nereaktivní:
 - *roztoková*: tuhnoucí v důsledku vytékání vody anebo organického rozpouštědla
 - *disperzní*: tuhnoucí v důsledku vsáknutí vody do dřeva
 - *tavná*: tuhnoucí po ochlazení lepené spáry na normální teplotu
- Lepidla reaktivní:
 - *jednosložková*: tuhnoucí účinkem zvýšené teploty nebo vzdušné vlhkosti
 - *dvou a vícesložková*: tuhnoucí vlivem tvrdících katalyzátorů za normální i zvýšené teploty
- Lepidla pro nekonstrukční aplikace:
 - lepidla, která splňují třídu trvanlivosti D1 až D4 podle ČSN EN 204 a C1 až C4 podle EN 12765
- Lepidla pro nosné dřevěné konstrukce:
 - lepidla vyhovující normám pro nosné konstrukce podle ČSN EN 301, ČSN EN 15425 a ČSN EN 302

3.3. Lepidla nereaktivní

Nereaktivní lepidla jsou typy lepidel, které nevytvářejí chemické vazby během procesu lepení. Na rozdíl od reaktivních lepidel, která tvrdnou chemickou reakcí a vytvářejí trvalé spoje, nereaktivní lepidla se spoléhají na fyzické interakce, jako je sušení nebo chladnutí, aby vytvořila spoj.

3.3.1. Rostoková lepidla

Rostoková lepidla jsou typy lepidel, které se skládají z lepidla rozpuštěného v rozpouštědle. Při aplikaci se rozpouštědlo odpařuje, což umožňuje lepidlu vytvořit pevné spojení. Rostoková lepidla mohou být na bázi různých materiálů, včetně SBR kaučuku². Spotřeba při stříkání je obvykle 100–120 g/m². Rozpouštědlo může tvořit až 65 % objemu lepidla.

Rostoková lepidla se vyznačují:

- dobrou odolností proti vodě, povětrnostním vlivům
- dobrou odolností proti povětrnostním vlivům
- poměrně krátkou otevřenou dobou
- částečnou odolností proti chemikáliím a olejům
- možností přípravy lepidel s různou hmotností a hustotou
- cenovou výhodností
- dlouhou dobou skladovatelnosti

Nevýhody při jejich použití:

- hořlaviny prvního stupně
- zdraví škodlivé
- nutno dodržovat předpisy pro práci s hořlavinami
- emitují velké množství emisí do ovzduší VOC

Nejvýznamnější zástupci jsou **kaučuková lepidla**. Doplnují se vulkanizačním činidlem a vulkanizují za tepla, při teplotě 140 až 170°C, případně za zvýšeného tlaku. Použití těchto lepidel od -120°C do 190°C. Lepidla se nanášou na podklad, následně se odpaří a odvětrá ředidlo. Potom se přiloží k sobě oba spojované adherendy a zatíží se tlakem. Kohezní síly se v lepidle začnou vytvářet po odpaření ředidla a následně při zatížení relativně vysokým tlakem. Molekuly lepidla ve vrstvách, které se nachází na obou lepených materiálech, jsou těsně vedle sebe po odpaření ředidla. Po dotyku a lisování obou dílů se spojují tvárné povrchové molekuly obou vrstev lepidla silnými adhezivními a slabými kohezními silami. Lisovací tlak způsobuje i zvýšení adhezních sil mezi vrstvou lepidla a povrhem spojovaného dílu.

Polychloroprénová lepidla (kontaktní, neoprénová, polychlorbutadienová lepidla) se dodávají v kapalně formě. Lepidlo se nanáší na obě plochy slepovaných povrchů, které se smí spojit až po odpaření ředidla. Plochy s lepidlem musí být na omak suché. Silně savé podklady vyžadují někdy i dva nánosy. Slepění vyžaduje krátký a vysoký lisovací tlak 0,5 N/mm² až 1,5 N/mm². Optimální pevnost kaučukových lepidel dosáhne lepený spoj až několik hodin až dnů.

3.3.2. Disperzní lepidla

Disperzní lepidla jsou částčky lepidla jemně a rovnoměrně rozptýlené čili dispergované v jiné látce, v disperzním prostředí, kterým je většinou voda nebo alkoholy

- Hrubodisperzní
 - Střední disperzní
 - Jemně disperzní
- } velikost částic 100 - 1000 nm

Charakteristické vlastnosti disperzních lepidel

- Sušina lepidel 50-60 % hmot
- Viskozita vyšší
- Obsahují volný monomér
- MFT důležitá teplota. Je to nejnižší teplota, při níž lepidlo vytváří souvislý a homogenní film.
- Otevřená doba je doba od nanesení lepidla na jeden z adherendu do jeho zaschnutí, kdy již dostatečně nesmáčí povrch druhého adherendu.

Polyvinylacetátová lepidla

Polyvinylacetát (PVAc), známý také jako bílé lepidlo na dřevo, bílé lepidlo nebo lepidlo PVA, je syntetický polymer. Je to jedna ze základních surovin používaných v moderních syntetických lepidlech na bázi vody. Lepidla PVAc lze formulovat tak, aby splňovala specifické požadavky aplikace. PVAc lepidla se vyrábí emulzní polymerací polyvinylacetátu. Disperzní lepidla na bázi PVAc se používají zejména pro montážní lepení ve výrobě nábytku. Disperzní PVAc montážní lepidla dosahují vyšší pevnosti, než je pevnost dřeva (masivu). Pevnost adheziva ve smyku v lepeném spoji > 10MPa.

Oblast použití:

- montáž kolíkových spojů
- montáž masivního dřeva, např. sedací nábytek
- lepení spárovek
- lepení DTD na tupou spáru
- výroba hraček
- dýhování

Lepený spoj má vysokou pevnost. Lepidlo rychle vytvrzuje, doba lisování je 5 až 20 minut v závislosti na typu spoje. Minimální filmová teplota (MFT) je přibližně 13 °C a vyšší. Existují různé modifikace lepidla s krátkou až dlouhou otevřenou dobou. Lepidlo má omezenou voděvzdornost vůči působení vody. Jednosložková lepidla jsou modifikována, například pro lepení lakovaných ploch, a jsou odolná vůči působení studené vody.

Technologie montážního lepení kolíkového spoje

Při nánosu lepidla pro montážní lepení a kolíkový spoj je doporučená hmotnost 120 g/m². Otevřená doba, což je doba mezi nanesením lepidla a spojením dílů, by měla být maximálně 2 až 3 minuty. Tolerance těsnosti spoje by měla být - 0,2 mm. Po nánosu montážního PVAc do kolíkového spoje lze rozlišit tři fáze:

- 1) fáze držení kolíku pouze třením, v této fázi dochází k oddifundování vody do adherendu, a tím k bobtnání kolíku působením této vody
- 2) tvorba lepidlového filmu
- 3) narůstání koheze lep. filmu

Žádné disperzní lepidlo nevytvoří film do 3 minut, proto je doba lisování minimálně 5 minut. Manipulační pevnost, to je pevnost, kdy lze s lepeným souborem manipulovat, aby nedošlo k porušení, je 5–10 minut. Konečná pevnost lepeného spoje je po 24 h. Po 4 - 6 h je pevnost lepeného spoje cca 80 %.

Polyakrylátové a kopolymerní disperzní lepidla

Vodné disperze derivátů polyakrylátové kyseliny. Lepidlové filmy těchto disperzí jsou podstatně měkčí než lepidlové filmy PVAC disperzí.

- deriváty kyseliny akrylové se používají jako tlakocitlivá lepidla pro etikety, samolepky a k lepení čalounických materiálů, při opláštování profilů zejména MDF papírovými foliemi, přičemž vznikají problémy při přelepení fólií a bobtnání podkladu, který se kopíruje pod fóliemi s nižší gramáží.

Kopolymery – Akrylátová lepidla

VAC – akrylát je speciální lepidlo ideální pro rychlé spojování nábytkářských hran PVC, ABS, HPL, nábytkových desek, potahových materiálů, pryže, korku, většiny kovů a plastových vložek. Vyznačuje se vysokým obsahem pevných částic, rychlou a pevnou vazbou. Má dobrou odolnost proti vysokým teplotám. Akrylátová lepidla, jako je VAC, se používají hlavně pro přenos velkého zatížení jako náhrada běžných metod mechanického spojování. Dvě části slepené tímto lepidlem se mohou považovat za konstrukčně spojené.

Speciální dvousložková lepidla

Většinou různé typy kopolymerů a terpolymerů. Zpracovávají se ve směsi s tvrdidlem, protože speciální lepidla mají ve své makromolekule zabudovanou funkční skupinu, která může reagovat s tvrdidlem a způsobit síťování řetězců makromolekul se vznikem trojrozměrné struktury. Dosáhne se většinou zvýšení voděvzdornosti spojů.

Příklady speciálních dvousložkových speciálních lepidel:

PVAC -UF močovinoformaldehydové lepidlo + NH_4Cl - reakcí mezi PVAC a UF lepidlem vzniká methyльмоčovina

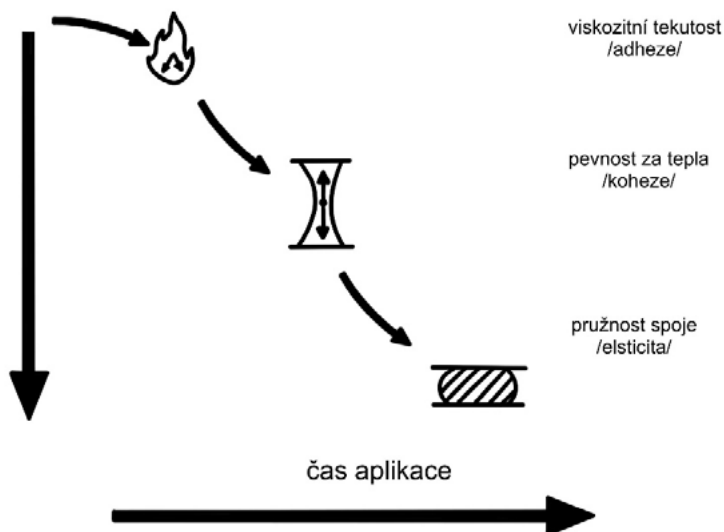
PVAC + PRYSKYŘICE - Speciální katalyzovaná lepidla jsou používána pro lepení lakovaných ploch

3.3.3. Tavná lepidla

Jsou termoplastické látky, které zahřátím přecházejí do plastického (tekutého) stavu, a v tomto stavu jsou schopny slepovat různé materiály. Po ochlazení spoje ztuhnou a spoj získává velmi rychle požadovanou pevnost. Za normální teploty jsou to pevné látky termoplastického charakteru (Obr. 15). V dřevozpracujícím průmyslu se používají například v olepovačkách bočních ploch.

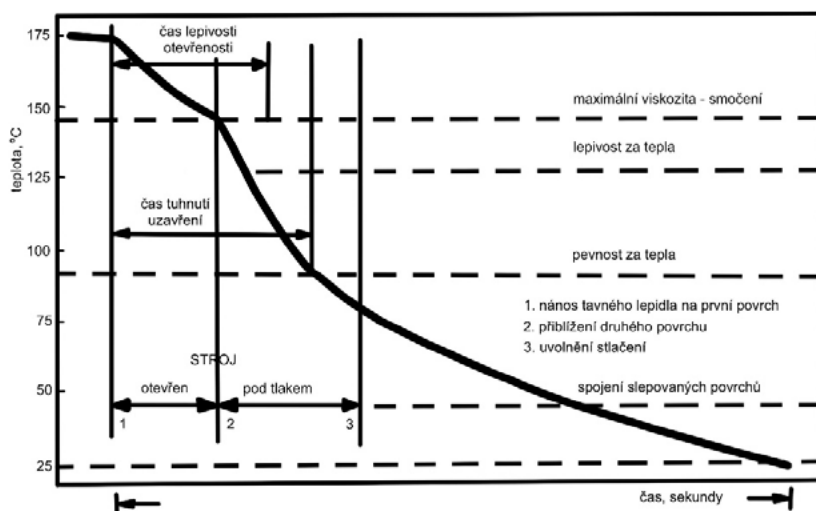
Výhody tavných lepidel:

- jsou použitelná pro různé druhy substrátů
- aplikují se pomocí jednostranného nánosu lepidla
- mají několika sekundový čas tuhnutí
- dávkování tavného lepidla do tavicího zařízení probíhá přímo z přepravního obalu
- vývoj tavného lepidla probíhá společně s rozvojem výroby aplikačního zařízení
- široké možnosti sestavení formulací tavných lepidel pro splnění provozních potřeb pro různá použití
- aplikace se uskutečňuje přímo na slepovaný povrch v horizontální nebo vertikální poloze
- jednoduché skladování a manipulace v přepravním obalu
- jednoduché čištění a údržba činnosti aplikačního zařízení
- není požadavek tenkého nánosu lepidla
- nezatěžují životní prostředí emisemi VOC (100% sušina)



Obrázek 15 Proces tuhnutí tavného lepidla

V cyklu chlazení horké taveniny (ze 130°C až na 215°C) na pokojovou teplotu, prochází tavné lepidlo změnami od viskozitní tekutosti přes období pevnosti za tepla až do stavu elasticity. Tím plní svou praktickou funkci v průběhu aplikace na sledovaný povrch (Obr. 16).



Obrázek 16 Typický cyklus účinnosti tavného lepidla po roztavení

Tavná lepidla jsou na surovinové bázi EVA kopolymerů, bázi PA, na bázi polyolefinů, kaučuků a termoplastických polyesterů. Základní báze tavných lepidel se vyrábí polymerací.

Tavná lepidla mohou být ve stavu sklovitém, což je základní skupenství za normální teploty, ve stavu viskoelastickém (měkce elastickém), což je stav změknutí za působením zvýšené teploty a plastickém. V tomto stavu se lepidlo ve stavu taveniny nanáší. Ochlazením na adherendu se tavné lepidlo vrací ze stavu plastického přes viskoelastický do sklovitého. Změna stavu je reversibilní.

Principy aplikace tavných lepidel

Tavná lepidla se po roztavení v plastickém stavu nanášejí pouze na jeden povrch slepovaných substrátů. Aplikace může být ve formě kapek, proužků, přerušovaných proužků, rastrovacích plošek a rozprášených kapek. Způsob aplikace taveniny na substrát dotykem (válečkem, ozubeným kolečkem) a nástřikem tryskovým systémem. Aplikace nástřikem probíhá tryskovým schématem, který využívá ozubené čerpadlo a vzduchovou pumpu. Použití tavného lepidla probíhá také v automatických linkách (zařízení firmy NORDSON nebo HELTON), ale i ručně pomocí pistole (zařízení firmy 3M nebo HUBNER). Nanášecí zařízení pro tavná lepidla je pročištěno roztaveným voskovým čističem dodávaným výrobcem tavných lepidel. Mimo tavná lepidla se všechna ostatní lepidla nanášejí ve stavu emulze.

Tavná lepidla na bázi EVA kopolymerů

Typické složení tavných lepidel na bázi polyethylenvinylacetátu obsahuje tyto čtyři základní složky:

- kopolymery EVA 30 % až 40 %
- pryskyřice 30 % až 40 %
- vosky 20 % až 30 %
- antioxidanty cca 1 %

Množství a poměr každé složky ke kopolymeru EVA se řídí požadavky na účinnost pro vybranou aplikaci. Hlavním předpokladem použitelnosti daného typu kopolymeru je dobrá tavitelnost, mísitelnost (kompatibilita) s pryskyřicemi a vosky a termostabilita. Kopolymer dává tavnému lepidlu pevnost a tuhost, modifikující pryskyřice přilnavost a vosky upravují rychlost tuhnutí. Pryskyřice dále snižuje vysokou mez pružnosti kopolymeru, snižující viskozitu tavného lepidla za zvýšené teploty.

Nevýhodou tavných lepidel na bázi EVA kopolymerů je skutečnost, že nejsou odolné teplotám již o několik stupňů nižší než jejich bod měknutí, tím se stávají nevhodnými pro konstrukční lepení.

Tavná lepidla na bázi PA

Polyamidová lepidla se používají pro olepování bočních ploch se zvýšenou tepelnou odolností (koupelnový a kuchyňský nábytek) > 100 °C. Vyznačují se vyšší odolností vůči působení teploty.

Tavná polyesterová lepidla

Tavná polyesterová lepidla se používají na olepování bočních ploch se zvýšenou tepelnou odolností (koupelnový a kuchyňský nábytek) > 140 °C a výrobu obuvi. Tato lepidla jsou obvykle vyrobena z polyesterových pryskyřic, které jsou taveny za vysokých teplot na lepicí bod a aplikovány na povrchy, které mají být spojeny. Po ochlazení se tato tavná lepidla zpevní a vytvoří trvalý a pevný spoj.

Tavná lepidla polyuretanová

Tavná polyuretanová lepidla se používají pro obtížně lepitelné hrany se zvýšenou tepelnou odolností a odolností proti horké vodě se zvýšenou tepelnou odolností. Vyznačují se postupným síťováním vzdušnou vlhkostí.

Tavná lepidla na bázi Polyolefinů OPAO

Polyolefiny jsou zpolymerizované nenasycené uhlovodíky s jednou dvojnou vazbou nazývané také alkeny, které se používají pro výrobu tavných lepidel na bázi polyolefinů. Mají dobré mechanické vlastnosti, ale špatně se barví. Vyznačují se vyšší odolností vůči působení teploty a vlhkosti než EVA tavná lepidla. Oblast použití tavných lepidel: olepování rovných bočních ploch, olepování zaoblených bočních ploch, montážní lepení, opláštování profilů, opláštování ploch, lepení čalouněného nábytku.

Technologie lepení tavnými lepidly základní podmínky:

- olepování rovných bočních ploch, nános lepidla na dílec, teplota na nanášecím válečku 200 ± 10 °C, nános lepidla 200–250 g/m²
- softforming nános lepidla na olepovaný materiál, postupné přitlačování, větší náročnost procesů
- oplášťování profilů používají se tavná lepidla bez plniv:
 - množství nánosu 80–110 g/m²
 - rychlost posuvu 15–60 m jsou m/min
 - způsob nánosu tryskami
 - plochu nutno předeřhřívát fény
 - po nanesení lepidla a po oplášťování dílce foliemi jsou dílce následně zahřívány fény
- montážní lepení používají nízkoviskózní tavná lepidla, otevřená doba lepidla 30–60 s, nanášení – ruční pistole, hadicové agregáty
- čalounická lepidla tavná se vyznačují problémem studeného toku

3.4. Lepidla reaktivní

Reaktivní lepidla jsou typy lepidel, které tvrdnou chemickou reakcí. Hlavními zástupci jsou:

- **Termoreaktivní lepidla**
- **Termoplastická lepidla**

3.4.1. Termoreaktivní lepidla

Termoreaktivní lepidla jsou mezi nejstaršími a zároveň velmi rozšířenými syntetickými lepidly. Tato lepidla mají zasíťovanou molekulu, což znamená, že jsou nerozpustná a netavitelná. To znamená, že jednou vytvrzená, tato lepidla se nemohou vrátit do své původní kapalné formy. Termoreaktivní lepidla jsou nejčastěji dvousložková, což znamená, že jsou tvořena dvěma složkami, které reagují chemicky za zvýšené teploty a tlaku. Tato lepidla tvoří pevný spoj pomocí chemické reakce dvou složek. Patří sem například močovinoformaldehydová lepidla (UF) a fenolformaldehydová lepidla (PF), která mají výrazně vyšší odolnost proti působení vlhkosti. Tyto vlastnosti činí termoreaktivní lepidla ideálními pro řadu aplikací, včetně výroby překližek, dřevotřískových a dřevovláknitých desek nebo k dýhování. Termoreaktivní lepidla jsou také často používána v průmyslu pro spojování různých materiálů.

Mezi ně řadíme lepidla:

- močovinoformaldehydová
- melaminformaldehydová
- fenolformaldehydová
- rezorcínformaldehydová
- epoxidová
- izokyanátová
- polyuretanová

Způsob výroby

- **Polykondenzace** je druh chemické reakce, kdy při **uvolnění jednoduché látky** (např. H_2O , HCl , NH_3 apod.) vzniká makromolekula. Mezi lepidla vzniklá polykondenzační reakcí používaná v dřevařském průmyslu patří:
 - *aminoplasty* (močovinoformaldehydová a melaminformaldehydová lepidla)
 - *fenoplasty* (fenolformaldehydová a rezorcínformaldehydová lepidla)
- **Polyadice** vzniká spojením jednoduchých molekul do makromolekul. V této reakci dochází k přesunu vodíku z jedné molekuly na druhou, přičemž již **nedochází k uvolnění jiných látek**. Do této skupiny můžeme zařadit lepidla:
 - epoxidová
 - polyuretanová

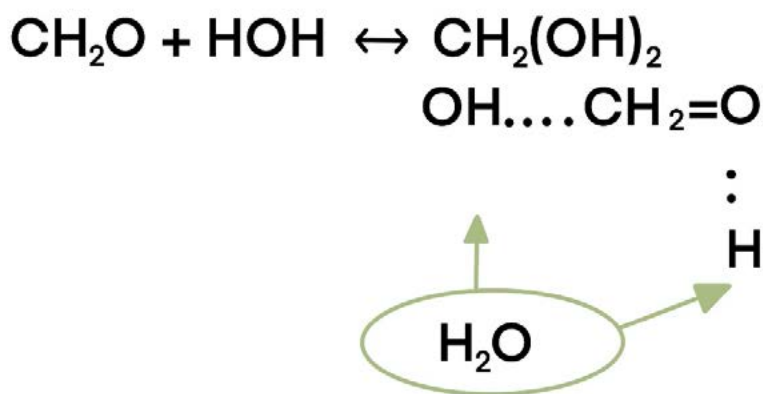
Močovinoformaldehydová lepidla

Jsou to nejvíce používaná lepidla. Používají se pro plošné lepení DTD. Tato lepidla jsou nejčastěji vyráběná, a proto jsou cenově velmi výhodná. Močovinoformaldehydová lepidla jsou připravovaná kondenzací močoviny s formaldehydem v rozmezí molárních poměrů. Jsou to čiré až bílé zakalené viskózní kapaliny nebo bílé prášky, rozpustné ve vodě, které při vytvrzování i dalším užití postupně uvolňují volný formaldehyd. Důležitý je poměr přípravy. Jsou k dispozici ve formě tekutin, prášků nebo granulí, což umožňuje různé způsoby aplikace podle potřeby. Nedají se zpracovávat v dodaném stavu, ale je nutné k nim přidat tvrdidlo, které způsobí snížení pH na hodnotu, při které proběhne za normální nebo zvýšené teploty k vytvrzení lepidla. Tato lepidla jsou obvykle chemicky stabilní a mají dlouhou životnost, což přispívá k trvanlivosti spojů a konstrukcí, ve kterých jsou použita. Močovinoformaldehydová lepidla jsou důležitou součástí průmyslových procesů a výrobních operací, zejména ve dřevozpracujícím průmyslu a ve výrobě nábytku, kde poskytují spolehlivé a trvanlivé spoje mezi různými materiály. Je však důležité zacházet s nimi opatrně, protože formaldehyd, který je součástí těchto lepidel, může být toxický a vyvolávat alergické reakce, pokud není řádně ošetřen a používán v souladu s bezpečnostními předpisy.

Suroviny:

Močovina – bílá krystalická látka dobře rozpustná ve vodě $\text{CO}_2 + \text{NH}_3 \rightarrow \text{CO}_2(\text{NH}_2)_2$

formaldehyd – CH_2O za normální teploty plyn, bod varu $19,2^\circ\text{C}$, zdraví škodlivá látka, dráždící sliznice, vyrábí se dehydrogenací metanolu, rozpouští se ve vodě, kde tvoří monohydrát formalín. Na přípravu lepidel se používá koncentrovaný roztok formaldehydu. Chemický vzorec (12) přípravy lepidel se používá koncentrovaný roztok Fd je vyobrazen níže.



(12)

Vzhled

Lepidla mohou být ve formě bílé viskózní kapaliny nebo bílého prášku. Jejich rozpustnost ve vodě je omezená a závisí na druhu lepidla a způsobu jeho výroby.

Vlastnosti a použití

Lepidla na dřevo jsou nejpoužívanější a nejrozšířenější díky své cenové dostupnosti. Mezi jejich výhody patří krátká doba vytvrzování, široké rozmezí vytvrzovacích teplot od 10 do 150 °C a bezbarvost. Na druhé straně, mezi nevýhody patří uvolňování formaldehydu, který ve větší koncentraci může způsobovat zdravotní potíže, a malá vodovzdornost. Tyto lepidla se často používají při výrobě aglomerovaných materiálů.

Melaminformaldehydová lepidla

Melaminformaldehydová lepidla jsou specifickým typem lepidel, která se vyrábí smícháním melamínu s formaldehydem v molárním poměru 1:3. Tato lepidla se vytvrzují za horka, konkrétně při teplotách mezi 90 až 110 °C. Díky tomuto procesu vytvrzování není potřeba přidávat žádná tvrdidla.

Vzhled

Tento produkt je dostupný ve dvou variantách. První je jako vodní roztok, který zůstává tekutý po dobu přibližně 2 týdnů. Po uplynutí této doby se roztok změní v bílou pevnou látku. Pro opětovné použití je nutné tuto látku zahřát na teplotu kolem 75 °C. Druhá varianta je jako prášek, který je nutné před použitím rozpustit ve vodě.

Vlastnosti a použití

Toto lepidlo (MF) nabízí řadu výhod, včetně velmi dobré pevnosti a odolnosti proti vodě a povětrnostním vlivům. Je také zdravotně nezávadný, což znamená, že je bezpečný pro použití v různých aplikacích. Mezi jeho hlavní využití patří lepení dřeva, dřevotřískových desek a překližek. Je také používán při výrobě fólií a impregnaci papírových nosičů.

Nicméně, má také několik nevýhod. Jednou z nich je jeho vyšší cena, což může být pro některé uživatele omezující. Další nevýhodou je malá stabilita jeho roztoků, což může vyžadovat speciální skladování a manipulaci. Přesto však jeho výhody často převažují nad těmito nevýhodami, což z něj činí oblíbenou volbu pro mnoho aplikací.

Fenolformaldehydová lepidla

Fenolformaldehydová lepidla jsou specifickým typem lepidel, která se připravují procesem zvaným kondenzace fenolu. Tento proces vede k vytvoření polykondenzačních látek, které jsou připraveny z fenolu a formaldehydu. Tyto látky jsou následně vytvrzeny, což je proces, který může probíhat za různých podmínek. Jednou z možností je vytvrzení za tepla při teplotě mezi 135 a 165 °C. Tato metoda je často používána v průmyslových aplikacích, kde je k dispozici dostatečné množství tepla. Alternativně mohou být fenolformaldehydová lepidla vytvrzena za normální teploty. Tento proces vyžaduje silné okyselení, což vede k chemické reakci, která umožňuje vytvrzení lepidla. Fenolformaldehydová lepidla jsou díky svým vlastnostem široce používána v řadě aplikací. Nabízejí vysokou pevnost a odolnost, což je činí ideálními pro použití v náročných podmínkách.

Vzhled

Fenolformaldehydová lepidla jsou univerzálními lepidly, která jsou dostupná v různých formách pro různé aplikace. Můžete je najít buď v kapalně formě, která je připravena k okamžitému použití, nebo ve formě lepících fólií, které mohou být použity pro specifické účely.

Fenolické lepící fólie jsou velmi speciální a jedinečné. Jsou to v podstatě velmi jemné druhy nitrocelulózového papíru, které jsou dokonale impregnované fenolformaldehydovým nebo krezolformaldehydovým rezolem. Tato impregnace zvyšuje jejich lepící schopnosti a činí je ideálními pro řadu aplikací.

Nicméně, je důležité poznamenat, že fenolické lepící fólie jsou dosti křehké a lámavé. To znamená, že vyžadují opatrnou manipulaci a skladování, aby nedošlo k jejich poškození. Přesto však jejich vysoká lepící schopnost a univerzálnost činí fenolformaldehydová lepidla oblíbenou volbou pro mnoho využití.

Vlastnosti a použití

Fenolformaldehydová lepidla jsou oblíbená díky svým výhodám. Spojení, která vytvářejí, jsou pružná a odolná proti studené i vroucí vodě, povětrnostním vlivům a mikroorganismům. To znamená, že jsou ideální pro použití v náročných podmínkách. Navíc, mohou být použita i pro lepení dřeva s vyšší vlhkostí, až do 25%. Fenolformaldehydová lepidla mají také několik nevýhod. Jednou z nich je jejich vyšší cena, což může být pro některé uživatele omezující. Další nevýhodou je, že tmavě zabarvují lepenou spáru, což může ovlivnit estetický vzhled výsledného produktu.

Použití fenolformaldehydových lepidel je široké. Jsou ideální tam, kde je odolnost ostatních lepidel vůči vodě nedostatečná. To zahrnuje například použití u oken, vodovzdorných překližek, lodních staveb a při stavbě člunů. Díky svým vlastnostem jsou fenolformaldehydová lepidla skvělou volbou pro tyto a mnoho dalších aplikací.

Rezorcínformaldehydová lepidla

Vyrábí se v molárním poměru rezorcínu a formaldehydu 1: 0,5. Jsou tvrditelná za normální teploty přidáním dalšího formaldehydu ve formě roztoku nebo práškového paraformaldehydu. Lepidlo je zpracovatelné i v neutrálním prostředí, což znamená vyloučení kyselých tvrdidel. Patří mezi vysoce reaktivní montážní lepidlo s vysokou cenou. Rezorcín se vyznačuje takovou reaktivností, že může být částečně nahrazen fenolem. Rezorcínová lepidla jsou vodné roztoky, neutrální nebo slabě alkalické-červené viskózní kapaliny. Spojení tohoto lepidla odolávají kyselinám a teplé vodě. Používají se při lepení nosníků. U rezorcínového lepidla nedostatek Fd nedovoluje ztuhnutí zesíťování, čím je zajištěna neomezená skladovatelnost. Přídavek Fd vytvrdí lepidlo zreagováním za normální teploty. Samotné lepidlo by za normální teploty nezreagovalo.

- Patří k nejkvalitnějším lepidlům na dřevo.
- Reakce nejreaktivnějšího zástupce ze skupiny fenolů – rezorcínu s formaldehydem. Jeho reakce je asi sedmkrát silnější než reakce fenolu.
- Lepidla jsou tvrditelná za normální teploty přidáním dalšího formaldehydu.

Vzhled

Fenolformaldehydová lepidla jsou široce využívána díky svým unikátním vlastnostem a flexibilitě. Jsou k dispozici ve formě alkoholických nebo vodných roztoků, což umožňuje jejich snadné použití v různých aplikacích. Tyto lepidla se prezentují jako viskózní červené kapaliny, které jsou neutrální nebo slabě alkalické. Tato vlastnost zajišťuje, že lepidla jsou kompatibilní s širokou škálou materiálů a povrchů. Jako tvrdidlo se používá paraformaldehyd. Tento chemický prvek pomáhá zvyšovat pevnost a odolnost lepidla, což je činí ideálními pro náročné aplikace. Stabilita směsi při normální teplotě je obvykle 3 až 4 hodiny, což poskytuje dostatek času pro aplikaci a nastavení lepidla předtím, než dojde k vytvrzení. Celkově vzato, fenolformaldehydová lepidla nabízí řadu výhod, které je činí vhodnými pro širokou škálu aplikací. Jejich flexibilita a výkonnost z nich činí oblíbenou volbu pro mnoho průmyslových a stavebních aplikací.

Vlastnosti a použití

Fenolformaldehydová lepidla jsou oblíbená díky svým výhodám. Jsou odolná proti působení studené i vroucí vody, povětrnostním vlivům, kyselinám, slabým zásadám a většině rozpouštědel. To znamená, že jsou ideální pro použití v náročných podmínkách a široké škále aplikací. Fenolformaldehydová lepidla mají také několik nevýhod. Jednou z nich je jejich vysoká cena, což může být pro některé uživatele omezující. Další nevýhodou je zpracovatelnost a životnost lepící směsi, což může ovlivnit jejich praktické využití. Použití fenolformaldehydových lepidel je široké. Jsou ideální pro lepení dřeva, kameniny, termosetických hmot a k lepení pryže. Díky svým vlastnostem jsou fenolformaldehydová lepidla skvělou volbou pro tyto a mnoho dalších aplikací.

Epoxidová lepidla

U epoxidových lepidel probíhá polyadiční reakce v lepeném spoji spojováním molekul bez uvolňování vedlejších zplodin. Patří mezi nejkvalitnější druhy lepidel. Jejich příprava je založena na reakci vícemocných fenolů s epichlorhydrinem. Vytvrzují za studena a za tepla s přídavkem tvrdidel-organických aminů při velmi malých kontrakcích. Je nutno přesně dodržovat stanovený poměr tvrdidla a pryskyřice. Tvrdidla jsou žíraviny (ekzémy). Použití pro lepení dřeva s různými materiály (kovem, sklem, termosety, keramikou), pro lepení nesavých podkladů, netěsných spojů. Vytváří dobré spoje odolné proti vodě a spoje odolné vůči teplotě do 70–80 °C i bez použití tlaku.

Pozor nelepí termoplasty a pryž. Nejsou vhodná pro lepení materiálů s nepolárním povrchem např. polystyrénu, polyethylénu, PVC.

Epoxidová lepidla jsou považována za jedny z nejvyšších druhů lepidel dostupných na trhu. Jejich vysoká kvalita je dána jejich jedinečnou chemickou strukturou a vlastnostmi. Epoxidová lepidla se skládají ze dvou hlavních složek – pryskyřice a tvrdidla. Pryskyřice je základní složkou, která poskytuje lepidlu jeho lepicí vlastnosti. Tvrdidlo, které je často tvořeno polyaminy (například diethylentriaminem), pak reaguje s pryskyřicí a umožňuje vytvrzení lepidla. Jednou z klíčových vlastností epoxidových lepidel je, že během reakce vytvrzování nevznikají žádné těkavé zplodiny. To znamená, že jsou bezpečnější pro použití v různých prostředích, včetně těch, kde je ventilace omezená.

Vzhled

Epoxidová lepidla jsou vysoce kvalitní a skládají se z pryskyřice a tvrdidla, často polyaminů. V nevytvrzeném stavu mohou být kapalné nebo pevné. Pevná lepidla se zpracovávají za zvýšených teplot pro roztavení. Tato lepidla nabízí odolnost vůči různým podmínkám, ale vyžadují opatrnou manipulaci.

Vlastnosti a použití

Epoxidová lepidla po vytvrzení mají spoje odolné vůči mnoha rozpouštědlům, alkáliím a minerálním kyselinám. Pevnost lepeného spoje je závislá na správném poměru tvrdidla a pryskyřice, což umožňuje uživatelům přizpůsobit vlastnosti lepidla podle konkrétních potřeb. Nevýhodou epoxidových lepidel je jejich vysoká cena, což může být pro některé uživatele omezující. Navíc, nejsou vhodné pro lepení materiálů s nepolárním povrchem, jako je například polystyrén. Přesto jsou epoxidová lepidla široce používána v řadě aplikací. Jsou ideální pro lepení kovů, skla a dřeva.

Polyuretanová lepidla

Polyuretanová lepidla jsou specifickým typem lepidel známých jako polyadiční lepidla. Tato lepidla vznikají adiční polymerací polyizokyanátů s vícemocnými alkoholy nebo polyesterem, které jsou bohaté na hydroxylové skupiny. Základem těchto lepidel je reakce izokyanátové skupiny. Izokyanátové skupiny vznikají adiční polymerací polyizokyanátů s vícemocnými alkoholy nebo polyesterem bohatými na hydroxylové skupiny. Založeny na reakci izokyanátové skupiny. Polyuretanová lepidla jsou specifickým typem lepidel, která vznikají adiční polymerací polyizokyanátů s vícemocnými alkoholy. Tento proces vede k vytvoření silných a odolných spojů, které jsou charakteristické pro polyuretanová lepidla. Tato lepidla mohou být jak jednosložková, tak i dvousložková. Jednosložková lepidla vytvrzují odebráním vlhkosti z okolí. To znamená, že reagují s vodní parou v ovzduší, což vede k jejich vytvrzení. Na druhé straně, dvousložková lepidla vytvrzují polyadici, což je chemický proces, který vede k vytvoření pevných a odolných spojů.

Vzhled

Polyuretanová lepidla v nevytvrzeném stavu mají tekutou konzistenci. Jejich barva se může pohybovat od béžové až po hnědožlutou, což závisí na konkrétních složkách a formulaci lepidla. Tato vlastnost umožňuje snadnou identifikaci a manipulaci s lepidlem před jeho aplikací.

Vlastnosti a použití

Polyuretanová lepidla nabízí řadu výhod. Jsou odolná vůči vodě a povětrnostním vlivům, což znamená, že jsou ideální pro použití v náročných podmínkách. Navíc, odolávají působení organických rozpouštědel a slabých kyselin a zásad. Mají také vysokou smykovou a dynamickou pevnost, což zvyšuje jejich užitečnost v široké škále aplikací. Polyuretanová lepidla mají také několik nevýhod. Před vytvrzením jsou toxická a hořlavá, což vyžaduje zvýšenou opatrnost při jejich používání. Navíc, působením UV záření rychle tmavnou, což může ovlivnit jejich estetický vzhled. Použití polyuretanových lepidel je široké. Jsou ideální pro lepení dřeva, montážní lepení, oken, dveří a schodů. Díky svým vlastnostem jsou polyuretanová lepidla dobrou volbou pro tyto a mnoho dalších aplikací.

3.4.2. Termoplastická lepidla

Vyznačují se svojí trvalou plastifikovatelností, tzn. možností převést se zahříváním do plastického stavu. V porovnání s termoreaktivními lepidly jsou rozpustná v některých organických rozpouštědlech a mají malou tepelnou odolnost. Termoplastická lepidla jsou většinou jednosložková a vytvrzují difúzí rozpouštědel do lepeného materiálu. Dělí se dle tříd trvanlivosti, jak je uvedeno v tabulce 1.

Tabulka 1 Rozdělení lepidel podle tříd trvanlivosti ČSN EN 204

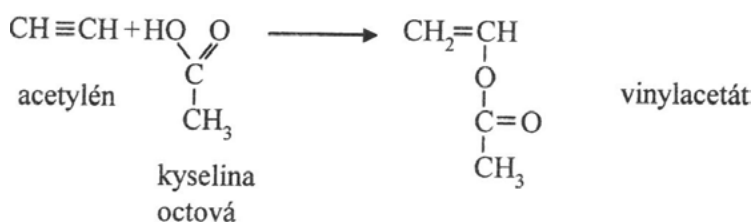
Třída trvanlivosti	Příklady klimatických podmínek a oblastí použití
D1	Interiér, kde vlhkost dřeva nepřekročí 15%.
D2	Interiér s příležitostným krátkodobým působením tekoucí nebo kondenzované vody a/nebo občasnou vysokou vlhkostí vzduchu za předpokladu, že nárůst vlhkosti dřeva nepřesáhne 18%.
D3	Interiér s častým krátkodobým působením tekoucí nebo kondenzované vody a/nebo působením vysoké vlhkosti vzduchu. Exteriér chráněný před působením povětrnosti.
D4	Interiér s častým dlouhodobým působením tekoucí nebo kondenzované vody. Exteriér vystavený povětrnosti avšak opatřený přiměřenou povrchovou ochranou.

Mezi hlavní zástupce patří již zmíněná PVAc lepidla, níže je jen souhrn hlavních vlastností tohoto lepidla.

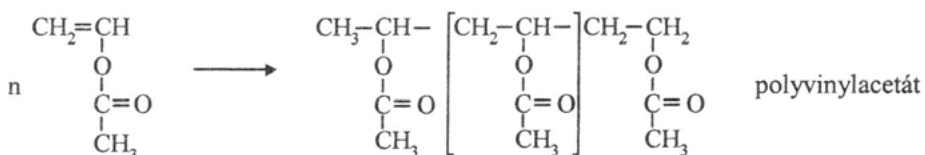
Polyvinylacetátová lepidla (PVAc)

• Popis:

- připravují z acetylénu a kyseliny octové přičemž vzniká vinylacetát



- z monomeru (vinylacetátu) se polymerací připravuje polymer – PVAc. Objeven v Německu v roce **1912**.



- polyvinylacetát není rozpustný ve vodě a jeho velmi malé částice jsou jemně rozptýleny ve vodě (dispergovány).

- **Disperze:**

- je směs vody s polymerem, který není ve vodě rozpuštěn, ale pouze dokonale rozptýlen v podobě malých částic (0,1 až 1 μm).
- protože malé částice rozptylují světlo, mají disperze vzhled mléčně bílé kapaliny.
- zatímco v kapalném stavu je možné disperze libovolně ředit vodou, po odpaření vody z disperze vzniká film, který již vodou rozpustit nelze.

Výhody PVAC lepidel:

- mají poměrně malou viskozitu i při obsahu sušiny 50-60%
- jsou ředitelná vodou (zdravotní nezávadnost)
- nezbarvují dřevo
- odolávají mikroorganismům
- vysoká pevnost
- snadná manipulace, jednoduchý nános a zpracovatelnost za běžných teplot

Nevýhody PVAC disperzí:

- menší odolnost proti vodě
- nízká odolnost proti vyšším teplotám
- citlivost na nízké teploty
- nevhodnost použití na trvale zatížené spoje (studený tok polymerů)

3.5. Lepivé tmely

Zvláštní skupinu tvoří lepidlo, které jsou schopné na rozdíl od lepidel vytvářet v silných vrstvách a překlenout spáru mezi nerovnými a relativně značně vzdálenými stykovými plochami. Mají charakter lepidla při aplikaci viskózní pasty, tixotropního charakteru s dobrou adhezí k podkladu. Vyznačují se vyšší kohezí. Pevnost vrstvy tmelu musí být při konstrukčním řešení stejná jako pevnost spojovaných materiálů. Při jiných použitích tmelů se vyžadují maximálně elastické tmely, schopné vyrovnávat rozdílné koeficienty teplotní roztažnosti materiálů. Tmely dělíme na: vyrovnávací, spárovací i izolační a tepelně vodivé.

3.6. Předpoklady pro dobré výsledky při lepení

- A) Správná volba lepidla pro daný účel:** Každé lepidlo má specifické vlastnosti, které ho činí vhodným pro určité aplikace. Je důležité vybrat lepidlo, které nejlépe vyhovuje konkrétnímu účelu, ať už jde o lepení dřeva, kovu, skla nebo jiného materiálu.
- B) Dokonalá znalost vlastností zpracovávaného lepidla a postatu lepení s teorií lepení:** Pro dosažení optimálních výsledků je nezbytné mít hluboké porozumění vlastnostem použitého lepidla a procesu lepení. To zahrnuje pochopení, jak lepidlo reaguje na různé podmínky, jako je teplota a vlhkost, a jak tyto faktory ovlivňují jeho výkon.
- C) Přesné dodržování zásad pro zpracování jednotlivých lepidel a důsledné dodržování osvědčeného technologického postupu:** Každé lepidlo vyžaduje specifický postup zpracování pro dosažení optimálních výsledků. To může zahrnovat specifické kroky, jako je příprava povrchu, aplikace lepidla a doba vytvrzení. Důsledné dodržování těchto postupů je klíčové pro dosažení silných a trvanlivých spojů.
- D) Kontrola celého postupu lepení:** Průběžná kontrola celého procesu lepení je nezbytná pro identifikaci a řešení potenciálních problémů. To může zahrnovat kontrolu kvality aplikace lepidla, sledování doby vytvrzení a ověřování pevnosti vytvořených spojů.

3.6.1. Správná volba lepidla – požadavky na lepidla

Při výběru lepidla je důležité zvážit následující faktory: typ materiálů k lepení, požadovanou pevnost a odolnost spoje, podmínky, kterým bude spoj vystaven, chemickou reaktivitu lepidla s materiály a konečnou povrchovou úpravou, a také cenu a zpracovatelnost lepidla. Přehled faktorů při výběru lepidla:

- lepidlo musí dávat spoje dostatečně pevné a odolné vůči destruktivním činitelům, kterým je vystaven. U výrobků dynamicky namáhaných je třeba volit lepidla dostatečně pružná. Velká pružnost lepených spojů vede k tzv.studeným tokům typických pro termoplastická lepidla. Studený tok lepidla je závada u lepených spojů trvale staticky namáhaných.
- barva lepidla musí odpovídat příslušné barvě pro vzhled lepených materiálů
- lepidlo nesmí reagovat s konečnou povrchovou úpravou
- nežádoucí je přílišná tvrdost vytvrzeného lepidla zejména, jsou-li v lepidle minerální látky, které nadměrně otupují nástroje, kterými jsou opracovávány
- jednoduchá příprava lepidel k lepení
- dlouhá životnost natužené směsi
- lepicí směs nebo lepidlo musí být snadno a rovnoměrně tvořit
- pro lepení má rozhodující význam velikost molekul lepidla
- dobrá pevnost lepeného spoje

Pozn.: Creep (studený tok) přeskupení je přeskupení vrstvy lepidla ve spoji dlouhodobým *působením zatěžující síly bez porušení adheze a koheze ve spoji – deformace lepeného spoje ve směru zatěžující síly.*

4. TESTOVÁNÍ LEPIDEL

Dle technických norem ČSN což je předpis, stanovující důležité vlastnosti materiálů, výrobků, nebo postupů a může definovat také používané pojmy. Normy se rozdělují dle tříd. Lepidla řadíme do: **Třída 66 - Výrobky chemického průmyslu (Lepidla).**

Testování vlastností lepidel

- Zkoušky všeobecných vlastností
- Zkoušky fyzikálních vlastností
- Zkoušky chemických vlastností

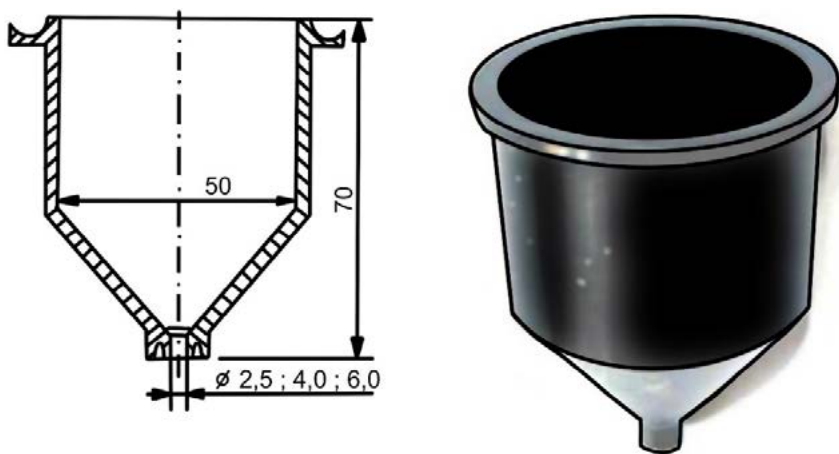
4.1. Zkoušky všeobecných vlastností

- Stanovení vzhledu a barvy
 - Po rozmíchání na Petriho misce, čírost
- Stanovení skladovatelnosti
 - Viskozita, mechanické vlastnosti, želatinace, tvrdnutí
- Čas zavadnutí lepidla (otevřený čas lepidla)
 - Dosažení pevnosti po minutách
- Stanovení sušiny
 - Odpaření prchavých složek

4.2. Zkoušky fyzikálních vlastností

Stanovení viskozity (tekutosti)

Viskozita je míra "tekutosti" lepidla, která ovlivňuje jeho schopnost proudit a rozprostírat se. Tento parametr se měří pomocí nástrojů jako je Fordův pohárek (Obr. 17) nebo viskozimetr. Tyto nástroje umožňují kvantifikovat viskozitu lepidla a poskytují důležité informace o jeho chování při aplikaci.



Obrázek 17 Fordův výtokový pohárek a vpravo Fordův pohárek pro měření viskozity

Objemová hmotnost

Objemová hmotnost je poměr hmotnosti (m) k objemu (V) lepidla. Tento parametr je důležitý pro určení hustoty lepidla, což může ovlivnit jeho výkon a efektivitu při použití.

Stanovení lepivosti (přilnavosti)

Lepivost je míra, do jaké lepidlo dokáže přilnout k povrchu a vytvořit pevný spoj. Tento parametr se měří pomocí testů pevnosti spoje v tahu a odlupčivosti. Tyto testy poskytují kvantitativní údaje o schopnosti lepidla vytvořit a udržet pevný spoj pod různými podmínkami. Pevnost v tahu je míra, do jaké může být spoj vystaven tahu, než dojde k jeho selhání, zatímco odlupčivost je míra, do jaké může být spoj odolný vůči silám, které se snaží oddělit lepené povrchy.

4.3. Zkoušky chemických vlastností

Zkoušky chemických vlastností lepidel jsou klíčové pro určení jejich vhodnosti pro různé aplikace. Tyto testy mohou zahrnovat zkoušky odolnosti vůči rozpouštědlům, kyselinám a zásadám, které mohou ovlivnit výkon lepidla. Další zkoušky mohou zahrnovat měření viskozity, která ovlivňuje schopnost lepidla proudit a rozprostírat se, a objemové hmotnosti, která ovlivňuje hustotu lepidla. Tyto zkoušky mohou také zahrnovat testy na odolnost vůči teplotě a vlhkosti, které mohou ovlivnit výkon lepidla v různých prostředích. Všechny tyto faktory jsou důležité pro správnou volbu lepidla pro konkrétní účel.

Přehled hlavních zkoušek chemických vlastností:

- stanovení reaktivity (vytvrzovací rychlosti)
- stanovení kyselosti
- stanovení volného formaldehydu
- stanovení volného styrenu
- stanovení obsahu chlóru
- stanovení epoxidových skupin

4.4. Zkoušky lepených spojů

Zkoušky lepených spojů se dělí na nedestruktivní a destruktivní. Nedestruktivní zkoušky jsou metody, které hodnotí kvalitu spoje bez poškození nebo změny vlastností materiálu. Na druhé straně, destruktivní zkoušky zahrnují aplikaci sil, které mohou způsobit selhání spoje, aby se posoudila jeho maximální pevnost a odolnost. Oba typy zkoušek jsou klíčové pro určení vhodnosti lepidla pro konkrétní aplikace.

- Nedestruktivní
- Destruktivní

Nedestruktivní

Nepřímé nedestruktivní zkoušky umožňují nepřímé stanovení pevnosti lepeného spoje, aniž by došlo k poškození nebo změně vlastností materiálu.

- měření dielektrické konstanty lepené vrstvy
- měření změn tepelné vodivosti a tepelné kapacity
- měřením pronikajícího infračerveného záření
- měřením intenzity pronikajícího radioaktivního záření
- měřením přenosu zvukových, nebo ultrazvukových vibrací
- měřením odrazu ultrazvukových vibrací

Destruktivní zkoušky lepených spojů

Destruktivní zkoušky zahrnují aplikaci sil na lepený spoj až do jeho selhání, aby se posoudila maximální pevnost a odolnost spoje.

- Smyk (lineární, torzní)
- Odlupování
- Ohyb

Základní normy pro testování lepidel

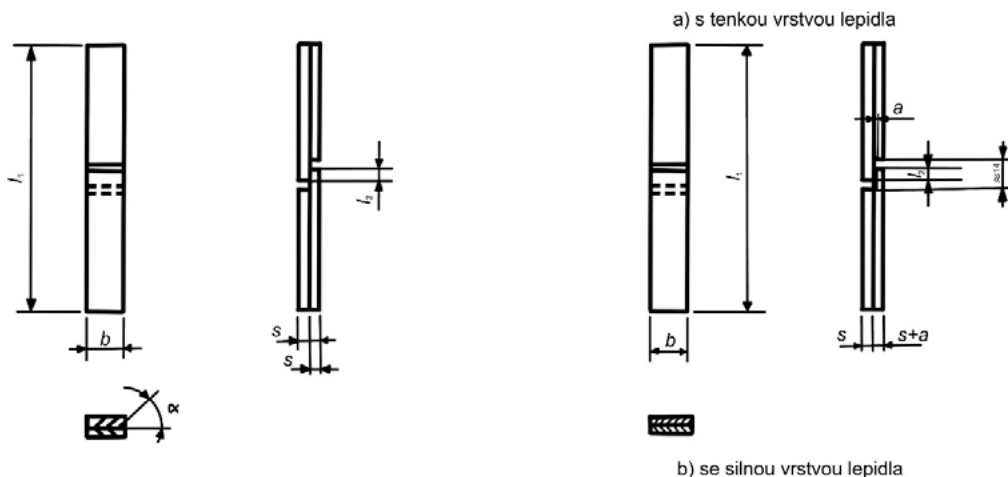
Zkoušky lepidel dle norem zahrnují řadu standardizovaných testů, které hodnotí vlastnosti lepidel, jako je pevnost, viskozita, odolnost vůči teplotě a chemickým látkám. Tyto normy zajišťují konzistenci a spolehlivost výsledků zkoušek:

- ČSN EN 205: Lepidla – Lepidla na dřevo pro **nekonstrukční** aplikace – Stanovení pevnosti ve **smyku** při tahovém namáhání přeplátovaných spojů (Tab. 2)
- ČSN EN 302 – 1: Lepidla pro **nosné** dřevěné konstrukce - Zkušební metody - Část 1: Stanovení podélné pevnosti ve **smyku** při tahovém namáhání (Tab. 2)
- ČSN EN 302 – 2: Lepidla pro **nosné** dřevěné konstrukce - Zkušební metody - Část 2: Stanovení odolnosti proti **delaminaci**
- ČSN EN 204: Klasifikace **termoplastických lepidel** na dřevo pro **nekonstrukční** aplikace
- ČSN EN 301: **Fenolická a aminová lepidla** pro **nosné** dřevěné konstrukce - Klasifikace a technické požadavky
- ČSN EN 15425: Lepidla - **Jednosložková polyurethanová (PUR)** lepidla pro **nosné** dřevěné konstrukce - Klasifikace a funkční požadavky
- ČSN EN 302 – 1: Lepidla pro **nosné** dřevěné konstrukce - Zkušební metody - Část 1: Stanovení podélné pevnosti ve **smyku** při tahovém namáhání

Tabulka 2 Ukázky z norem ČSN EN 205 a ČSN EN 302-1

	ČSN EN 205	ČSN EN 302-1
Namáhání	smyk	smyk
Zkušební tělesa s tenkou a silnou vrstvou lepidla	ano	ano
Zjišťovaná veličina	$F_{\max}$	$F_{\max}$
Průběh zkoušky	$v = 50\text{mm/min}$ (termoplasty) $v = 6 - 12\text{mm/min}$ (reaktoplasty) nebo $t_{\text{termoplast}} = 5 - 15\text{s}$ $t_{\text{reaktoplast}} = 30 - 60\text{s}$	$v = 5\text{mm/min}$ $t = 30 - 90\text{s}$ nebo $F = 2,0 \pm 0,5\text{kN/min}$
Pevnost ve smyku	$\tau = \frac{F_{\max}}{S}$	$\tau = \frac{F_{\max}}{S}$

Obrázek 18 prezentuje zkušební vzorky.



Obrázek 18 Zkoušení vzorky

4.5. Hodnocení pevnosti lepeného spoje

Pevnost je komplexní vyjádření vlastností adherendů, adheze a koheze lepidla, tedy pevnosti lepeného spoje. Bývá vyjádřena jako pevnost ve smyku při zatěžování v tahu v jednotkách $\text{MPa} = \text{N/mm}^2$. Při hodnocení lepidla a pevnosti lepeného spoje se řeší problém nejslabšího článku a to např:

- lepení na MDF se špatnou povrchovou vrstvou a s malým proniknutím lepidla do povrchu
- lepení dvou materiálů s rozdílnou roztažností tepelnou (kov x sklo), působením vlhkostí (dřevo x kov)
- povrchové vrstvy: mastnota, prach
- migrace změkčovadel, krystalizace složek lepidla

Lepidla se hodnotí podobně jako nátěrové hmoty

Hodnotí se vlastnosti v dodaném stavu, rychlost tvorby lepeného spoje, pevnost lepeného spoje ve smyku, pevnost lepeného spoje v tahu, v odlupování, pevnost lepeného spoje při namáhání rázem, odolnost lepeného spoje při tepelném namáhání WPS 88, polštářkové zkoušky, studené toky.

Lepidla se v dodaném stavu hodnotí podobně jako nátěrové hmoty: obsah netěkavých složek, vzhled, viskozita, konzistence, doba životnosti natužené směsi (Matyáš 2023).

Vlastnosti lepidel upravuje evropská norma ČSN EN 204, zařazení lepidel na dřevo do tříd podle expozice. Tato norma určuje skupiny podle expozice ve vztahu k pevnosti lepeného spoje. Hodnotí lepidla podle způsobu použití při výrobě výrobků na bázi dřeva. K zařazení lepidla do jedné ze tříd expozice podle tabulky musí naměřené střední hodnoty pevnosti lepeného spoje dosáhnout minimálních hodnot uvedených v tabulce 3 a 4.

Tabulka 3 Třídy trvanlivosti versus klimatické podmínky

Třída trvanlivosti	Příklady klimatických podmínek a oblastí použití
D1	Interiér, kde teplota překročí pouze příležitostně a krátkodobě $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ a vlhkost dřeva je maximálně 15 %
D2	Interiér s příležitostným krátkodobým působením tekoucí nebo kondenzované vody a/nebo občasnou vysokou vlhkostí vzduchu, jestliže nárůst vlhkosti dřeva nepřesáhne 18 %
D3	Interiér s častým krátkodobým působením tekoucí nebo kondenzované vody a/nebo dlouhodobým působením vysoké vlhkosti vzduchu. Exteriér chráněný před působením povětrnosti
D4	Interiér s častým silným působením tekoucí nebo kondenzované vody. Exteriér vystavený povětrnosti, který je opatřený přiměřenou povrchovou úpravou

Tabulka 4 Požadavky na lepidla podle pevnosti lepeného spoje

Expozice podle EN 205		Pevnost lepeného spoje v N/mm ² Třídy trvanlivosti			
Číslo série expozice	Délka expozice a typ prostředí	D1	D2	D3	D4
1	7 dní ¹⁾ , normální ²⁾	>10	>10	>10	>10
2	7 dní normální 3h, studená voda ⁴⁾ , 7 dní normální	³⁾	>8	-	-
3	7 dní, normální 4dny studená voda ⁴⁾	-	-	>2	>4
4	7 dní normální 4 dny studená voda ⁴⁾ 7 dní, normální	-	-	>8	-
5	7 dní, normální 6 h vařící voda 2 h, studená voda ⁴⁾	-	-	-	>4
6	7 dní, normální 6 h vařící voda 2 h, studená voda ⁴⁾ 7 dní, normální	-	-	-	>8
¹⁾ 1den = 24 h ²⁾ (23±2)°C a (50±5)% nebo (20±2)°C a(65±5)% relativní vlhkost vzduchu ³⁾ nevyžaduje se žádná zkouška ⁴⁾ voda musí mít stejnou teplotu jako použité zkušební prostředí (20 nebo 23°C)					

5. ZDROJE

- Arpaci, S. S., Tomak, E. D., Ermeýdan, M. A. a Yildirim, I. 2021. Natural weathering of sixteen wood species: Changes on surface properties. *Polymer Degradation and Stability*. 183(4): pp. 109415, DOI: 10.1016/j.polyimdegadstab.2020.109415.
- Benešová, A. a Vaněrek, J. 2011. Vliv druhu dřeviny na přídržnost FRP kompozitu. *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava číslo 2, rok 2011, ročník XI, řada stavební, článek č. 42*. 6 s.
- Beran, R., 2021. Recyklace polyurethanových pěn. *Disertační práce, Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko – technologická*. 80 s.
- Böhm, M., Reisner, J. and Bomba, J. 2012. Materiály na bázi dřeva. *Česká zemědělská univerzita v Praze*. 183 s.
- Bomba, J., Cvach, J., Šedivka, P. and Kvietková, M. 2014. Strength increase pattern in joints bonded with PVAc adhesives. *BioResources*, 9(1), pp.1027-1037.
- Briš, P., Kuběna, J. a Štrkaň, J. 2017. Lepení v praxi. *Grada Publishing*. 144 s. ISBN:978-80-271-0247-1.
- Čajka, R., a Burkovíč, K. 2013. Technologie sprázení dřevo betonových stropních konstrukcí pomocí lepených smykových lišt. *Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava. Řada stavební. 2013, roč. 13, č. 1, s. 1-8: il. ISSN 1213-1962*.
- Červenka, E., Král, Z. a Tomis, B. 1980. *Chemie dřeva a celulózy. I-III*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury. 228 s.
- Čunderlík, I. 2009. *Štruktúra dreva*. Technical University of Zvolen, Zvolen, Slovakia. 135 s., ISBN 978-80-228-2061-5.
- Ducháček, V. 1996. *Základní pojmy z chemie a technologie polymerů, jejich mezinárodní zkratky a obchodní názvy*. 1. vyd. Praha: Vysoká škola chemickotechnologická. 56 s., ISBN 80-7080-265-0.
- Feist, W.C. 1982. *Weathering of wood in structural uses*. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory.
- Gandelová, L., Šlezingerová, J., Horáček, P. 2002. *Nauka o dřevě*. 2. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. ISBN 80-7157- 577-1. Gottlieb, O.R. a Yoshida, M. 1989. Lignans. In *Natural products of woody plants*. pp. 439-511). Springer, Berlin, Heidelberg. ISBN: 978-3-642-60469-0.
- Hill, C.A. 2006. *Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes*. John Wiley & Sons. 264 s., ISBN: 978-0-470-02172-9.
- Král, P., Hrázský, J. 2005. *Kompozitní materiály na bázi dřeva, Část 2: Dýhy, překližky a lepené materiály*. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně. ISBN 80-7157-878-9.
- Kubovský, I., Oberhofnerová, E., Kačík, F. and Pánek, M. 2018. Surface changes of selected hardwoods due to weather conditions. *Forests*. 9(9), p.557, DOI: 10.3390/f9090557.
- Liptáková, E., Sedliačik, M. 1989. *Chémia a aplikácia pomocných látok v drevárskom priemysle*. Bratislava: Alfa, vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatury. 520 s. ISBN, 8005001169.
- Mach, P. 2009. *Modifikovaná elektricky vodivá lepidla*. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická. 4 s.
- Matyáš, V. 2023. *Nosné konstrukce s použitím lepeného lamelového dřeva*. Bachelor's thesis, České vysoké učení technické v Praze. Výpočetní a informační centrum. 59 s.
- Mařík, M., 2018. *Spoje dřevěných konstrukcí*. Bachelor's thesis, České vysoké učení technické v Praze. Výpočetní a informační centrum. 82 s.
- Mleziva, J. 1993. *Polymery-výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 1. vyd. Brno: Sobotáles. 528 s. ISBN 80-901570-4-1.
- Moudrý, I. 2012. Vliv doby kondicionace lepidla na stav vytvrzení a mezní stabilitu lepených dílů. *Disertační práce, Technická univerzita v Liberci*. 52 s.
- Murry Mc, J. 2012. *Organic Chemistry, Eight Edition*, Brooks/Cole, a Cengage Learning Company. ISBN 978-0-8400-5453-1. Osten, M. 1996. *Práce s lepidly a tmely*. Praha: Grada. 129 s. ISBN 80- 7169-338-3.
- Pánek, M. and Reinprecht, L. 2016. Effect of vegetable oils on the colour stability of four tropical woods during natural and artificial weathering. *Journal of wood science*. 62(1), pp.74-84. DOI: 10.1007/s10086-015-1519-2.

LESYČR




Podporujeme oborové vzdělávání

Název: Lepidla v dřevozpracujícím průmyslu

Autor: Ing. Ondřej Dvořák, Ph.D.; Ing. Lukáš Sahula; doc. Monika Sarvašová Kvietková, Ph.D.

Lektoroval: Ing. Eliška Racková, Ph.D., Ing. Petronela Kozlovská, Ph.D.

Vydavatel: Česká zemědělská univerzita v Praze

Schváleno ediční komisí FLD

Publikace prošla recenzním řízením.

Tisk: Tisk Kvalitně s.r.o.

Počet stran: 48

Vydání: první

Rok vydání: 2025

ISBN: 978-80-213-3413-7

Vydavatel: Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 129, 165 00 Praha – Suchbát

Publikace vznikla za podpory Fakulty lesnické a dřevařské.

Tisk: Tisk Kvalitně s.r.o., Petržilkova 13, 158 00 Praha 13

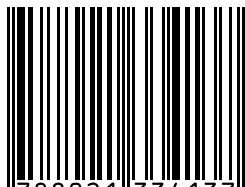
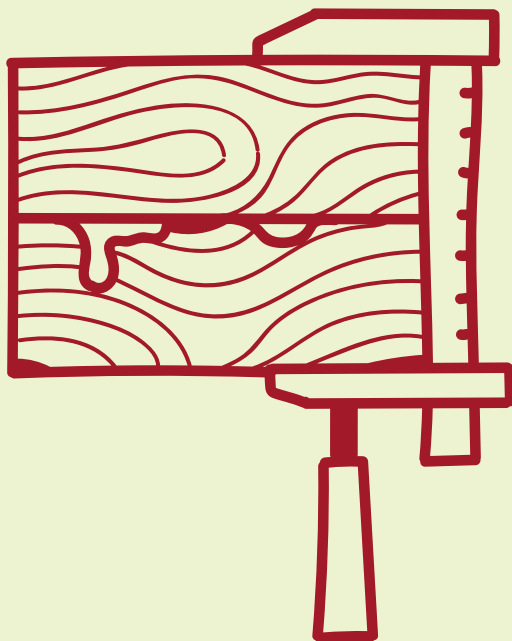
Lepidla v dřezozpracujícím průmyslu

Ing. Ondřej Dvořák, Ph.D.

Ing. Lukáš Sahula

doc. Monika Sarvašová Kvietková, PhD.

2025



9 788021 334137