

LEPENÉ SPOJE

Nárůst požadavků na technickou úroveň konstrukcí se projevuje v poslední době intenzivně i v oblasti spojování materiálů, kde lepení je často jedinou spojovací metodou, která nenarušuje vlastnosti citlivých materiálů, poskytuje nové kombinační schopnosti a dovoluje získat takové tvary a vlastnosti, které nejsou jiným způsobem dosažitelné.

K tomu aby nám lepené spoje dobře sloužili, je důležité znát nejen vlastnosti lepidel a lepených materiálů, ale i způsob, jakým budou lepené materiály namáhány. Má-li mít lepený spoj dlouhou životnost musí být konstruován jako lepený spoj. Pokud lepidlo použijeme jen proto, že použití vhodnější technologie je pro nás nedostupné, anebo jako poslední záchrana, když ostatní technologie nevyhověli, pak máme velmi malou naději na úspěch.

Lepení se velmi rozšířilo nejen v průmyslových oborech, ale i při individuálních pracích, neboť lepidla umožňují spojování materiálů bez nároku na vybavení dílny. I když lze některými typy lepidel lepit širokou škálu materiálů nelze je přesto považovat za universální. Universální lepidla neexistují. Jen s určitými druhy lepidel, na konkrétních materiálech a za určitých pracovních podmínek je možné získat spoje s optimálními vlastnostmi v určitém směru.

1, Podstata lepicího procesu

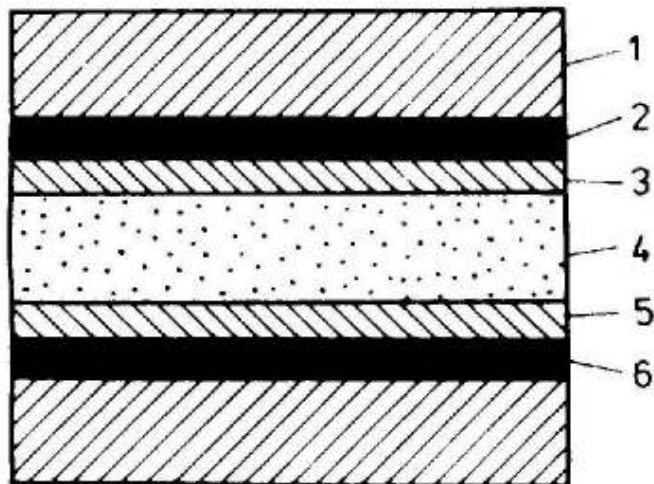
Lepení je proces spojování materiálů (adherentů), při kterém se dosahuje trvalé spojení stejných, případně různých materiálů prostřednictvím lepidel (adhesiv). Lepidlo je látka schopná vytvořit pevné a trvalé spojení mezi dvěma materiály. Uvedená schopnost závisí od adheze k povrchům lepených materiálů a od koheze samotného lepidla.

V praxi rozeznáváme mechanické adhezní síly, které mají původ v mechanickém uchycení (zakotvení) lepidla v nerovnostech a pórech spojovaných materiálů, a specifické adhezní síly, skládající se z chemických sil (např. primární chemické vazby) a fyzikálních sil (van der Waalsovy mezimolekulární síly, difuzní síly, Londonovy disperzní síly, Keesomovy elektrostatické síly, Debeyovy indukční síly, valenční adhezní síly apod.). Koheze je teoreticky definována jako stav, ve kterém jsou částice jednoduché látky drženy pohromadě valenčními a mezimolekulárními silami (van der Waalsovo přitahování).

A nakonec jedna vize do budoucnosti. Látky s tekutými krystaly se vyznačují vysokým stupněm strukturního uspořádání. Epoxidové pryskyřice s tekutými krystaly, jestliže se v tomto stavu vytvrzují (fotochemicky), vykazují zřetelně vyšší kohezní a adhezní pevnost spoje ve srovnání s izotropní strukturou. Za předpokladu, že je to spojeno s vyšším stupněm uspořádání molekul v blízkosti rozhraní mezi spojovaným dílcem a lepidlem, mohlo by to vést k novému rozvoji výzkumu v oblasti adheze.

2, Struktura lepeného spoje

Z hlediska vnitřní struktury lze každý konstrukčně pevný a dostatečně odolný lepený spoj dvou základních materiálů považovat za komplex tří hlavních vrstev a dvou mikrovrstev (obr.1).



obr.1

Jsou to:

- 1, adherend (základní materiál)
- 2, adhezní zóna
- 3, přechodová kohezní zóna
- 4, kohezní zóna
- 5, přechodová kohezní zóna
- 6, adhezní zóna

3, Pevnost lepených spojů

Nosnost a v některých případech i deformace lepených konstrukcí závisí od mechanických vlastností slepu a napětovo-deformačního stavu lepeného spoje . Napětovo-deformační stav lepených spojů je obvykle nerovnoměrný a lom spoje začíná v zóně, ve které napětí dosahují pro daný spoj kritické hodnoty. Z tohoto důvodu experimentální hodnocení pevnosti slepu ve většině případů vede k určení lomového namáhání lepeného spoje anebo určení „střední pevnosti“ tím, že se lomové namáhání dělí lepenou plochou jak vidíme na obr.2.

Standartní vzorec pro stanovení smykové pevnosti v tahu:

$$t_b = F_{\max}/A \text{ (Mpa)}$$

$$A=b.l$$

b = šířka přelátovaného spoje

l = délka přelátovaného spoje

Obr.2

Deformace jednostranně přelátovaného spoje v důsledku excentrického působení sil, rozdělení napětí po délce přelátovaného spoje

Pevnost v odlupování je daná vztahem

$$s_{wa} = F_A/b \text{ (N.mm}^{-1}\text{)}$$

dělíme ji na počáteční (absolutní) pevnost s_{wa} a střední pevnost s_{ws} , která je daná vztahem

$$s_{ws} = F_S/b \text{ (N.mm}^{-1}\text{)}$$

kde F_A je maximální síla, F_S je průměrná síla, b je šířka lepeného spoje

Dle teorie lepení lepené spoje nejméně odolávají namáhání v odlupování a ohybovému namáhání. V případě konstrukčních spojů je důležité se vyvarovat ohybovému namáhání.

Ve všeobecnosti se doporučuje při lepení volit tenké vrstvy lepidla, které vykazují kvalitnější pevnostní vlastnosti. Lepené spoje dosahují vysokých pevností ve smyku, tahu (tlaku) a dynamickému (cyklickému) namáhání (v případě nízkocyklové a vysokocyklové únavy materiálů překonávají lepené spoje svarové spoje), které jsou úspěšně již dlouhá léta aplikována v lepených konstrukčních spojkách zejména v leteckém průmyslu.

4, Technologie lepení

Na základě teorie lepení můžeme určit tyto základní podmínky lepení: správná volba lepeného materiálu a lepidla, správný návrh konstrukce spoje, vhodná povrchová úprava materiálů, dodržování předepsaného postupu při lepení, vytvoření fyzikálněchemických a jiných podmínek vzniku pevných vazeb. Při volbě materiálů na lepení se přihlíží na jejich chemickou povahu (chemické složení), polaritu, mechanické, povrchové, fyzikální a fyzikálněchemické vlastnosti. V případě lepidel jsou to: chemická povaha, viskozita lepidla, povrchové napětí, bod vzplanutí, způsob vytvrzování, tepelná roztažnost a mechanické vlastnosti.

Princip lepení a jeho pracovní postup se ve všeobecnosti skládá z přípravy povrchu lepených materiálů, přípravy lepidla, nanášení lepidla, montáže spoje a vytvoření pevného spoje (např. vytvrzování). Kvalitu lepeného spoje můžeme ovlivnit: způsobem nanášení lepidla, tloušťkou nanesené vrstvy, podmínkami při vytvrzování (tlak, teplota, čas), použitím ultrazvuku, tepelného ovlivnění lepidla různými zdroji ohřevu (např. infračervený anebo laserový paprsek), přípravou povrchu materiálu a úpravou lepidla na jeho použití.

5, Příprava materiálů na lepení

Příprava materiálů na lepení se skládá z dělení, obrábění, čištění a odmaštění a slícování lepených dílců. Cílem přípravy povrchu je dosáhnout maximální adhezi a zabránit podoxidování lepidla. Povrchová úprava adherendu je jednou z nejdůležitějších operací při lepení. Navrhuje se dle druhu a stavu lepeného materiálu, podle druhu použitého lepidla, podle provozních podmínek a životnosti spoje, dle únosnosti výrobních nákladů apod. Na čištění a odmašťování se používají: alkalické odmašťování, tamponování rozpouštědly a odmašťování v parách rozpouštědla. Pro odmašťování a čištění lepených materiálů se nedoporučuje používat laková rozpouštědla a benzin. Vhodná rozpouštědla jsou např. aceton, MEK, technický líh, toluen, éter, perchloretylén aj. Poměrně často se používá moření materiálů v různých kyselinách. V případě moření se obvykle dosahuje vyšší pevnost spojů jako při mechanické úpravě povrchu. Z hlediska kvality lepených spojů je důležitá také drsnost povrchu.

6, Konstrukce lepených spojů

Lepenou konstrukci je třeba rozdělit na části co nejméně složité a vhodné na lepení. Při lepení je třeba dodržovat technologický předpis. Třeba se vyhnout dvojitému lepení. Není vhodné lepit dílce, které jsou při montáži vystavené odlupujícím silám. Na lepení se nehodí dílce s velkým a složitým zakřivením. Mechanické namáhání musí být rozděleno rovnoměrně a nesoustředilo se pouze v místě spoje. Spoj musí být namáhán v tahu a smyku a minimálně namáhán v odlupování. Plocha spoje musí být dostatečně velká a napětí v celém lepeném spoji musí být rovnoměrně rozdělené. Lepené materiály by měli mít v místě spoje stejné anebo podobné koeficienty roztažnosti. Nejběžnější jsou jednoducho překládané spoje. Lepších výsledků se dosahuje u tenčích adherendů. Po lepení se mohou v místě spoje vrtat otvory a například nýtovat. Lepidlo si konstruktér vybírá dle požadované pevnosti spojů, dle technologie zpracování lepidla a samozřejmě podle ceny. Pro většinu spojů platí, že pevnost spojů ve smyku není příliš závislá v rozmezí tloušťky vrstvy lepidla 0,05 - 0,4 mm. Pevnost spojů ve smyku zpravidla stoupá s pevností adherendu.

7, Rozdělení lepidel

7,1 Rozdělení lepidel podle principu tuhnutí ve spoji

Lepidla můžeme rozdělit do dvou základních skupin:

A, lepidla tuhnoucí vsáknutím a odpařením rozpouštědel ve spoji (fyzikálně tuhnoucí)

- 1. rozpouštědlová lepidla disperzní**
- 2. rozpouštědlová lepidla roztoková**
- 3. tavná lepidla**
- 4. lepidla stále lepivá**

B, lepidla reaktivní

- 1, lepidla tuhnoucí vlivem vlhkosti prostředí**
- 2, lepidla tuhnoucí kontaktem s kovy bez přístupu vzduchu (anaerobní lepidla)**
- 3, lepidla tuhnoucí po přidání tvrdidel**
- 4, lepidla tuhnoucí zvýšenou teplotou**

7,2 Rozdělení lepidel dle chemické báze

Dle chemické báze rozdělujeme lepidla do dvou skupin:

A, lepidla na přírodní bázi

- 1, lepidla anorganického a minerálního původu (např. vodní sklo, asfaltová lepidla, fosfátová lepidla, silikátová lepidla, metalická lepidla, keramická lepidla aj.)**
- 2, lepidla organického původu (např. glutinová lepidla, kaseinová lepidla, albuminová lepidla, škrobová lepidla, dextrinová lepidla aj.)**

B, lepidla na syntetické bázi (např. epoxidová lepidla, polyuretanová lepidla, akrylátová lepidla, silikony aj.)

Vysoce kvalitní dvousložková hmota na bázi vinylesterové pryskyřice připravena k okamžitému použití. Rychle tuhnoucí, použitelná v širokém spektru teplot i na mokré zdivo, vodě odolná, bez styrenu. Zajišťuje pevné kotvení bez působení napětí v podkladu, upevnění kovových kotev, svorníků, armovacích prvků, závitových tyčí, profilů apod. do plných i dutých materiálů jako beton, popraskaný beton, plné cihly, duté cihly, pórobeton, přírodní kámen, sádkokarton apod.





Červený. Vysokoteplotní silikonový tmel. Max. teplota:
dlouhodobě: +250°C, krátkodobě : +300°C. Odolává vodě, průmyslovým médiím a UV
záření, trvale pružný.

Teplota a čas - vliv na pevnost lepených spojů

Technologie lepení patří k pokrokovým způsobům spojování různorodých materiálů vzhledem k dosahovaným úsporám finančním i k úsporám deficitních kovů a času. Kvalita či poruchovost lepených spojů závisí na mnoha faktorech, např. na volbě lepeného materiálu, úpravě lepeného povrchu, volbě lepidla aj.

Lepený spoj dosahuje optimálních vlastností při dodržení všech technologických zásad. Z tohoto důvodu je důležitá znalost základních faktorů, které ovlivňují lepené spoje. Pokud se spoje lepí bez dobrých technologických znalostí, dosahuje se výrazně horších výsledků i za použití odolných a drahých lepidel.

Technologii lepení lze aplikovat téměř na všechny materiály, kovy i nekovy, ke vzájemnému spojování nejen mezi sebou, ale i s jinými materiály. Lepení umožňuje vytvořit spoje pevné a pružné, ale lze i vrstvit materiál na sebe. Za optimální pevnost konstrukčních lepených spojů se v hlavních kritériích namáhání považují hodnoty odpovídající hodnotám spojovaného materiálu. Pevnost lepeného spoje je soubor dílčích pevností nebo složek pevnosti, jako jsou pevnosti stanovené krátkodobými zkouškami, dále pevnosti spoje při dlouhodobém statickém a dynamickém zatěžování, pevnosti při zvýšených či snížených teplotách, pevnosti při vlivu různých prostředí.

Pevnost lepidla je ve srovnání s pevností kovů malá. Aby mohlo být využito alespoň zčásti pevnosti kovového adherendu, musí být lepená plocha velká a převážná část zatížení musí působit v rovině lepené plochy tak, aby byl spoj zatěžován ponejvíce smykovým napětím. Kovy jsou materiálem nepropustným pro plyny, vyznačují se zpravidla dobrými adhezními vlastnostmi a vysokou teplotní odolností. V oblasti lepení kovů se převážně využívají epoxidová lepidla.

Využití technologie lepení při spojování kovových dílů přináší řadu výhod:

- není stanovena tloušťka spojovacích dílů (snížení celkové hmotnosti);
- spoje nepropouštějí kapaliny a tlumí vibrace;
- lze spojovat různé druhy kovů navzájem;
- mohou vznikat speciální konstrukční materiály (např. kovoplastické lamináty, celokovové nebo kovoplastické voštinové sendvičové konstrukce, které se staly nepostradatelnými v řadě průmyslových odvětví).

Jedním z aspektů majících výrazný vliv na pevnost lepených spojů v provozu je vliv teploty a času. Tento aspekt je nazýván stárnutím, které se projevuje změnou mechanických vlastností v čase, především snížením výsledné pevnosti a spolehlivosti lepených spojů.

Příprava a průběh testování

Experimentální zkoušky byly provedeny dle normy ČSN EN 1465. Zkoušky byly prováděny na zkušebních tělesech zhotovených z oceli 11 321. Výchozím polotovarem pro přípravu ocelových vzorků byla tabule plechu o rozměrech 1 x 2 m, ze které byly nastříhány na vzorky požadované velikosti dle normy. Povrch připravených ocelových vzorků byl upraven tryskáním umělým korundem o velikosti frakce 710 - 850 μm . Drsnost R_a u takto připravených vzorků byla naměřena 3,6 μm .

Vliv zvýšené teploty 60 °C na stárnutí a spolehlivost lepených spojů byl sledován u dvou náhodně vybraných epoxidových lepidel. Jednotlivé série zkušebních vzorků byly slepeny za stejných podmínek. Vytvrzení lepených spojů probíhalo při laboratorní teplotě (23 - 25 °C). První série vzorků byla podrobena zkoušce dle ČSN EN 1465 na univerzálním trhacím stroji ZDM 5 při laboratorní teplotě. Tyto vzorky sloužily jako porovnávací etalon ke stanovení výchozí pevnosti τ , se kterou byly ostatní série porovnávány. Další série byly ponechány po různý časový úsek při zvýšené teplotě prostředí 60 °C. Po uplynutí stanoveného času byla rovněž provedena zkouška dle ČSN EN 1465, tj. odečtena maximální síla ze stupnice, změřena plocha přelepu, určen typ porušení dle ISO 10365 a vypočtena pevnost lepeného spoje τ .

Z pevnosti lepených spojů u jednotlivých lepidel byl vypočítán variační koeficient, který byl dále využit pro stanovení kolísání hodnot pevnosti lepeného spoje v jednotlivých souborech.

Byla posuzována následující dvousložková epoxidová lepidla, která vytvrzují při laboratorní teplotě 23 - 25 °C (údaje z obalů lepidel):

- lepidlo A - jde o lepidlo míchané v poměru 1 : 1, u něhož je lepicí směs zpracovatelná do 60 minut. Teplotní odolnost je od -60 °C do +100 °C. Je vhodné pro lepení kovů, keramiky a plastů. Dokonalé vytvrzení lepidla nastane za 12 hodin;
- lepidlo B - lepidlo míchané v poměru 1 : 1, u něhož je lepicí směs zpracovatelná do 120 minut. Teplotní odolnost je od -50 °C do +80 °C. Je vhodné pro lepení kovů, keramiky a plastů. Dokonalé vytvrzení lepidla nastane za 24 hodin.

Stanovení optimální tloušťky vrstvy pro zkoušená lepidla bylo provedeno na základě provedených experimentů. Pro další sledování vlivu teploty a času na pevnost lepeného spoje byla zvolena tloušťka vrstvy lepidla, u které bylo dosaženo nejvyšší pevnosti lepeného spoje. Byly posuzovány následující tloušťky lepené vrstvy 0,06 mm, 0,11 mm, 0,16 mm, 0,22 mm, 0,29 mm a 0,38 mm. U obou posuzovaných lepidel A i B byly naměřeny nejvyšší hodnoty pevnosti lepeného spoje při tloušťce vrstvy lepidla 0,11 mm.

Průběh závislosti působení teploty a času na pevnost lepeného spoje je vystižen regresní exponenciální funkcí 2. stupně. Typ funkce je odvozen od tvaru korelačního pole, které je tvořeno body na průsečíku závislé a nezávislé proměnné.

Funkční rovnice

Pro obě regresní funkce byla vypočítána funkční rovnice, která vyjadřuje závislost pevnosti lepeného spoje τ (y) na čase, po který byl lepený spoj vystaven zvýšené teplotě 60 °C (x). Z kolika procent je tato závislá proměnná ovlivněna uvažovanou nezávisle proměnnou, udává index determinace $I^2\tau x$.

Pevnost lepeného spoje dosažená bezprostředně po vytvrzení při laboratorní teplotě se značně liší od pevnosti lepeného spoje τ vystaveného po určitý časový interval zvýšené teplotě 60 °C. Tento rozdíl byl patrný i u jednotlivých lepidel. Lepidlo A vykazuje mírný pokles pevnosti τ při zvýšené teplotě, ale u lepidla B došlo k prudkému poklesu této pevnosti τ .

Při laboratorní teplotě dosahuje pevnost spoje u obou lepidel relativně stejných hodnot pro všechna měření. Variační koeficient, tj. odchylka pevnosti lepeného spoje od průměrných hodnot, se pro jednotlivá lepidla pohybuje v rozmezí od 1,6 do 2,1 %. Se vzrůstající teplotou roste variační koeficient, a to až na hodnotu 8,86 % u lepidla B. Z tohoto experimentu plyne závěr, že rostoucí teplota prostředí může způsobovat značné rozdíly v pevnosti lepených spojů v závislosti na typu lepidla, a také teplota prostředí ovlivňuje každý lepený spoj odlišně.

Výsledky testů

Výsledky provedených experimentů ukazují důležitost provedení předběžných ověřovacích zkoušek jednotlivých lepidel před jejich využitím v konkrétní aplikaci. Výsledná pevnost lepeného spoje se mění nejen se změnou jednotlivých parametrů teploty, ale může být odlišná i při použití různých lepidel. Dále se ukázal nepříznivý stoupající trend variačního koeficientu, což vyjadřuje značné odchylky pevnosti lepeného spoje od průměrných hodnot. Odchylky mohou zapříčinit náhlý pokles pevnosti spojů, u kterých se domníváme, že mají stále poměrně dobré vlastnosti. Takový neočekávaný jev se může projevit náhlou nefunkčností celého kompletu nebo vznikem nenadálé poruchy.

- Pevnost spoje vlivem stárnutí klesá, současně však roste rozptyl hodnot makroskopické meze pevnosti lepeného spoje. Při pevnostních výpočtech lepených spojů, které mají zvýšené provozní teploty, by měl konstruktér znát tuto klesající tendenci meze pevnosti, neboť jak bylo experimentálním měřením zjištěno, již po padesáti dnech tepelné expozice spoje dochází k poklesu pevnosti až na 50 % původní hodnoty pevnosti.



Vysokopevnostní
dvousložkové PMMA lepidlo nové generace zejména pro konstrukční lepení kovů, kompozitů a



Nové unikátní lepidlo nové generace s vysokou pevností. Je určeno pro lepení pevných, pružných, porézních i neporézních materiálů jako jsou porcelán, keramika, kovy, dřevo, sklo, kůže, plasty, pěnový polystyrén, papír, karton apod.



Jednosložkové velmi pevné kyanoakrylátové lepidlo pro rychlé a pevné lepení většiny materiálů v průmyslu, řemesle a domácnosti. Lepí kovy, gumu, umělé hmoty, porcelán, lakované dřevo apod. Není vhodné pro lepení polystyrenu, polyethylenu, polypropylenu a teflonu

Super pevné universální kontaktní lepidlo. Založené na mnohaleté zkušenosti s profesionálním a



průmyslovým použitím.