

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Zkoušky životnosti konstrukčních lepidel

Petr Přívratský

Diplomová práce

2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr Přívratský**
Osobní číslo: **D11897**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Silniční vozidla**
Název tématu: **Zkoušky životnosti konstrukčních lepidel**
Zadávající katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Základy lepení, konstrukční lepidla
2. Předúprava povrchů před lepením
3. Životnost konstrukčních lepidel
4. Zkoušení stárnutí lepidel
5. Závěr

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího diplomové práce
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran textu a přílohy
Forma zpracování diplomové práce: tištěná
Seznam odborné literatury:

PETRIE, Edward M. Handbook of Adhesives and Sealant. 2nd. ed. New York : McGraw-Hill, 2007. 1077 s. ISBN 978-0-07-147916-5.

PETERKA, Jindřich. Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství. Vydání první. Praha : SNTL, 1980. 792 s.

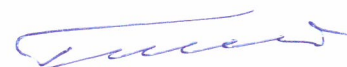
Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Pavel Švanda, Ph.D.**
Katedra mechaniky, materiálů a částí strojů

Datum zadání diplomové práce: **15. února 2013**
Termín odevzdání diplomové práce: **23. května 2013**



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.
děkan

L.S.



doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. února 2013

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně a svědomitě. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména ze skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 22. 5. 2014

Petr Přívratský

Poděkování:

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce, panu doc. Ing. Pavlovi Švandovi, Ph.D., za náměty a odborné vedení a za čas strávený při konzultacích.

ANOTACE

Diplomová práce je zaměřena zejména na životnost lepidel a možnosti jejího ovlivnění. Cílem diplomové práce je prokázání závislosti mezi úpravou povrchů kovových materiálů před lepením na životnost lepeného spoje. Prováděny byly testy životnosti metodou odlupování a to v laboratorních podmínkách Dopravní fakulty Jana Pernera. A k testování vzorků byl použit přípravek na zkušebním stroji ZD-10/90. Dále jsou v textu diskutovány samotné základy lepení, druhy konstrukčních lepidel možnosti jejich skladování a možnosti povrchové předúpravy.

KLÍČOVÁ SLOVA

lepidla, životnost, adheze, koheze, vytvrzení, spoj, drsnost

TITLE

Durability Test of Structural Adhesives

ANNOTATION

The thesis is focused on the service life of adhesives and possibilities of their influence. The aim of this thesis is to demonstrate, based on the modification of surfaces of metallic material before gluing, the durability of glued joints. The life tests were carried out using the method of flaking, were carried out in laboratory conditions at Jan Perner transport faculty. To test samples has been used preparation on the test machine ZD-10/90. The following will be discussed in the text: the basics of bonding, types of structural adhesives, storage options, and the possibility of surface pre-treatment.

KEYWORDS

Glued, Durability, Adhesion, Cohesion, Hardening, Joint, Abrasiveness

OBSAH

Úvod	10
1 Základy lepených spojů.....	11
1.1 Lepení	11
1.2 Základní složení a vlastnosti lepicích prostředků	14
1.3 Význam a použití lepených spojů.....	16
1.4 Konstrukce lepených spojů.....	17
1.5 Přednosti a nedostatky spojů.....	19
2 Konstrukční lepidla pro lepení kovů.....	21
2.1 Způsoby dělení lepidel.....	21
2.2 Lepidla vhodná k lepení kovů.....	23
3 Technologie povrchových úprav kovů	26
3.1 Čištění	26
3.2 Úprava povrchu.....	28
3.3 Zkoušení lepených spojů	30
4 Odolnost a životnost konstrukčních lepidel	30
4.1 Skladování lepidel.....	30
4.2 Odolnost lepených spojů proti působení snížené a zvýšené teploty.....	31
4.3 Odolnost lepených spojů proti vlivu vody.....	32
4.4 Odolnost lepených spojů proti chemickému prostředí	33
4.5 Odolnost lepených spojů proti atmosférickým podmínkám	33
4.6 Prognóza vlastností lepených spojů.....	34
5 Experimentální část zkoušky životnosti konstrukčních lepidel.....	35
5.1 Standardní testy.....	35

5.2	Test odlupováním	36
5.3	Příprava vzorků.....	37
5.4	Povrchová úprava vzorků před lepením	38
5.5	Výběr lepidel.....	41
5.6	Příprava a aplikace lepidel.....	42
5.7	Zkoušení vzorků	43
5.8	Vyhodnocení výsledků	46
Závěr	50
Seznam použité literatury a zdrojů	52
Přílohy:	54

SEZNAM ILUSTRACÍ, TABULEK A GRAFŮ

Obrázky:

Obrázek 1 Struktura lepeného spoje.....	12
Obrázek 2 Adhezní a kohezní poruchy lepeného spoje dle ČSN ISO 10365	13
Obrázek 3 Smáčivost povrchu.....	13
Obrázek 4 Použití lepidel ve stavbě karoserií	16
Obrázek 5 Zajištění spoje proti odlupování.....	17
Obrázek 6 Základní rozdělení lepených spojů	18
Obrázek 7 Základní rozdělení lepených spojů [18].....	19
Obrázek 8 Vzorek pro standartní test	36
Obrázek 9 Navržený kovový přípravek.....	36
Obrázek 10 Pásek pro test odlupování	37
Obrázek 11 Lázeň kyseliny H ₃ PO ₄	39
Obrázek 12 Anodizované vzorky	40
Obrázek 13 Lepená plocha vzorku	42
Obrázek 14 Dávkovací pistole se statickým mixerem	42
Obrázek. 15 Lepené vzorky.....	43
Obrázek 16 Zkušební stroj ZD – 10/90.....	43
Obrázek. 17 Vzorek připevněný v přípravku	44
Obrázek. 18 Vzorek s přípravkem připevněn ve zkušební stroj	44
Obrázek. 19 Vzorek po odloupení	45
Obrázek 20 Broušené vzorky a lakovaný vzorek před testem stárnutí	45
Obrázek. 21 Vzorky lepidla Penloc.....	46
Obrázek. 22 Vzorky lepidla Spabond 345.....	46
Obrázek 23 Vzorky lepidla Scotch-Weld DP490.....	46
Obrázek 24 Vzorek lepidla Spabond 345.....	49

Tabulky:

Tabulka 1 Příklady použití povrchové úpravy kovových materiálů před lepením	29
Tabulka 2 Příklady druhů lepidel při vyšších teplotách	31
Tabulka 3 Naměřené hodnoty maximálních sil [N] před stárnutím lepidel	47
Tabulka 4 Naměřené hodnoty maximálních sil [N] po stárnutí lepidel	48

Grafy:

Graf 1 Znázornění maximálních sil po odloupení pro danou povrchovou úpravu před zrychleným testem stárnutím lepidla	47
Graf 2 Znázornění maximálních sil po odloupení pro danou povrchovou úpravu, po zrychleném testu stárnutím lepidla	48

Úvod

Tato diplomová práce se zabývá především odolností lepených spojů, úpravou lepených povrchů před lepením a hodnocení stárnutí konstrukčních lepidel.

V 50. letech se zvýšila úroveň konstrukčních technologií v oblasti spojování klasických i novodobých materiálů. To vedlo jednak k značnému rozvoji jak syntetických lepidel tak i a dalších pojiv, ale i k vývoji technologií umožňující jejich využití v různých průmyslových odvětvích.

V dnešní době je lepení kovů syntetickými vytvrditelnými pryskyřicemi nejen velmi ekonomické, flexibilní, efektivní ale i stále se rozvíjející způsob spojování. Lepený spoj v průmyslové výrobě může nahradit spoje tepelně zpracované, jako je např. svařování a pájení nebo také spoje mechanické, do nichž patří např. nýtování a šroubové spojení.

Technologie lepení poskytuje nové možnosti spojů takových tvarů a vlastností, které jiné způsoby spojování neumožňují.

S vývojem technologických postupů dochází i ke kombinování spojů lepení-svařování, lepení-pájení a lepení-nýtování. V dnešní době se tyto metody spojování využívají v nejrůznějších průmyslových odvětvích a to zejména v automobilovém, leteckém, vojenském průmyslu a v dalších.

Lepení představuje jak pevné tak i souběžně pružné spoje, umožňuje i vrstvení materiálů na sebe. Lepeny mohou být téměř všechny materiály a to i mezi sebou navzájem. Nelze však očekávat, že každé lepidlo poskytne pevné spoje na všech druzích materiálu. Proto je vyvinuta široká škála lepidel, mezi něž patří např. epoxidová, chloroprenová, polyuretanová lepidla a mnoho dalších. Abychom zabránili špatným výsledkům, je dobré znát, jaká lepidla jsou vhodná na dané materiály popřípadě jaká je vhodná povrchová předúprava materiálu a jaké vlastnosti od lepidel očekáváme.

Jednou z výhod lepených spojů je zvýšení celkové pevnosti vhodného spoje. Nedochozí k žádnému úbytku materiálu ani k jeho zeslabení.

Stejně tak jako každá spojovací metoda má i lepení své nedostatky. Je důležité dbát nejen na konstrukci spoje, ale i a na okolních podmínkách, jako je např. teplota a vlhkost vzduchu, aby byly zajištěné pokud možno ideální podmínky, které by eliminovaly nevýhody lepení. Není-li to možné, je lepší použít vhodnější spojovací metodu, pro lepší výsledek.

1 Základy lepených spojů

Základy a teoretická část lepení byla převzata z mé bakalářské práce doplněna o nové poznatky. [1]

1.1 Lepení

Pojem lepení znamená spojení dvou různých ploch, prostřednictvím lepicí složky lepidla (adheziva). Adheziva jsou látky, které umožňují přilnutí k povrchu pevných předmětů (adherentům) a tím jejich pevné spojení. Mají dobrou přilnavost k oběma lepeným plochám. Vlastní soudržnost (koheze) je předmětem stálého zájmu jak chemiků, tak i fyziků. [4]

Lepidla jsou většinou viskózní látky, které po nanesení pevně přilnou k podkladu (díky své lepivosti). Po určité době při normální nebo zvýšené teplotě zatvrdnou, a tím spolehlivě spojí lepené materiály.

V současné době vyrábí chemický průmysl velké množství lepidel pro různé druhy materiálů. Pro uplatnění této technologie se očekává jednoduchá příprava, která má vhodnou regulovatelnou dobu tuhnutí a malé smrštění lepeného spoje po vytvrzení. Spolehlivé lepidlo má být rovněž zdravotně nezávadné a má mít co nejdelší skladovatelnou lhůtu. Směs připravená k nanášení by měla mít velkou životnost, snadnou roztíratelnost a neměla by napadat základní lepený materiál (naleptávat ho, měnit jeho zabarvení apod.). [4]

Po stránce chemického složení jsou lepidla buď látky primárně přírodního původu (např. rostlinného, živočišného, minerálního), nebo syntetické sloučeniny (např. epoxidové, fenolformaldehydové, polyesterové). [4]

Teorie Adheze

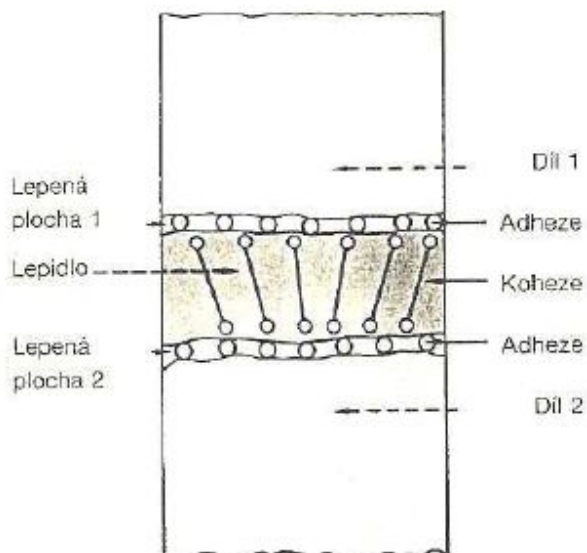
Adheze je vlastnost vyjadřující schopnost lepidla dostatečně přilnout k povrchu slepovaného materiálu. Přilnavostí se rozumí vzájemné přitahování dvou povrchů adhezivními silami, souvisejícími s molekulární strukturou lepidla.

Jestliže lepidlo není schopno dostatečně pevně přilnout k materiálu, spoj nedrží a dochází k jeho rozlepení, což je nepřípustné. V takovémto případě je vnitřní soudržnost lepidla (*koheze*) i vlastní pevnost materiálu vyšší než přilnavost (*adheze*). Na to proč vznikají adhezní síly, existují dva teoretické modely vazby mezi lepidlem a lepeným povrchem.[7][4]

- ❖ **Mechanická vazba** - představuje fyzikální princip lepení spočívající na drsnosti povrchu a smáčivosti povrchu. Důležitá je čistota povrchu lepicí směsi i

spojovaných částí. Kapalné lepidlo zatéká do mikroskopických mezer a prohlubní v povrchu a spojí se přímo se strukturou materiálu. Pro lepení materiálu, jako jsou dřevo, keramika nebo sklo je mechanická vazba velmi důležitá. Naopak při lepení hladkých leštěných povrchů je mechanická vazba zanedbatelná.[10]

- ❖ **Chemická (specifická) vazba** -se uplatňuje u porézních a hladkých povrchů. Tato teorie je založena nejen na působení slabých Van der Waalsových přitažlivých sil mezi molekulami lepidla a lepeného materiálu, ale především na přímém chemickém působení lepidla na lepený povrch. Proto se dobře lepí materiály, které mají reaktivní povrch, nebo povrch chemicky upraven tak, aby mohla proběhnout chemická reakce mezi lepidlem a povrchem za vzniku kovalentní vazby. Velmi dobře se lepí oxidované povrchy (kovů, plastů), povrchy přírodních polymerů (dřevo, papír) a další. Dále se dobře lepí skupiny materiálů, které mají reaktivní povrch, nebo předem upravený povrch, tak aby mohli proběhnout chemické reakce v kovalentních vrstvách. U špatně spojitelných povrchů jako je např. nikl, zlato, aj. se chemická vazba se nevytváří [10]

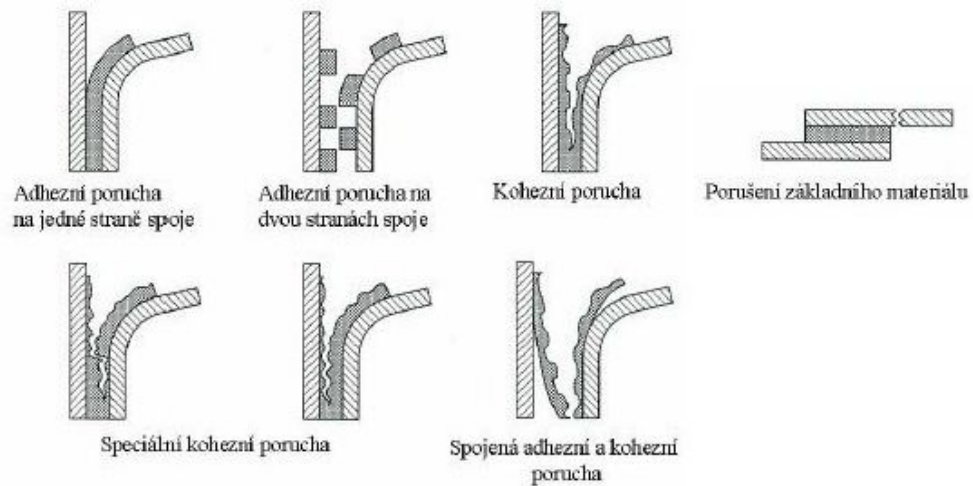


Obrázek 1 Struktura lepeného spoje [9]

Teorie koheze

Koheze vyjadřuje vnitřní pevnost lepidla. Popisuje stav látky, při kterém částice působením mezimolekulárních a valenčních sil drží pohromadě. Kohezní pevnost lepidla závisí na jeho složení a charakteru (např. dvousložková epoxidová lepidla mají vysokou

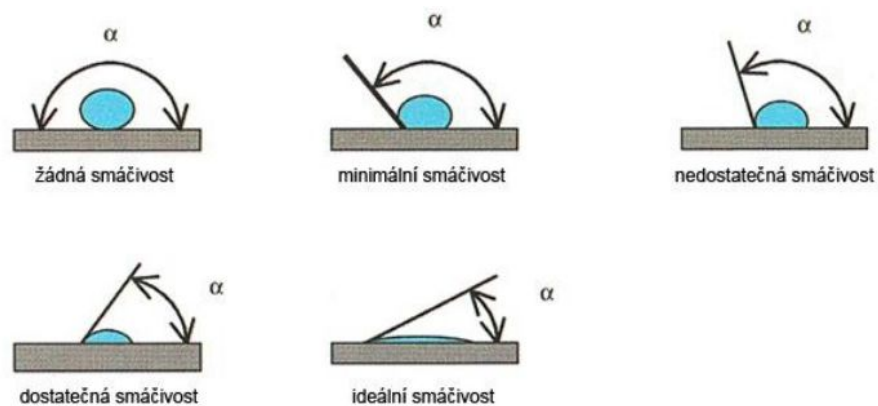
kohezi, naopak měkká akrylátová lepidla mají nízkou kohezi). Velikost koheze udává potřebnou energii pro překonání sil mezi molekulami (vynaložená energie pro odtržení jednotlivých vnitřních částí). Koheze a adheze spolu určují základní srovnávací prvky, jak samostatného provedení spojení, tak i jeho zkoušení. [10]



Obrázek 2 Adhezní a kohezní poruchy lepeného spoje dle ČSN ISO 10365 [9]

Smáčivost

Charakterizuje povrchové napětí lepidla. Jestliže lepidlo není schopno se po lepeném povrchu rovnoměrně rozprostřít, žádná adhezní vazba nevzniká. Smáčivost souvisí s polaritou lepeného povrchu a povrchovým napětím lepidla na lepeném povrchu. Pokud je hodnota povrchového napětí lepidla vyšší než u materiálu lepeného povrchu, pak nedojde ke smočení, neboť lepidlo se neudrží na lepeném materiálu a má tendenci po jeho povrchu klouzat. V opačném případě se na materiálu udrží a vytvoří tak vhodné podmínky pro spojení.



Obrázek 3 Smáčivost povrchu [3]

1.2 Základní složení a vlastnosti lepicích prostředků

Většina používaných lepidel obsahuje tyto hlavní složky:

- ❖ **Pojidla** - Jsou to převážně organické látky, buď původu živočišného, nebo rostlinného. Mohou to být materiály vyrobené syntetickou cestou. Pojidla jako hlavní složka všech lepidel vytváří po ztuhnutí nebo proběhnutí chemické reakce *lepený spoj*.
- ❖ **Rozpouštědla** - Jsou látky, ve kterých jsou rozpuštěny pojidlové složky. Mají za úkol dokonale rozpustit pojidla, rychle se odpařovat a dobře smáčet lepené povrchy. Nesmí naleptávat základní materiál. Mezi rozpouštědla se řadí (aceton, benzín, toluen a další)
- ❖ **Plnidla** - Nejsou rozpustná v rozpouštědlech, ale vytváří kostru pro pojidlovou složku, zvláště v místě větší vrstvy lepidla (např. ve spárách, štěrbinách apod.). Zvětšují plochu pro pevné přilnutí lepidla a dokážou částečně zdrsňit plochu spoje. Jako plnidla se nejvíce používají anorganické látky (např. uhličitán vápenatý, křemičitá moučka, azbest apod.).
- ❖ **Změkčovadla** - Jsou látky, které lepený spoj změkčují a zvláčňují, aby nebyl tvrdý a křehký, ale aby byl dostatečně pružný a aby při ohýbání, kroucení a jiném mechanickém namáhání byl stále pevný a nepraskal. Přidáním změkčovadla se obvykle prodlouží doba potřebná k vytvrzení lepicí vrstvy. Jako změkčovadla se nejvíce používají organické sloučeniny (např. glycerín, trikrezylfosfát apod.).
- ❖ **Tvrdidla** (katalyzátory) - Jsou chemická činidla reagující s pojidlovou složkou lepidla. Při probíhající chemické reakci vznikají látky zcela odlišné od původních složek. Tvrdidla se používají především u syntetických lepidel a přidávají se k základní pryskyřici jen ve velmi malých množstvích (např. 1 až 5 hmotnostních dílů tvrdidla na 100 hmotnostních dílů základní pryskyřice). Lepidlo s přimíchaným katalyzátorem má pak již jen omezenou životnost. Lepit se musí rychle, dokud probíhá chemická reakce a dřív než lepidlo ztuhne. Katalyzátory nebo tužidla se nejvíce používají u epoxidových, polyesterových, polyuretanových lepidel ale i u dalších. Tvrdidla představují složité chemické sloučeniny. Při jejich použití, dochází ke složité chemické reakci. Jako např. tvrdidlo P1 k epoxidovým lepidlům tvoří dietyléntriamin.
- ❖ **Urychlovače** - Jsou sloučeniny používané spolu s tvrdidly u některých syntetických lepidel. Urychlují chemickou reakci probíhající v lepidle, čímž usnadňují jeho celkové zpracování. K lepidlům se přidávají v menším množství než tvrdidla a katalyzátory (např. 0,1 až 1 hmotnostní díl na 100 hmotnostních dílů základního lepidla). K pryskyřici se přidávají až nakonec, po smíchání s tvrdidlem. Urychlovače jsou

speciální organická činidla, např. P urychlovač I u polyesterových pryskyřic tvoří naftalen kobaltnatý v roztoku.

- ❖ **Různé speciální přísady** (aditiva) - Přidávají se k lepidlům pro zvýraznění některých vlastností nebo pro vytvoření vlastností nových. Aditiva však nesmějí ovlivnit lepicí schopnost a pevnost spoje. K aditivům patří přísady vytvářející hydrofobní vlastnosti, antistatické vlastnosti (ruší nebo snižují náboj statické elektřiny vznikající na povrchu tělesa) nebo přísady zvyšující lesk hotového spoje a další. [4][5]

Ideální lepidlo by mělo:

- ❖ zajišťovat dostatečnou pevnost spoje
- ❖ mít dostatečnou lepivost v tuhém stavu
- ❖ vytvořit dostatečně stabilní spoj v dostatečném teplotním rozmezí
- ❖ vytvořit spoj odolný vůči vnějším vlivům (vodě, povětrnostním podmínkám)
- ❖ při tvrdnutí minimálně se smršťovat a neuvolňovat látky narušující podklad
- ❖ být bez zápachu a zdravotně nezávadné
- ❖ být dobře skladovatelné
- ❖ vyžadovat minimální úpravy před lepením
- ❖ umožňovat jednoduchou aplikaci
- ❖ být cenově dostupné

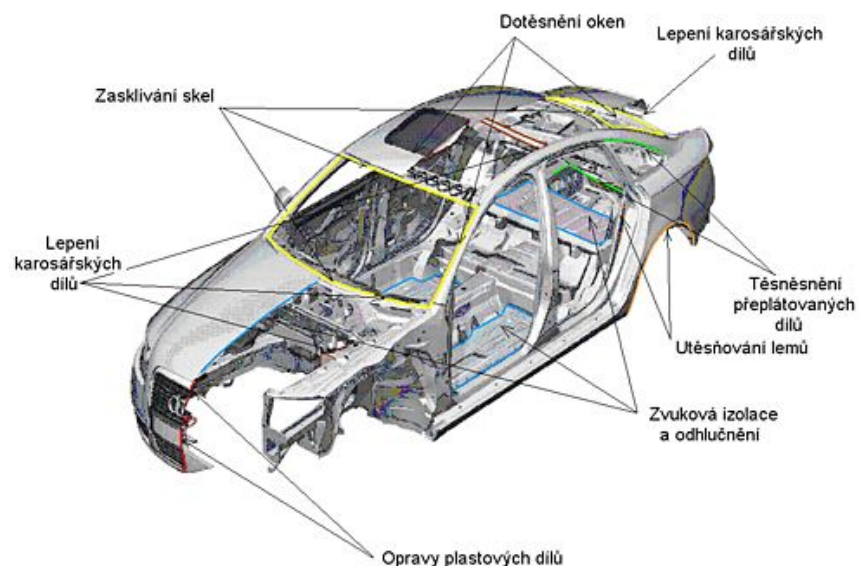
Definice pojmů v oblasti lepení:

- ❖ **doba lepivosti** - rozsah doby, ve které si při určité vlhkosti a teplotních podmínkách zachová lepidlo po nanesení na lepenou plochu lepivost za sucha.
- ❖ **doba vytvrzení** - doba, během které je spojení vystaveno působení teploty nebo tlaku, nebo obojího, do okamžiku vytvrzení lepidla
- ❖ **doba zaschnutí** - doba, během které lepidlo na lepené ploše nebo na dílech zasychá působením nebo bez působení teploty nebo tlaku nebo obojího.
- ❖ **doba zpracovatelnosti** - časové rozmezí, ve kterém je lepidlo po smíšení s katalyzátorem, rozpouštědlem nebo jinými složkami vhodné k použití, zpracování.
- ❖ **doba zrání lepeného spoje** - časový interval mezi koncem působení teploty nebo tlaku nebo obojího, při obvyklých podmínkách lepení, do okamžiku dosažení přibližně maximální pevnosti lepeného spoje. Někdy se uvádí termín "doba stárnutí spoje".
- ❖ **lepivost** - vlastnost lepidla umožňující vytvoření lepeného spoje měřitelné pevnosti bezprostředně po lehkém přitlačení lepidla a lepených ploch.

- ❖ **vytvrzovat** - změnit fyzikální vlastnosti lepidla chemickou reakcí, kterou může být kondenzace, polymerace nebo vulkanizace obvykle dokončenou působením tepla a katalyzátoru a to samostatně nebo za zvýšeného tlaku.
- ❖ **vytvrzovat (tuhnout)** - přeměnit lepidlo z kapalného do pevného nebo vytvrzeného stavu chemickým nebo fyzikálním působením, jakým může být kondenzace, polymerizace, oxidace, vulkanizace, želatinizace, hydratace nebo odpaření těkavých složek.
- ❖ **manipulační pevnost** - doba po, které lze lepený spoj přenášet, bez rizika rozlepení

1.3 Význam a použití lepených spojů

Lepením se snadno spojují nejtenčí fólie, připevňují břitové destičky k nástrojům, spojují se součásti z neželezných kovů při výrobě chladicího zařízení, textilních strojů, vozidel a v kombinaci s bodovým svařováním se lepení používá i při stavbě letadel, kdy spoj má přibližně shodnou mez únavy jako spojený materiál. Lepení nahradilo tvrdé pájení při upevňování permanentních magnetů, kde působením pracovní teploty snižovalo jeho magnetičnost. [6]



Obrázek 4 Použití lepidel ve stavbě karoserií [17]

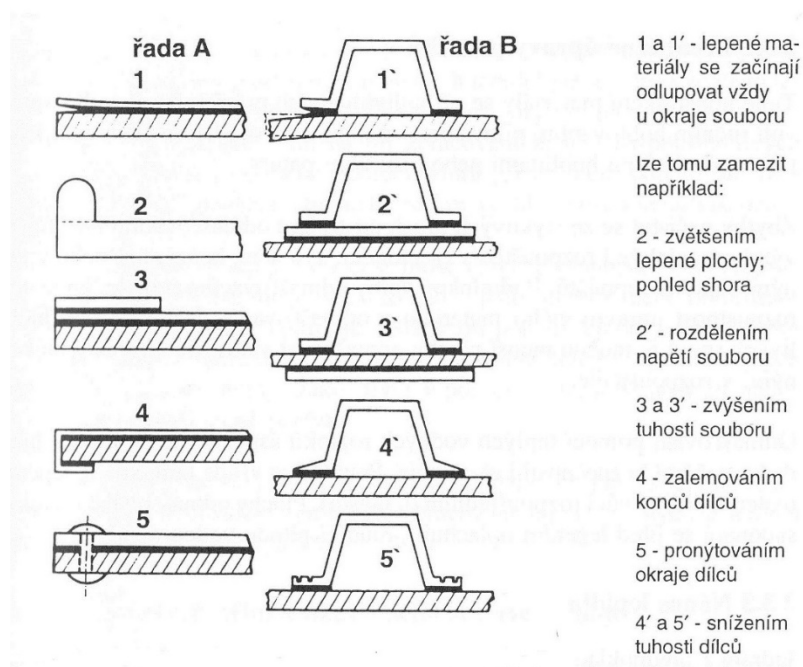
1.4 Konstrukce lepených spojů

Aby si lepený spoj zachoval dlouhodobou spolehlivost a trvanlivost, je nutné přizpůsobit celou konstrukci tak, aby:

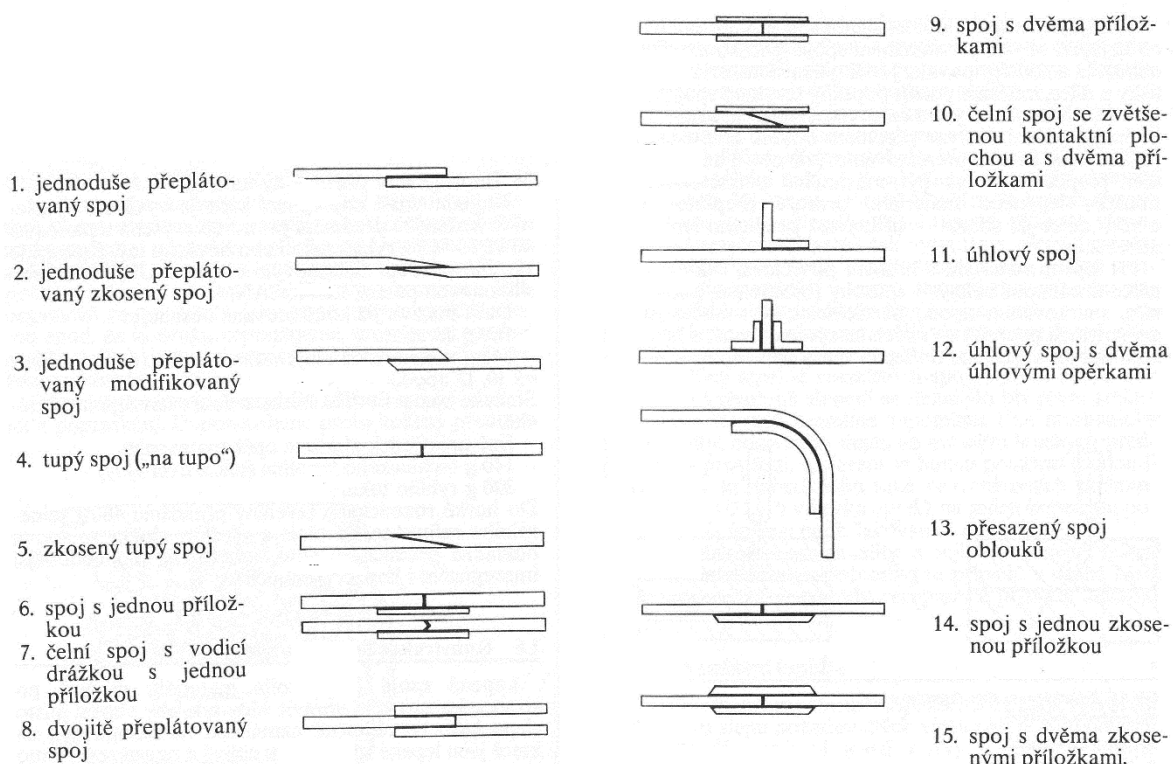
- a) mechanické namáhání bylo rozděleno rovnoměrně a nesoustředilo se pouze v místě spoje
- b) spoj byl zatěžován převážně namáháním v tahu a ve smyku a minimálně namáháním v odlupování (obr. 6), které je pro lepené spoje nejméně příznivé
- c) plocha spoje byla dostatečně velká a napětí bylo v celém lepeném spoji rovnoměrně rozložené
- d) lepené materiály měly (v místě spoje) stejné nebo alespoň podobné koeficienty teplotní roztažnosti

Právě koeficient teplotní roztažnosti bývá často při konstrukci podceňován, eventuálně není brán vůbec v úvahu. V technické praxi se rozdíl koeficientů teplotní roztažnosti (především kovů) využívá v měřicí a regulační technice.

Jestliže dodržíme výše uvedená základní pravidla lepení z hlediska návrhu konstrukce, je množství vhodných variant konstrukčního řešení lepených spojů skutečně velké. Na (Obr. 6) je uvedeno několik případů.[3]



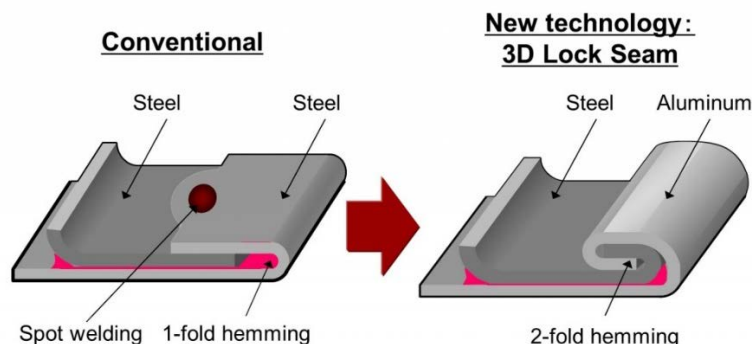
Obrázek 5 Zajištění spoje proti odlupování [2]



Obrázek 6 Základní rozdělení lepených spojů [5]

V dnešní době se rozmáhá trend pro rozsáhlejší používání lehkých hliníkových slitin zejména v automobilovém průmyslu. To otevírá cestu jak například uspořit palivo. Nová technologie s označením 3D Lock Seam, což lze přeložit jako trojrozměrně zaklesnutý spoj. Oproti většině v současnosti používaných technik spojování hlavně nesourodých kovových materiálů, jakými jsou třeba právě ocel a hliník, by měla být novinka výrobně podstatně jednodušší a levnější.

Schéma výrobního postupu je dobře patrné z obrázku a vyniká zdvojeným zalomením lemů. Tím je zajištěna větší pevnost spoje a omezuje se riziko jeho rozpojení. Nedílnou součástí procesu je aplikace speciálního lepidla, jež vyplní všechny mezery uvnitř spoje a zabráni pronikání vlhkosti a nebezpečí koroze. Vnitřní hrana spoje je ještě opatřena vrstvou tmelu. [18]



Obrázek 7 Základní rozdělení lepených spojů [18]

Z produkčního hlediska popsaná metoda vyniká odstraněním bodových svarů, navíc nevyžaduje zavádění žádných dodatečných kroků při výrobě, takže ji lze snadno aplikovat. 3D Lock Seam jako první z portfolia využívá tuto technologii automobilky Honda. Zejména u boční dveře s ocelovou konstrukcí a hliníkovým vnějším pláštěm, což snížilo jejich hmotnost o 17 % v porovnání s celooceľovou stavbou. Postup 3D Lock Seam není ve svém principu žádným převratným vynálezem, ale nabízí možnost rozsáhlejšího využívání hliníkových slitin v konstrukci sériových automobilů, jež se pak může projevit jak na zlepšených dynamických parametrech, tak na snížení spotřeby paliva a emisí CO₂. [18]

1.5 Přednosti a nedostatky spojů

Stejně jako jiné technologie, vyznačuje se lepení nejen mnoha výhodami, ale i některými nevýhodami a limitujícími činiteli. Při rozhodování o typu lepeného spoje je třeba brát v potaz kromě ekonomického hlediska a technických předností, i nedostatky technologie lepení ve srovnání s tradičními způsoby spojování (např. svařováním, pájením, šroubováním, nýtováním).

Přednosti lepení

- ❖ lepení umožňuje spojování stejných (např. kombinace ocel - ocel, hliník - hliník, pryž - pryž, sklo - sklo aj.) nebo různých (např. kombinace ocel - hliník, ocel - pryž, ocel - sklo) materiálů bez ohledu na jejich tloušťku
- ❖ aplikací lepidla není narušena celistvost konstrukce ani estetický vzhled lepeného souboru
- ❖ je možné připravit spoje vodotěsně a plynotěsně, čímž se lepení liší od spojů vytvářených šrouby nebo nýty
- ❖ lepený spoj tlumí vibrace v konstrukci a zvyšuje tuhost i vzpěrovou pevnost souboru

- ❖ lepený spoj zabraňuje vzniku elektrolytické koroze kovových dílů
- ❖ lepením se nezvyšuje hmotnost souboru (jeden z předpokladů miniaturizace)
- ❖ spoje můžou být průhledné nebo i barevně přizpůsobené
- ❖ lze dosáhnout vysoké pevnosti spojů, zejména při namáhání ve smyku a rázové houževnatosti [13]

Nedostatky lepení

- ❖ lepení klade vysoké požadavky na rovnost a čistotu povrchu lepených dílců
- ❖ při spojování materiálů se špatnými adhezními vlastnostmi jsou nutné speciální úpravy povrchu
- ❖ konstrukčně lepené spoje nejsou rozebíratelné
- ❖ většina lepených spojů je citlivá vůči namáhání v odlupování
- ❖ maximální pevnosti spoje je dosaženo až po nějaké době
- ❖ odolnost vůči vyšším teplotám je omezena
- ❖ spoj z termoplastických lepidel je citlivý vůči dlouhodobému statickému namáhání (vede k tečení polymerní složky lepidla)
- ❖ skladovatelnost většiny lepidel je časově omezená [13]

2 Konstrukční lepidla pro lepení kovů

2.1 Způsoby dělení lepidel

1) Podle vytváření lepeného spoje:

- a) **roztoková nebo disperzní lepidla** – nános těchto lepidel tuhne (vytváří film) vsáknutím a odpařením rozpouštědla. Základní předpokladem použití rozpouštědlových lepidel je poréznost a propustnost pro plyny alespoň u jednoho z lepených dílů. U roztokových lepidel je filmotvorná látka rozpuštěna ve vhodném rozpouštědle (voda, líh, aceton). U disperzních lepidel je filmotvorná látka velmi jemná disperze polymerů ve vodě. Po vsáknutí a odpaření vody dochází ke slinutí polymerních částic v souvislý film. K tomuto slinutí může dojít jen nad minimální filmotvornou teplotu, která se pro různé disperze liší. Minimální filmotvorná teplota disperzních lepidel bývá kolem 10-12 °C.[3]
- b) **citlivá na tlak** – například lepicí pasty, spoj vznikne po lehkém přitlačení. V aplikační formě se s nimi setkáváme výhradně v kombinaci s různými nosiči ve formě jednostranných nebo oboustranných samolepicích pásek, fólií a tapet. U běžných typů samolepicích pásek (určených pro aplikaci v interiéru) bývá teplotní hranice použitelnosti obvykle do 60 °C. Pro aplikace v interiérech automobilů jsou dnes k dispozici oboustranné lepicí pásky a fólie s trvalou teplotní odolností 90, ale i 120 °C. Manipulační pevnosti spojů je dosaženo okamžitě po přitlačení dílů k sobě.[3]
- c) **tavná** – spoj vznikne ztuhnutím taveniny za normální teploty. Jsou to pevné látky termoplastického charakteru. Pro průmyslové aplikace se dodávají v granulované podobě. Ke zpracování se roztaví při teplotě 120 - 200 °C do kapalné formy. Manipulační pevnost spojů je dosaženo ihned po zchladnutí filmu lepidla ve spoji, obvykle během několika desítek sekund.[3]
- d) **vytvrzující chemickou reakcí (reaktivní lepidla)**
 - ❖ lepidla tuhnoucí vlivem vlhkosti prostředí – v aplikační formě to jsou, pastovité nebo kapalné monomery, které při kontaktu s vlhkostí, jež je přítomná na povrchu lepených materiálů, začínají polymerovat a mění se v plastickou hmotu (houževnatou až elastickou, podle druhu lepidla).[3]
 - ❖ lepidla tuhnoucí kontaktem s kovy za nepřístupu vzdušného kyslíku (anaerobní) – v aplikační formě jsou to pastovité nebo kapalné monomery,

které po zamezení přístupu vzduchu do spoje začínají za katalytického působení kovových iontů polymerovat a mění se na houževnatou plastickou hmotu s vynikající adhezí ke kovům. [3]

- ❖ lepidla tuhnoucí po přidání tvrdidel – dvou i více složkové systémy na bázi epoxidových pryskyřic nebo polyuretanů. Jednotlivé komponenty jsou dodávány v samostatných obalech a před aplikací se jednotlivé složky v předepsaném poměru promíchají (homogenizují). Připravená kompozice má různě dlouhou dobu zpracovatelnosti, zpravidla od několika desítek sekund po 2 - 4 hodiny (v závislosti na typu lepidla a teplotě prostředí). [3]
- ❖ lepidla tuhnoucí zvýšenou teplotou – v aplikační formě jsou to kapalné nebo pastovité látky na bázi epoxidových, fenolických, močovinových nebo metalminových pryskyřic. Dodávají se v jednosložkové podobě (tvrdidlo v tzv. latentní formě je s pryskyřicí homogenizováno již při výrobě) nebo v dvousložkové podobě s tzv. pololatením tvrdidlem, které se s pryskyřicí homogenizuje před aplikací a vzniklá kompozice má dobu zpracovatelnosti několik dní. Tato lepidla vytvrzují obvykle při teplotách 80 - 200 °C. Používají se téměř výhradně v průmyslových aplikacích. [3]

2) Podle vytvrzovací reakce

Vytvrzovací reakce je možno dělit do tří typů:

- a) **Polykondenzace** – slučování většího počtu molekul stupňovitým mechanismem v makromolekuly, provázené odštěpováním jednoduchých molekul, například vody, alkoholu a podobně. Produkt polykondenzace má jiné elementární složení než výchozí monomery.
- b) **Polymerace** – je chemická reakce, při níž se molekuly monomeru spojují řetězovým mechanismem v makromolekuly polymeru. Produkt má většinou stejné elementární složení jako monomer.
- c) **Polyadice** – probíhá podle podobného reakčního mechanismu, jako polykondenzace totiž postupným mechanismem. Nedochozí však k odštěpování nízkomolekulární látky. Elementární složení polymeru je stejné jako složení monomeru. [7]

3) Podle dodací formy

- a) **Jednosložková lepidla** – jsou technologicky výhodnější. Pokud vytvrzují za laboratorní teploty, mají obvykle omezenou dobu skladovatelnosti. Při vytváření spoje za zvýšené teploty jsou to často prášky, které jsou nanášeny jako tavenina, nebo tají po dopadu na přehřátý kov. Jindy to bývají tyčinky, kusy, pasty nebo roztoky. Jednosložková lepidla mají zpravidla některé vlastnosti spojů omezeny. Mezi jednosložková lepidla patří i lepicí fólie. [7]
- b) **Dvousložková a vícenosložková lepidla** – dvousložková konstrukční lepidla vytváří vysoce pevné spojení, proto jsou nejrozšířenější skupinou lepidel vytvrzujících chemickou reakcí. [7]

2.2 Lepidla vhodná k lepení kovů

Při výběru lepidla pro lepení kovů musíme vycházet z toho, že kovy jsou materiály zcela nepropustné. Z tohoto důvodu přicházejí v úvahu jen taková lepidla a metody lepení, které zaručují, že se v průběhu lepení neuvolní těkavé látky, které by snižovaly kohezi a adhezi filmu lepidla. Právě proto nelze použít roztoková a disperzní lepidla. Výjimkou jsou kontaktní lepidla na bázi chloroprenového a polyuretanového kaučuku např. Alkapren, Chemoprén a další, které jsou viskóznější. Běžně se k lepení kovů používají lepidla reaktivní. [12]

Lepidla epoxidová

Pokud potřebujeme lepit rozměrnější plochy, překlenout velkou spáru ve spoji, vyplnit nerovnosti vzniklé nedokonalým opracováním lepených dílů a přitom získat pevné a stabilní spoje odolné povětrnostním vlivům, jsou ideální dvousložková epoxidová lepidla. K lepení kovů jsou vhodné systémy neplněné i plněné. Pro montážní lepení menších ploch nebo pro opravy si můžeme vybrat z řady *rychlých* systémů, které dosahují manipulační pevnosti za 2 až 10 minut.

Standardně vytvrzujících systémů je na trhu celá řada typů, neplněné i plněné práškovými plnivými (tzv. tekutý kov). Doba zpracovatelnosti připravené kompozice se liší u jednotlivých typů lepidel, obvykle bývá 30 minut až 3 hodiny. Manipulační pevnosti je dosaženo asi po 1 až 5 hodinách. Lze přibližně říci, že doba potřebná k dosažení manipulační pevnosti spoje je asi dvojnásobkem doby zpracovatelnosti připravené kompozice. Některé typy tekutých kovů je možné již po 5 až 6 hodinách mechanicky opracovávat - pilovat, vrtat, soustružit, frézovat.

U kovových konstrukcí je nutné dodržet minimální velikost spáry. Neplněné systémy připouštějí minimální šířku spáry 0,1 mm, plněné systémy 0,2 až 0,3 mm. K dodržení minimální velikost spáry, je vhodné použít distanční drátky.

Při výběru epoxidového lepidla k lepení kovů je pro nás důležitý údaj o pevnosti. Lepidla s pevností 20 MPa a více bývají označována jako vysoko pevnostní. Zpravidla se udává pevnost ve smyku při zatěžování v tahu. S těmito hodnotami pevnosti je možné počítat u oceli a chemicky upravených hliníkových slitin. Výrazně nižších pevností mají epoxidová lepidla na mědi a jejích slitinách a na žárově nanášeném zinku (např. pozinkovaný plech). Obecně platí, že čím vyšší je odolnost kovu vůči korozi, tím menších pevností lze s epoxidovými lepidly dosáhnout. Výjimkou je hliník a jeho slitiny, které bez chemické úpravy povrchu téměř nelze lepit, avšak po dobře provedené mechanické a chemické úpravě povrchu jsou dosahované pevnosti spojů velmi dobré.

Teplotní odolnost epoxidových lepidel je od -50 do 80 až 150 °C. Při použití neplněných systémů může nastat pokles pevnosti již od 60 až 70 °C, plněné systémy jsou v tomto směru lepší. [12][3]

Lepidla polyuretanová

Další skupinou lepidel vhodných k lepení kovů jsou dvousložková lepidla polyuretanová. Jsou zpracovatelná i za nízkých teplot a poskytují spoje pevné, pružné a odolné proti dynamickému namáhání, vodě (i mořské) a povětrnostním vlivům, zředěným kyselinám, olejům a různým rozpouštědlům. Nebývají tak citlivá na dodržení předepsaného směšovacího poměru jako lepidla epoxidová. Pevnosti se pohybují kolem 15 MPa, teplotní odolnost je obvykle do 100 °C.[3]

Lepidla Kyanoakrylátová

Při lepení malých slícovaných povrchů lze použít kyanoakrylátová (vteřinová) lepidla. K těsnění a stabilizaci polohy rozebíratelných dílců slouží anaerobní akrylátová lepidla. Slouží výhradně k lepení kovů. Vytvrzují po zamezení přístupu vzduchu do spoje za katalytického působení kovových iontů. Pokud chceme lepit ke kovu nekovové díly, je nutné použít na nekovový díl aktivátor. Hlavní oblastí použití anaerobních lepidel je zajišťování šroubových spojů proti vibracím a korozi, těsnění závitových spojů, upevňování ložisek na hřídele i do otvorů, těsnění dělicích rovin. Akrylátová anaerobní lepidla se dodávají v několika pevnostních kategoriích od 5 do 40 MPa a v několika viskózních třídách, od kapilárních typů s maximální šířkou spáry 0,08 mm, do tixotropních pastovitých typů

s maximální šířkou spáry 0,5 mm. Pro plošné a elastické montážní lepení kovů se v současnosti používají lepidla na bázi MS polymerů (Modified Silan), vyvinuta tak, aby byla schopna odolávat vysokým mechanickým napětím a přitom byla dostatečně pružná pro kompenzaci pohybu v případě slepení různorodých podkladů.

Patří mezi ty nejmodernější a mají široké uplatnění zejména v automobilovém, leteckém, lodním průmyslu, strojírenství apod. Jsou vhodná nejenom pro lepení kovů navzájem, ale také pro kombináční lepení zejména s plasty, pěnovým polystyrenem, glazovanými materiály, sklem, zrcadly, keramikou apod. [2][3]

Lepidla stále lepivá

Tento typ lepidel má v aplikační podobě formu oboustranných lepicích fólií nebo pásek. Stále větší oblibu si získávají pro svou aplikační jednoduchost, schopnost překlenout nerovnosti povrchů lepených dílů (zejména u pěnových typů) a kompenzovat odlišné koeficienty teplotní roztažnosti lepených materiálů. Lze jimi lepit díly povrchově upravené galvanickým pokovením nebo nátěrovými hmotami. Dobře odolávají vibracím a výrazně přispívají k jejich tlumení.

Teplotní odolnost samolepicích pásek je standardně 60 °C, lze však koupit i typy s teplotní odolností 90 až 120 °C.

Manipulační pevnosti spojů je dosaženo okamžitě po přitlačení dílů k sobě. Konečné pevnosti se dosahuje, v závislosti na typu pásky (fólie) a druhu podkladu, obvykle do 24 hodin. Doporučená teplota pro práci se samolepicími páskami je 15 až 30 °C.

Hlavní oblastí použití je lepení krycích panelů a pláštěů, lepení kabelových žlabů a úchytek, schránek na dokumentaci a různých označovacích štítků.[3]

Lepidla Kaučuková (Chemoprénová)

Dělení kaučukových lepidel:

- ❖ **Nevulkanizační** – lepidla mají ve srovnání s vulkanizačními kaučukovými lepidly podstatně menší pevnosti spojů.
- ❖ **Vulkanizační** – je chemická reakce, při které dochází k ze síťování molekul syntetických, nebo přírodních kaučuků. Vulkanizační kaučuková lepidla obsahují vulkanizační přísady a vulkanizují obvykle v rozmezí teplot 140 až 150 °C. Do lepidla jsou kromě vulkanizačních přísad ještě přidány aktivátory a urychlovače, umožňující vulkanizaci i za teploty 25 až 30 °C [7]

Hlavními požadavky na dobré rozpouštědlo pro výrobu kaučukového lepidla jsou zejména:

- a) rozpouštědlo nesmí mít nepříznivý vliv na kvalitu lepidla,
- b) musí být minimálně toxické,
- c) musí zaručovat co nejmenší nebezpečí vzniku ohně,
- d) nemělo by pokud možno zapáchat,
- e) mělo by mít vhodnou rychlost rozpouštění kaučuku a rychlost odpařování.

Tato lepidla se nanášou na obě lepené plochy a nechají se zaschnout, až jsou na dotek téměř nelepivá. Teprve potom se lepené plochy přiloží k sobě a zatíží tlakem. Vysoká počáteční koheze filmu lepidla umožňuje poměrně pevné spojení pouhým přiložením ploch, tedy kontaktem. Odtud název kontaktní lepidla. Spoje (kov/kov) jsou náchylné na stříh. Z toho vyplývá, že tato lepidla jsou vhodná k lepení krycích panelů, typových a ozdobných štítků atd. [3]

3 Technologie povrchových úprav kovů

3.1 Čištění

O důležitosti správné přípravy povrchu k lepení jsme se již přesvědčili v pojednání o přilnavosti (teorie adheze). Kov se očistí buď pouze tzv. *suchou cestou*, např. otřením hadříkem, škrabkou či kartáčkem, nebo se omyje vhodnými roztoky saponátů nebo jiných emulgátorů, jako je Jar, Saponit, Kekord, Corona, tekuté mýdlo apod. Nestací-li toto očištění i pro odmaštění, použijí se speciální čisticí prostředky (např.: aceton, isopropanol, toluen atd.).

Jindy se mohou využít tuhé, pastové nebo práškové čisticí prostředky na kovy, nanášené na kousek hadříku, které svým spojeným účinkem povrchy dokonale očistí a odmastí. Čisticí prostředky jsou buď univerzální, nebo speciálně zaměřené na ocel, železo, barevné kovy, lehké slitiny atd.

Je třeba si uvědomit, že i vynikající lepidlo mnohdy zklame a vytvoří nepevný spoj, nanese-li se na nedostatečně upravený a neočištěný podklad. Vždy se musí dodržet pokyny výrobce.[4]

Odmašťování organickými rozpouštědly

Používá se téměř všech rozpouštědel, pokud ovšem sama nejsou mastná. Jsou to např. IPA (isopropylalkohol), chlorované uhlovodíky, jako trichloretylén, tetrachlormetan, ketony jako

aceton, metyletylketon (MEK) atd. Odmašťování rozpouštědly je zdánlivě snadné a jednoduché. Dobrého výsledku však dosáhneme teprve po několikerém odmaštění.

Velmi dobře se odmašťuje v lázni ohřáté pod bod varu rozpouštědla. Při jiném způsobu odmašťování lepenou plochu potíráme tampony vaty namáčené v rozpouštědle. Nejlepších výsledků se dosahuje v odmašťovacích přístrojích. V přístroji se předměty umísťují nad lázni rozpouštědla, která je ohřátá nad bod varu rozpouštědla. Páry rozpouštědla unikající z lázně se zkapalňují (kondenzují) na očišťovaných předmětech, rozpouštědlo odkapává a tím s sebou unáší nečistoty. Do přístroje vkládáme předmět bez mechanických nečistot, protože u nich by se povrch neodmastil. [8]

Čištění alkalickými prostředky

K čištění se používá hydroxydu sodného, metakřemičitanu sodného, sody, nejčastěji však alkalického přípravku. K odmašťování se používá 5% roztok a odmašťuje se 20 minut při teplotě asi 80 °C. Pak se předmět důkladně opláchne teplou tekoucí vodou. Někdy se na uschlém povrchu může objevit šedý mlhovitý povlak, který vznikl ze zbytku roztoku a ze solí, obsažených v tvrdé vodě. Povlaku se nemůžeme zbavit ani oplachováním ani dalším odmašťováním v lázni. Rozpustíme jej však v 10 % roztoku kyseliny solné nebo sírové a pak opláchneme v čisté vodě. Prakticky nezáleží na tom, je-li voda použitá pro poslední oplach tvrdá. [8]

Odmašťování pastami

Při opravách strojů se často stává, že je nutno odmastit poměrně malou plochu na velkém stroji, jsou to obvykle plochy s trhlinami ve stojanech strojů, v blocích motorů a podobně. Povrch bývá značně znečištěn olejem i mechanickými nečistotami, prachem, sazemi atd. Nejprve odstraníme s povrchu všechny usazeniny, abychom získali čistou kovovou plochu, kterou ale musíme ještě odmastit. Odmašťování v lázni není možné a odmašťování potíráním rozpouštědly bývá málo účinné zejména proto, že se z okolí stále přivádí nová mastnota. V takovém případě se osvědčují odmašťovací alkalické pasty. Opravované místo i jeho okolí několik minut potíráme pastou, kterou nakonec důkladně s povrchu setřeme. Zbytky pasty ještě umyjeme a opláchneme tak, aby oplachovaná kapalina nepřenesla na opravované místo novou mastnotu z okolí. [8]

Velmi účinnou pastu si můžeme připravit z vápna rozmíchaného v trichloretylénu. Touto kašičkou natřeme odmašťovanou plochu a necháme ji tam tak dlouho, až důkladně vyschne.

Potom suchý zbytek vápna oprášíme. Odmašťování je velmi vydatné, protože je tu kombinován účinek rozpouštědla s alkalickým účinkem.

Odmašťování kyselinami

Pro odmaštění oceli může být použito kyselých odrezovačů. [8]

3.2 Úprava povrchu

Mírné zdrsňení představuje mělké zdrsňení kovového povrchu. Dosáhne se ho odíráním nebo otryskáváním a vede vždy ke zkvalitnění konečného slepu. Někdy se oděr nebo otryskávání používají pro vyhlazení hrubého drsného povrchu, jako při odlévání, nebo jsou prostě použity pro odstranění korozních zplodin nebo jiných forem znečištění.

Odírání

Odírat lze mokrou nebo suchou cestou za použití buď brusného papíru odolného proti vodě (velikost částic 45 μm až 106 μm) nebo použitím trojrozměrného netkaného abraziva. Pro lepení musí být díly suché a musí se zvolit nejvhodnější postup lepení. Sušení lze urychlit ofukováním proudem čistého teplého suchého vzduchu při teplotě nepřevyšující 60 °C. [16]

Otryskávání

Otryskávání za sucha je obvykle vyhrazeno pro kovové materiály. Při opatrném postupu, při kterém nedochází k nadměrné erozi, může být i tato méně agresivní metoda výhodně použita při přípravě plastových dílů větších rozměrů. Existují zvláštní postupy zahrnující specializovaná otryskávací média, jako rozprašený oxid uhličitý a rozdrčené ořechové skořápky. V podstatě však jsou kovové díly obvykle připravovány otryskáváním za sucha za použití otryskávacích částic o velikosti 45 μm až 106 μm . Otryskává se tak dlouho, dokud se upravovaný povrch nejeví jako stejnorodý. Další materiál pro tryskání se používá křemičitý písek, ocelové broky, korund, ale mohou to být taky drtě z ovocných pecek, plasty, sklo, struska, apod. Na hliník, měď, korozivzdornou ocel a titan se nesmí použít železný nebo ocelový otryskávací materiál (mohl by to nastartovat korozi).

Otryskávání za mokra pod úhlem menším než kolmo k povrchu za použití otryskávacích částic < 20 μm - rozptýlených ve vodě nebo ve vodní páře - může být účinné především u malých kovových dílů. Speciální systémy obvykle obsahují přísady rozpustné ve vodě. Aby se zabránilo dalšímu znečištění povrchu, je zapotřebí dodržovat doporučení výrobce. [16]

Chemická a elektro chemická úprava

Donedávna byla obvyklým předmětem mokré chemické úpravy oxidace povrchu. Protože však proces oxidace vyžaduje použití a likvidaci silných oxidačních činidel, začaly být a stále jsou vyvíjeny alternativní postupy používající pojiva. V současné době mají tendenci být založeny na silanové chemii.

Účinnost modifikace povrchu na bázi chemického působení závisí na pečlivosti při provádění jednotlivých procesů. Nejčastěji za použití leptacích roztoků. Musí se však dodržovat základní požadavky, určené českou technickou normou dle ČSN EN 13887.[16]

Tabulka 1 Příklady použití povrchové úpravy kovových materiálů před lepením [12]

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

3.3 Zkoušení lepených spojů

Abychom mohli porovnávat a vyhodnocovat kvality a ostatní parametry lepidel, musíme zvolit k tomu příslušnou metodu a určit kritéria. Jelikož každý typ lepeného spoje plní jinou funkci, je také důležité rozlišit, jakým způsobem je tento spoj zatěžován, a k tomu bychom měli vybrat zkoušku, dle které budeme vyhodnocovat výsledné parametry.

Základní typy zkoušek:

- ❖ Zkouška pevnosti v tahu
- ❖ Zkouška lámavosti
- ❖ Zkouška rázové pevnosti
- ❖ Zkouška na únavu lepeného spoje
- ❖ Zkouška na pevnost odlupování

Smyková pevnost v tahu – podstata zkoušky stanovuje smykové namáhání jednotlivého přeplátovaného spoje mezi tuhými adherendy, na které působí zatěžující tahová síla. Vyhodnocuje se síla potřebná k přetržení tohoto přeplátovaného spoje, popřípadě napětí.

Zkouška lámavosti – zkoušený vzorek je podroben silám, snažící se o jeho zlomení statickým ohybem. Jde o pozvolné narušení soudržnosti při zatížení konstantní silou, která vyvolá defekt zkoušeného spoje. [7]

4 Odolnost a životnost konstrukčních lepidel

4.1 Skladování lepidel

Pokud výrobce neuvádí jinak, skladují se lepidla v suchých místnostech za teploty maximálně 28 °C. Nemají být poblíž topení a nemá na ně přímo svítit slunce. To platí především pro lepidla dodávaná ve formě roztoku.

U mnoha lepidel je předepsáno skladování za teplot do 5 °C. Je doporučeno tento předpis dodržet. Některé typy lepidel jako jsou např. kyanoakrylátová nebo fonolformaldehydová lepidla se mohou při skladování za pokojové teploty znehodnotit už za měsíc, i když výrobce zaručuje skladovací dobu 6 měsíců. Z praktických důvodů je lze skladovat v chladicích boxech přibližně po dobu 1 roku, aniž by to mělo vliv na jejich životnost a pevnost. [7]

4.2 Odolnost lepených spojů proti působení snížené a zvýšené teploty

Spolehlivost lepených spojů záleží na jejich odolnosti proti působení snížených a zvýšených teplot, to znamená zachovat si vlastnosti i po dlouhodobém působení zvýšené teploty (tepelná stálost anebo odolnost proti tepelnému stárnutí), při zvýšení nebo snížení zkušební teploty (odolnost proti teplotě a odolnost proti mrazu) a odolnosti proti náhlé změně teploty (tepelný ráz) [14]

Rozdílné podmínky využití lepeného spoje mohou podmiňovat chemický nebo fyzikální mechanismus jeho destrukce. Jak při krátkodobém zahřívání na 300 až 450 °C většina lepidel podléhá především tepelnému rozkladu, tak při dlouhodobém působení nižších teplot (100 až 300°C) probíhá zejména termooxidační destrukce. Při změně teploty může v lepidle probíhat fázová přeměna a může se tak změnit jeho struktura. Kromě toho je potřeba brát v úvahu tepelná napětí ve spoji, která vznikají rozdílem v koeficientu tepelné roztažnosti lepených materiálů a lepidla. Tento faktor může působit na spolehlivost lepených konstrukcí při teplotách pod bodem mrazu zejména při rychlém poklesu teploty. [14]

Tabulka 2 Příklady druhů lepidel při vyšších teplotách [14]

<i>Druh lepidla</i>	<i>Teplota využívaná (°C)</i>	<i>Doba využívaná (h)</i>
Epoxidové	~150	≤ 30 000
Fenolkaučukové	~150	≤ 30 000
Polyaromatické	200 až 400	~ 2000
Organické (silikonové)	200 až 400	~ 2000
Anorganické	≤ 2000	~0,2

Změna vlastností lepených spojů v procesu tepelného stárnutí závisí na poměru mezi kohezivními a adhezivními silami. Změnu kohezivní pevnosti lepidel ve spoji lze hodnotit podle údajů o tepelném stárnutí polymerů, z kterých se lepidla vyrábějí, přičemž se berou do úvahy zvláštnosti chování polymeru k lepicí vrstvě. [14]

Změna pevnostních, dielektrických a některých vlastností polymeru při tepelném stárnutí se často znázorňuje exponenciální závislostí.

4.3 Odolnost lepených spojů proti vlivu vody

Lepené spoje rozličných materiálů podléhají do určité míry působení vody, jejich par a proto se jejich pevnost snižuje. Působení vody na lepidlo může vést k jeho hydrolyze anebo rozpuštění. Nabobtnávání lepidla ve vodě anebo jeho vyschnutí způsobuje vznik napětí ve spoji. Deformace lepených materiálů při změně rovnovážné vlhkosti prostředí se odráží i na stavu lepicí vrstvy. Proto napětí vznikající ve spoji při jeho vlhnutí nebo vysušování ustavičně působí jako dlouhodobé zatížení a způsobuje únavu spoje. Ještě nebezpečnější může být působení proměnlivého vlhnutí, které často probíhá v atmosférických podmínkách. Zbytková napětí přitom nabývají cyklický charakter, což výrazně urychluje proces destrukce. Na tomto jevu se zakládají metody testování zrychleného stárnutí lepených spojů. Skutečné stárnutí lepidla (chemická destrukce) však přitom téměř nikdy nenastává. [14]

V poměru k plastifikaci, hydrolyze, částečnému rozpuštění a erozi polymeru a jiných složek lepidla, se působení vody na lepicí vrstvu jen málo odlišuje od jeho působení na lepidlo ve volném stavu, ačkoli difúzní pronikání do objemu a hraničních vrstev se může odlišovat. Difuze vody do lepicí vrstvy při lepení nepórovitých materiálů probíhá jen přes okraje lepicí vrstvy, které mají malou plochu. Pravděpodobnost tvorby defektu na rozhraní dvojfázového systému roste pod vlivem vody, zejména za přítomnosti plniv, které zvyšují nestejnoroost lepidla. [14]

Při stanovení odolnosti proti vodě (možno definovat jako stupeň zachování pevnosti při působení vodou) se často používají různá kritéria:

- ❖ krátkodobé (několik dní)
- ❖ dlouhodobé (měsíc, rok a více)

Odolnost proti vodě významně závisí od charakteru povrchové úpravy lepeného materiálu. Další způsoby zvýšení odolnosti lepených spojů proti vodě je možné dosáhnout rozdílnými způsoby, které jsou založené na povrchové ochraně spojů proti působení vlhkosti, na snížení navlhání, difúze a pórovitosti lepených materiálů i lepidel, na jejich modifikaci rozličnými způsoby, na snížení vlhkostních napětí konstrukčními opatřeními anebo modifikací lepidla, na absorpční úpravě lepených materiálů zvyšujícími odolnost proti vodě, na zvýšení pevnosti a odolnosti adhezivních vazeb polymeru s podkladem [14]

Výběr metody závisí na charakteru a vlastnostech lepených materiálů, podmínkách využití lepeného spoje a jiných faktorech.

Nejjednodušší způsob zvýšení odolnosti lepeného spoje proti působení vody je povrchová ochrana lepených spojů nátěrem. Ačkoli povrchová ochrana má jen dočasný efekt, je to celkem jednoduchý a poměrně účinný efekt. Další dobrou možností je hydrofobizace lepidla při jeho přípravě speciálními přísadami. Taková hydrofobizační přísada se musí dobře snášet se základem lepidla a nesmí zhoršovat jeho adhezivní a kohezivní vlastnosti. [14]

Odolnost proti vodě a chemická stabilita lepených spojů kovů se zvyšuje i přidáním inhibitorů koroze do lepicí směsi. Přidávají se také inhibitory, které s kovy vstupují do vzájemného absorpčního stavu. V praxi se používá chromátový komplex. [14]

4.4 Odolnost lepených spojů proti chemickému prostředí

Lepené spoje jsou v konstrukcích často vystaveny působení agresivního prostředí, většinou kapalného. Patří k nim anorganické a organické kyseliny, oxidační činidla, zásady, paliva, oleje, organická rozpouštědla, chladicí kapaliny apod.

Většina spojů lepených termoreaktivními lepidly, především vytvrzenými za zvýšené teploty, odolává dlouhodobému působení minerálních olejů, benzínu, dieselových paliv, aromatickým rozpouštědel a jiným organickým látkám.

Zvyšování chemické odolnosti roste při použití lepidel vytvrzovaných při zvýšených teplotách. [14]

4.5 Odolnost lepených spojů proti atmosférickým podmínkám

Lepené spoje se velmi často využívají v atmosférických podmínkách. Vliv atmosféry je daný současným působením čtyřech základních faktorů — teploty, vody a jej pár, kyslíku a ultrafialového záření. Jak se lepené konstrukce využívají v průmyslových oblastech, musíme počítat s tím, že vzduch je do určité míry nasycený agresivními plyny (SO₂, H₂S apod.). Atmosféru přímořského podnebí charakterizuje zvýšená vlhkost a přítomnost rozličných solí ve vodných parách.

Vliv atmosférických podmínek na lepené spoje se v mnohém odlišuje od jejich působení na většinu jiných heterogenních polymerních systémů. Lepené spoje se na celé ploše vystavují působení teploty, ale na odkrytých koncích může působit aj ultrafialové záření, kyslík a voda.

Vliv vody se zvyšuje, když se lepí pórovité hygroskopické materiály, např. dřevo. Ve většině konstrukcí konce lepených spojů bývají zakryté, což zmiňuje podmínky jejich

využití. V souvislosti s tím podle některých norem, jako např. podle americké normy ASTM D1828 — 70T, je atmosférickému stárnutí vystavené poměrně velké lepené díly (především z hliníku a nerezavějící oceli). Před zkoušením se tyto výrobky řežou na standardní vzorky. Ve většině případů se získávají přibližně takové výsledky jako při stárnutí jednotlivých vzorků.

Teplota, která se šíří v lepených konstrukcích při působení slunečního záření, kolísá v poměrně širokém rozmezí v závislosti na klimatické oblasti, poměru mezi pohlcováním a odražením sluneční energie, charakteru povrchu konstrukcí apod.

Působení atmosféry na lepené spoje má cyklický charakter. Možno definovat cykly denní (především osvětlení a teploty), sezónní (teploty, vlhkosti a v menší míře osvětlení), cykly spojené se změnami počasí apod. Takto působením atmosféry vznikají teplotně-vlhkostní napětí cyklického charakteru v lepených spojích. Čím většinou jsou hodnoty těchto napětí a čím rychleji se mění, tím rychleji nastává únava spoje, což ohraničuje jeho životnost.[14]

4.6 Prognóza vlastností lepených spojů

Pojmem prognózování rozumíme předpověď změny výchozích vlastností spoje v průběhu dlouhodobého využívání při působení rozličných podmínek. Způsoby prognózování se nejčastěji zakládají na zkouškách, při kterých probíhá intenzivní pokles pevnosti anebo jiných vlastností spojů jako v reálných podmínkách. Základní metody prognózování je možno řadit do dvou skupin:

Metody, u kterých se nebere v úvahu působení vnějších sil

Metody s dlouhodobým namáháním

Dříve se častěji používaly metody první skupiny, ačkoli mají jen omezený význam, jelikož lepené spoje se využívají především pod zatížením. Kromě toho tyto metody dávají jen nepřímou představu o prvním mezním stavu (pevnosti), ale není je možno použít na posouzení dlouhodobého mezního stavu (deformovatelnosti), která se musí brát do úvahy u většiny výrobků současně s pevností [14]

5 Experimentální část zkoušky životnosti konstrukčních lepidel

Výhody plynoucí z použití povrchové předúpravy před lepením ke zvýšení životnosti byla provedena pomocí zrychlené testovací metody odlupování. Tato zkušební metoda pak byla vyhodnocena pomocí výsledků získaných v relativně krátké době, aniž by bylo použito nereálné zrychlené prostředí.

Lepené vzorky utrpí ztrátu pevnosti zejména, když jsou vystaveny vysokým vlhkostem nebo vysokým teplotám. Mnohé studie prokázaly, že voda může mít vliv i na chemické a fyzikální vlastnosti lepidla. Vniknutí vody v závislosti na pevnosti spoje určuje, zda je lepidlo závislé na předúpravě povrchu. Zrychlené testy simulující životní prostředí jsou prostředkem k odhadu životnosti spoje nebo poskytují údaje k hodnocení ovlivňujících faktorů, pokud jde o odolnost vůči degradaci.

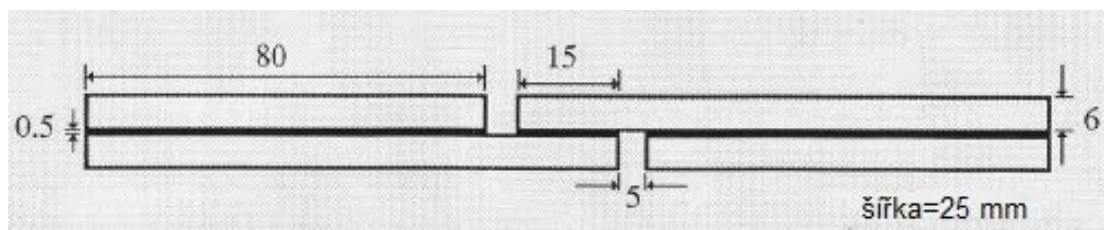
Tento typ jednoduchého experimentu byl vyvinut na Glasgowské Universitě k rychlé kvantifikaci životnosti. Tato nová zkušební metoda se pokusila zjistit stupeň přilnavosti lepidla na kovový povrch a to měřením síly potřebné k odstranění lepidla z povrchu po urychleném stárnutí. [15]

5.1 Standardní testy

Je obvyklé zkoumat vlastnosti stárnutí lepených spojů pomocí měření počáteční pevnosti za sucha a pomocí měření zbytkové pevnosti po stárnutí.

Důvodem k této studii byla snaha o standardizaci průmyslové předúpravy. Proto je důležité, aby povrch (adherend) a lepidlo, byly připraveny v souladu s pokyny výrobce. Lepidlo se poté aplikuje na vzorek, který je následně zatížen, tak aby se zajistila přilnavost a tloušťka během vytvrzování. Tloušťka lepené vrstvy byla řízena pomocí distančních drátků. U některých typů lepidel je nutné provést tepelné vytvrzení v souladu s pokyny výrobce lepidla. Například se může jednat o vytvrzení při teplotě 180 °C po dobu 20 minut v peci. Vzorky se po vytvrzení nechají zchladnout na teplotu laboratorního prostředí.

Po testu zrychleného stárnutí v životním prostředí při teplotě 30 °C a 100% vlhkosti, se dva vzorky každého typu testují ihned (za mokra) pro zbytkové statické pevnosti a v dalších dvoutýdenních intervalech po celkovou dobu 12 týdnů. Testy se provádějí na speciálním zařízení pro zkoušku tahem a to při laboratorní teplotě. [15]



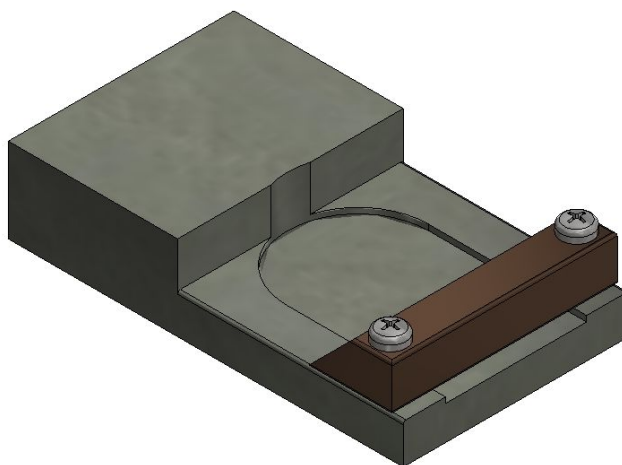
Obrázek 8 Vzorek pro standartní test [15]

5.2 Test odlupováním

Cílem mého výzkumu bylo vyzkoušet používání nové zkušební metody pro kvantifikaci mezipovrchové trvanlivosti lepidla na vzorcích, pomocí nové metody zkoušky životnosti se, kterou změříme zbytkovou mezifázovou sílu lepidla na adherend po zrychleném stárnutí s (relativní vlhkost 100% při teplotě 30 °C). Byl kvantifikován záznam požadované síly k odstranění pruhu lepidla z povrchu. [15]

Výhodou této zkoušky je získání výsledků v relativně krátkém časovém intervalu. Geometrie vzorků umožňuje rychlé vniknutí vody do lepidla a mezifázové zóny.

Pro zjištění vlivu stárnutí na pevnost lepidla byl navržen speciální kovový přípravek, viz obrázku 9. Aby bylo možné seškrábnout tlustou vrstvu lepidla z povrchu vzorků je na přípravek našroubován speciální nůž, který má úhel břitu 45°.



Obrázek 9 Navržený kovový přípravek

Byly zvoleny čtyři povrchové úpravy. Na krajní část každého vzorkového pásku byl nanesen tlustý film lepidla v tloušťce přibližně 1 mm.

Vzorky byly podrobeny urychlenému stárnutí při teplotě 30 °C a relativní vlhkost 100% a testovány za mokra na zkoušku tahem strojem ZD – 10/90 se zaznamenáním dat v počítači a

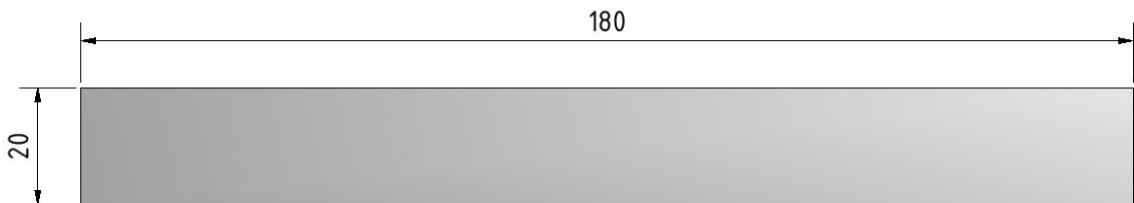
s posuvem konstantní rychlostí (20 mm / min) při laboratorní teplotě. Laboratorní prostředí nebylo striktně monitorováno, ale průměrná teplota byla přibližně mezi 18 a 23 ° C.

5.3 Příprava vzorků

Vzorkové pásy byly připraveny z

- ❖ Konstrukční oceli třídy 11 373
- ❖ Lakované uhlíkové oceli
- ❖ Nerezavějící oceli AISI 304
- ❖ Slitiny hliníku AW 5005

Od každého typu materiálu bylo nastříháno 9 pásků o rozměru 180x20mm.



Obrázek 10 Pásek pro test odlupování

Po nastříhání a začištění otřepů, následovalo odmaštění plíšků etanolem.

5.4 Povrchová úprava vzorků před lepením

Úprava vzorků před lepením patří k důležitým krokům zajišťujícím dosažení optimalizace výsledků testu.

Pro úpravu povrchu byly zvoleny metody povrchových úprav, dle doporučení normy ČSN EN 13887.

1) Fyzikální úprava povrchu

- ❖ brusný papír zrnitosti P60

2) Chemická úprava povrchu

- ❖ kyselina fosforečná - H_3PO_4

3) Elektro chemická úprava povrchu

- ❖ anodická oxidace

4) Úprava povrchu práškovou barvou

- ❖ práškové lakování barva RAL 9003

Vzorky broušené:

- 9 vzorky uhlíkové oceli
- 9 vzorky nerezové oceli
- 9 vzorky hliníku

Broušení vzorků proběhlo na pásové brusce – zrnitosti pásu bylo P60

Vzorky po chemické úpravě:

- Kyselina fosforečná
- 9 vzorků uhlíkové oceli
- 9 vzorků nerezové oceli
- 9 vzorků hliníku

Na chemické moření (leptání) se používá roztok kyseliny fosforečné. Roztok se připraví následovně:

Za stálého míchání se kyselina smísí v poměru 1:1 s vodou. Roztok působí na vzorek po dobu 3 min.



Obrázek 11 Lázeň kyseliny H₃PO₄

Vzorky po anodické oxidaci:

Lázeň kyseliny fosforečné H₃PO₄

9 vzorků uhlíkové oceli

9 vzorků nerezové oceli

9 vzorků hliníku

Anodická oxidace je jinými slovy metoda eloxování, která se nejčastěji provádí u hliníku a jeho slitin. Eloxování je ekologicky šetrná povrchová úprava, vytvářející barevné povrchy s dobrou korozní odolností.

Vlastní proces anodické oxidace je velmi variabilní. Varianty anodizace lze rozlišovat podle použitého typu elektrického zdroje, lázně nebo podle dalších podmínek anodizace jako jsou teplota a proudová hustota. Značná variabilita procesu anodizace umožňuje získat vzorky rozličných povrchových vlastností.

Podle použitého proudu lze proces dělit na anodizaci stejnosměrným nebo střídavým proudem. V technické praxi se používá stejnosměrného proudu.

Elektrolytů vhodných k použití pro anodizaci je mnoho. Nejčastěji používanou lázní je roztok kyseliny sírové H₂SO₄, dále pak (COOH)₂, kyseliny fosforečné H₃PO₄, kyseliny

chromové H_2CrO_4 nebo různé kombinace těchto kyselin. V našem případě byla použita lázeň kyseliny fosforečné H_3PO_4 rozpuštěná ve vodě.

Anodizace probíhá v rozmezí teplot $15 - 25\text{ }^\circ\text{C}$ a proudové hustoty v rozsahu $1,2 - 3\text{ A}\cdot\text{cm}^2$ po dobu 10-15 min.

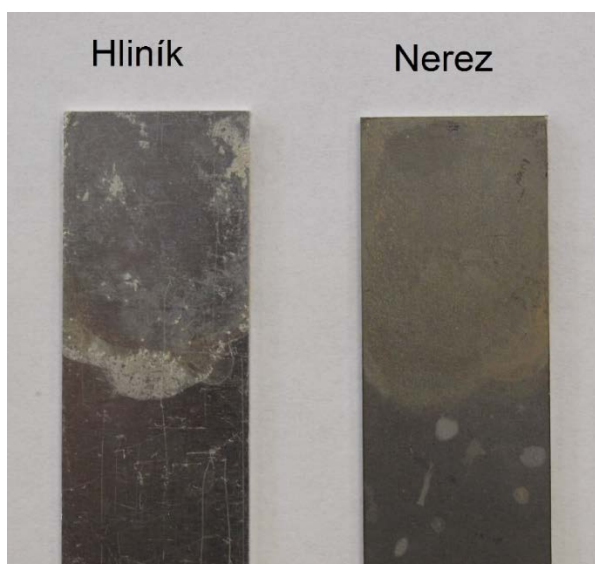
Anodizovaný vzorek se zapojuje jako anoda (+). Katody používané pro anodickou oxidaci bývají uhlíkové nebo olověné.

Vlivem průchodu elektrického proudu dochází k disociaci H_2O a H_3PO_4 . Kladné a záporné ionty putují k odpovídajícím elektrodám, kde odevzdávají svůj náboj a vylučují se zpět jako molekuly.

Na anodě dochází k tvorbě oxidu hlinitého Al_2O_3 , který vzniká přímou oxidací hliníkového materiálu, nebo nepřímou cestou přes reakci s hydroxylovými anionty. Vytvořený hydroxid hlinitý vykazuje elektroizolační vlastnosti.

Po procesu anodizace následuje důkladný oplach – vypírání povrchové vrstvy. Pokud by nebyla dostatečně vyprána od zbytků kyseliny z lázně, došlo by ke znečištění případně následující lázně nebo dokonce ke znehodnocení celého vzorku.

Při použití oxidační metody u oceli vznikla na povrchu vzorku oxidační vrstva železa. U nerezového vzorku nedošlo k žádné povrchové změně.



Obrázek 12 Anodizované vzorky

Vzorky po lakování

9 vzorků - aplikace práškové barvy na ocelové pásky

5.5 Výběr lepidel

Pro lepení vzorků byly vybrány 3 typy konstrukčních lepidel. Dvě z nich jsou to dvousložkové velmi pevná epoxidová lepidla, vhodná pro lepení kovů. A jedno akrylátové lepidlo.

Technická data epoxidového lepidla Spabond 345:

- ❖ Vzhled: béžová pasta
- ❖ Vytvrzení 15 hodin při 55 °C
- ❖ Zpracovatelnost 60 min
- ❖ Manipulační pevnost 5 hodin
- ❖ Funkční pevnost 24 hodin
- ❖ Míchací poměr 2 : 1
- ❖ Tepelná odolnost do +84°C

Technická data epoxidového lepidla Scotch-Weld DP490 3M:

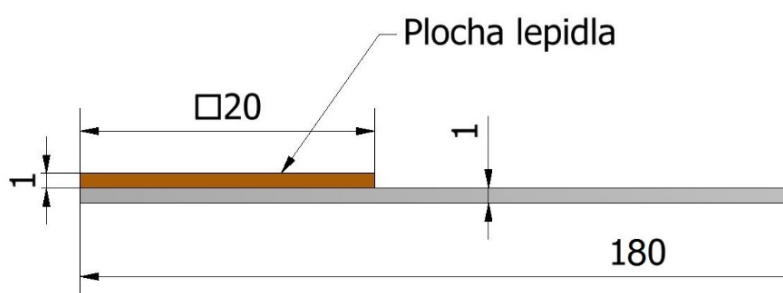
- ❖ Vzhled: černá pasta
- ❖ Zpracovatelnost 90 min
- ❖ Manipulační pevnost 4-6 hodin při 23 °C
- ❖ Funkční pevnost 24 hodin při 23 °C
- ❖ Míchací poměr 2 : 1
- ❖ Tepelná odolnost od -55 °C až do +120 °C

Technická data dvousložkového akrylového lepidla Penloc GTI-C:

- ❖ Vzhled: průhledná
- ❖ Zpracovatelnost 4-5 min
- ❖ Funkční pevnost 4-6 hodin
- ❖ Míchací poměr 1 : 1
- ❖ Tepelná odolnost od -30 °C až do +150 °C

5.6 Příprava a aplikace lepidel

Ve všech případech je nutné dodržet předpis výrobce lepidla. Jednosložková lepidla zpravidla není potřeba před lepením upravovat. V případě dvousložkového lepidla je nutné obě složky dobře promíchat. V současné době již existují systémy pro přesné a automatické mísení a dávkování dvousložkových epoxidů, které je výhodné využívat při konstrukčních aplikacích zejména v průmyslu a řemeslné výrobě. U epoxidových lepidel závisí druh použitého tvrdidla na vytvrzovací teplotě.



Obrázek 13 Lepená plocha vzorku

Lepidla byla připravena důkladným promícháním obou složek lepidla pomocí statického mixéru v daném směšovací poměru. Poté se lepidlo stěrkou rovnoměrně nanoslo na povrch vzorků. Lepená plocha tvořila 20 x 20 mm z celkové délky plíšku. U lepidla Spabond 345 bylo provedeno předepsané vytvrzení v peci při teplotě 55 °C. Po uplynutí 24 hodin byly vzorky připraveny k měření.



Obrázek 14 Dávkovací pistole se statickým mixérem

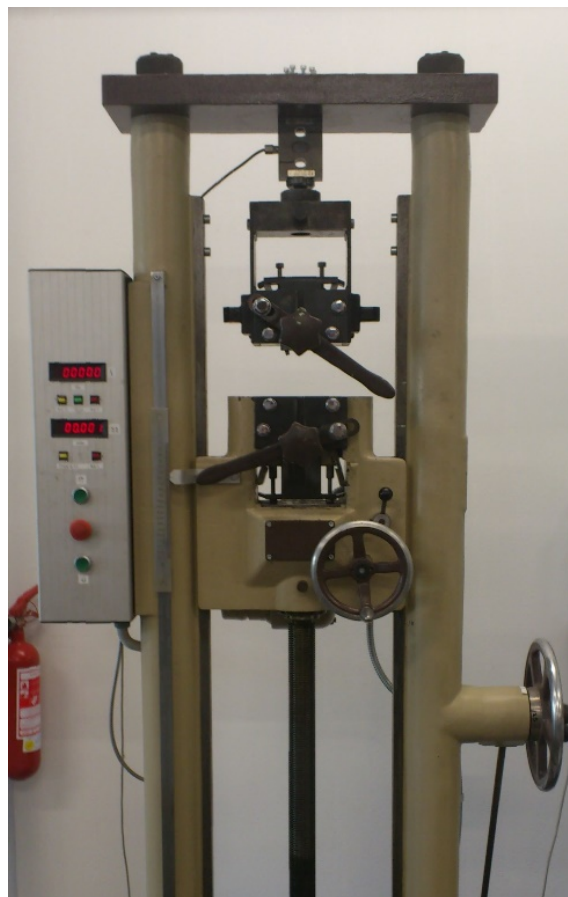
Ještě než došlo k samotnému měření, bylo zapotřebí odbrousit okrajové přebytky lepidla.



Obrázek. 15 Lepené vzorky

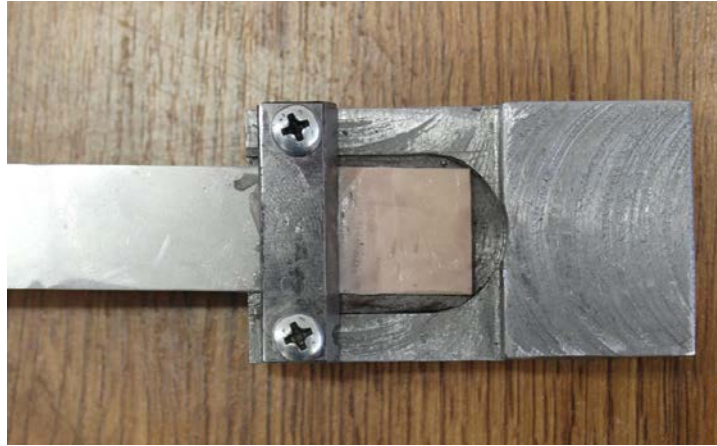
5.7 Zkoušení vzorků

Zkouška vzorků proběhla na zkušebním stroji ZD – 10/90 se záznamem dat v počítači.

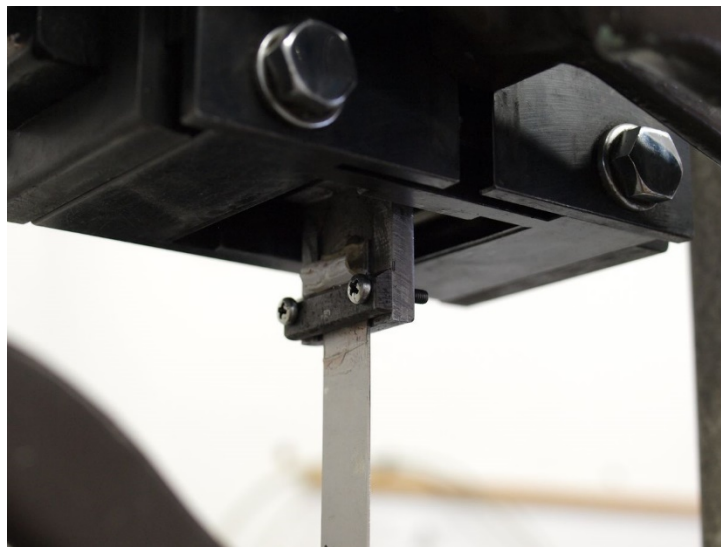


Obrázek 16 Zkušebním stroji ZD – 10/90

Jednotlivé vzorky se připevnilly do přípravku, jak je zobrazeno na obrázku 17. Pro lepší vedení vzorku byla dotyková plocha natřená vazelínou. Následovalo připevnění přípravku a vzorku do čelistí měřícího zkušebního stroje viz obrázek 18.



Obrázek. 17 Vzorek připevněný v přípravku



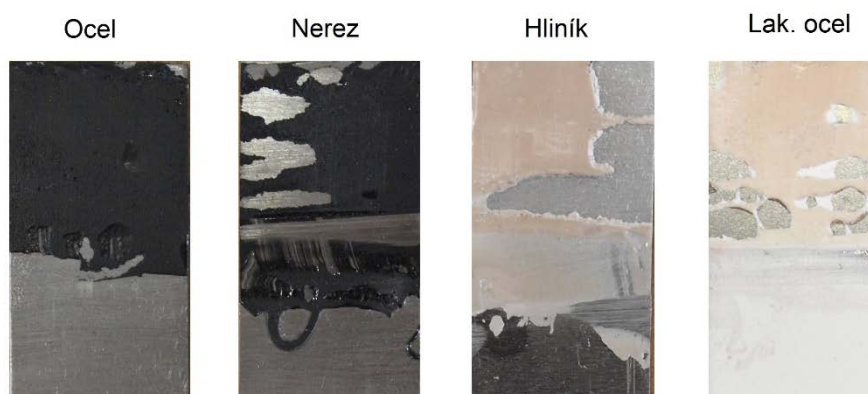
Obrázek. 18 Vzorek s přípravkem připevněn ve zkušebním stroji



Obrázek. 19 Vzorek po odloupení

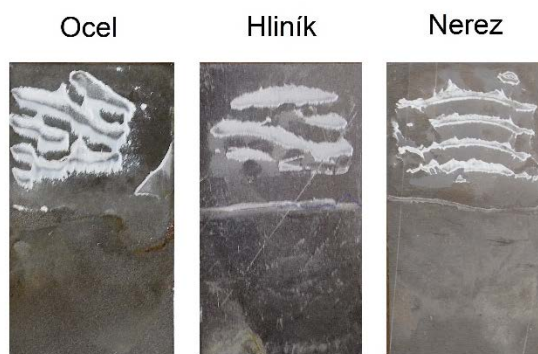
Samotné měření bylo rozděleno do dvou etap. První etapa zkoušení vzorku byla před zkouškami životnosti. Z důvodu ověření správné povrchové předúpravy materiálů a dobré adhezní přilnavosti.

Výsledkem je naměřená nejvyšší síla [N] při odloupení lepidla.

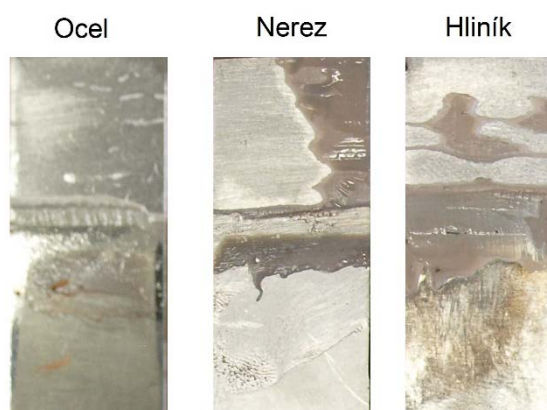


Obrázek 20 Broušené vzorky a lakovaný vzorek před testem stárnutí

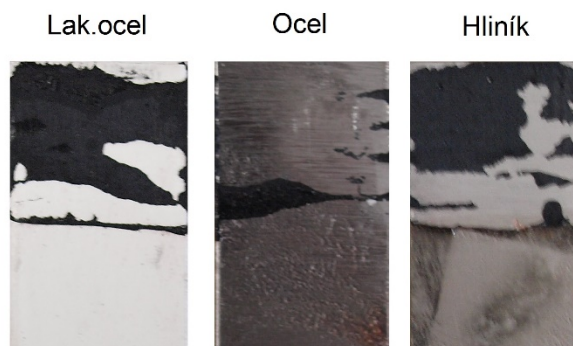
Druhá etapa zkoušení vzorku byla po zkouškách životnosti. Zkoušky životnosti proběhly zrychleným testem stárnutí. Vybrané typy vzorků byly umístěny do nádoby s vodou s přimícháním fosforečnanu sodného. Po sedmidenním působení vodného roztoku proběhly zkoušky metodou odlupování. Na následujících obrázcích jsou patrné adhezivní poruchy pro dané typy lepidel. Na obrázku 21 jsou znázorněny vzorky po anodické předúpravě povrchu po odloupení lepidla. Na obrázku 22 a 23 je znárodněna broušená a lakovaná úprava povrchu.



Obrázek. 21 Vzorky lepidla Penloc



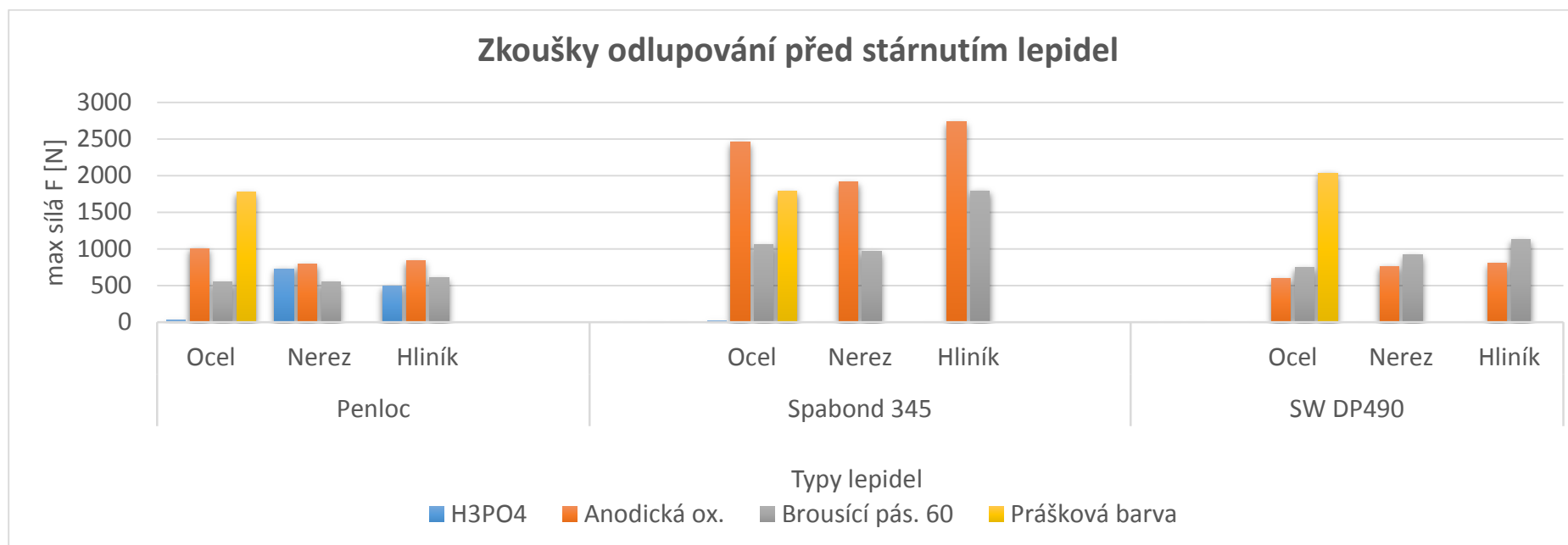
Obrázek. 22 Vzorky lepidla Spabond 345



Obrázek 23 Vzorky lepidla Scotch-Weld DP490

5.8 Vyhodnocení výsledků

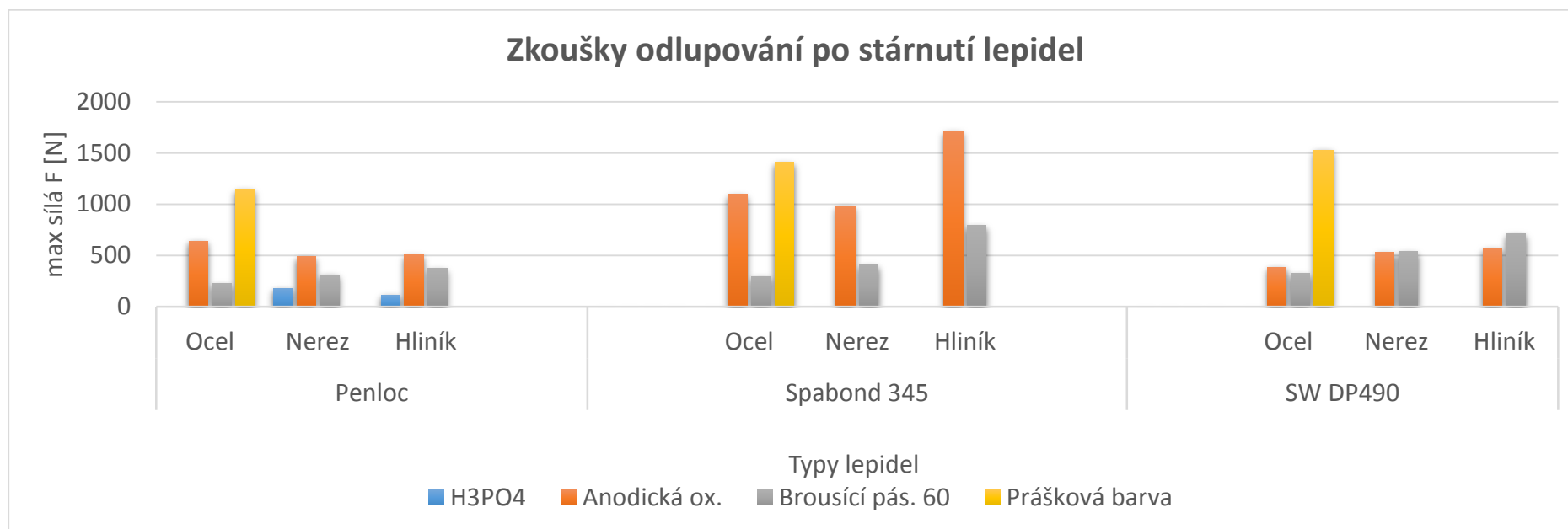
Na základě naměřených hodnot byly sestaveny grafy. Výsledky zkoušek byly vyjádřeny jako aritmetický průměr měřených vzorků se stejnou povrchovou úpravou a stejným použitým lepidlem. Pro každou povrchovou úpravu byly použity 3 vzorky pro daný typ lepidla.



Graf 1 Znárodnění maximálních sil po odloupení pro danou povrchovou úpravu před zrychleným testem stárnutím lepidla

Tabulka 3 Naměřené hodnoty maximálních sil [N] před stárnutím lepidel

	Penloc			Spabond 345			SW DP490		
	Ocel	Nerez	Hliník	Ocel	Nerez	Hliník	Ocel	Nerez	Hliník
H₃PO₄	24	727	492	12	0	0	0	0	0
Anodická ox.	1005	790	838	2454	1915	2731	591	760	801
Brousící pás. 60	548	546	603	1059	960	1791	748	922	1128
Prášková barva	1776			1786			2034		



Graf 2 Znárodnění maximálních sil po odloupení pro danou povrchovou úpravu, po zrychleném testu stárnutím lepidla

Tabulka 4 Naměřené hodnoty maximálních sil [N] po stárnutí lepidel

	Penloc			Spabond 345			SW DP490		
	Ocel	Nerez	Hliník	Ocel	Nerez	Hliník	Ocel	Nerez	Hliník
H₃PO₄	0	180	114	0	0	0	0	0	0
Anodická ox.	642	488	504	1094	983	1711	387	530	571
Brousící pás. 60	226	313	376	293	407	790	322	535	711
Prášková barva	1147			1409			1529		

Z výsledku měření je patrné, že vhodnou úprava povrchu vzorku je anodická oxidace zejména u hliníkové slitiny a prášková barva. Naopak při použití chemického moření naleptání povrchu vzorků kyselinou fosforečnou má výsledná vrstva nevhodné složení pro navázání lepidla, nebo je příliš silná. Z těchto důvodů byla tato povrchová úprava použita jen u dvou typů lepidel a to u lepidla Penloc a Lepidla Spabond 345. V koncovém výsledku se potvrdilo, že ani pro tyto dvě lepidla není tato povrchová předúprava vhodná. U většiny zkoušených materiálů došlo k okamžitému odloupení lepené vrstvy. Dokonce u ocelového materiálu při použití lepidla Spabond 345 došlo k podkorodování adhezní vrstvy jak je vidět na obrázku 24.



Obrázek 24 Vzorek lepidla Spabond 345

V případě chemicky neupravených povrchů rozhoduje o adhezi drsnost povrchu, která musí být dostatečná pro dobrý kontakt lepidla a povrchu.

Pro nejpříznivější spojení lepidla a materiálu jsou nejvhodnější povrchy velmi hrubé anebo naopak velmi hladké. V našem případě byl zvolen hrubý povrch.

Závěr

Hlavním cílem této diplomové práce bylo ověření životnosti vybraných lepidel v důsledku působení vody. Byla zvolena zkouška pro zrychlené stárnutí vrstvy lepidla. Tato zkouška měla zjistit vliv vody na vlastnosti filmu lepidla. Pro zkoušky byla zvolena metoda, kdy je na adherend nanášena relativně silná vrstva lepidla. Po vytvrzení lepidla je celá plocha vystavena působení korozního prostředí. Díky tomu může působit korozní prostředí na celou plochu a tím rychle ovlivní celý film lepidla. To je v kontrastu s klasickými zrychlenými zkouškami, kdy korozní médium proniká pouze úzkou spárou mezi dvěma adherendy.

V souvislosti s hlavním cílem práce bylo dalším cílem prokázání závislosti mezi předúpravou povrchů kovových materiálů před lepením na životnost lepeného spoje. Prováděny byly testy životnosti metodou odlupování a to v laboratorních podmínkách po zrychlené korozní zkoušce působením vody. Při měření na zkušebním zařízení byly zaznamenávány maximální síly při odloupení vrstvy lepidla ze vzorku případně síla nutná pro seříznutí tenké vrstvy lepidla nožem upevněným v přípravku. Měření bylo provedeno na jednadvaceti vzorcích z různých adherendů s různou povrchovou předúpravou. Výsledky zkoušek před stárnutím se stejnou povrchovou úpravou a stejným lepidlem byly aritmeticky zprůměrovány.

Na základě provedených zkoušek bylo potvrzeno, že na životnost lepených spojů má značný vliv předúprava povrchu. V případě značně chemicky reaktivního lepidla vyvstal u uhlíkové oceli problém se vznikem korozní vrstvy. Tato korozní vrstva pak tvořila tzv. slabou vrstvu, ve které došlo k porušení lepeného spoje. Pro značně chemicky reaktivní lepidla pak bylo ukázáno, že je nutná buď korozně odolná předúprava (v mém případě např. prášková barva) nebo korozně odolný materiál (korozivzdorná ocel či hliníková slitina).

U ostatních lepidel byl zaznamenán pokles pevnosti spoje po působení vody přibližně o 30 až 50%, dle použitého lepidla. Tento pokles bylo možné očekávat, odpovídá údajům uváděným pro lepidla. Hlavní rozdíl však spočíval v tom, že naše zjištění v poklesu pevnosti v našem případě bylo dosaženo již po týdenní zkoušce. Obvyklé zrychlené korozní zkoušky přeplátovaných spojů trvají minimálně 4 týdny.

Dalším důležitým zjištěním bylo nalezení poměrně účinné předúpravy povrchu kovů pomocí anodizace. Anodická oxidace je běžně používána na hliníkové slitiny, její použití na ostatní kovy není běžné. V našem případě se však ukázala jako zajímavá předúprava i pro uhlíkové a korozivzdorné slitiny. Určitě stojí za ověření účinnosti této předúpravy na širším spektru materiálů.

Na základě provedených měření lze přijmout závěr, že použitá metodika je vhodná pro zrychlené zkoušení stárnutí lepidel. Dále byl potvrzen značný vliv předúpravy na životnost lepených spojů. Na základě těchto zjištění je možno konstatovat splnění zadání a cílů diplomové práce.

Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] PŘÍVRATSKÝ, Petr: Předúprava povrchu oceli pro lepení epoxidovými lepidly. 2011. 50 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Pavel Švanda, Ph.D.
- [2] OSTEN, Miloš: Práce s lepidly a tmely, Praha: Grada Publishing, 1996. 129 s. ISBN 80-7169-338-3
- [3] POKORNÝ, Jiří: Lepení a tmelení v dílně i domácnosti, Praha: Grada Publishing, 2000. 104 s. ISBN 80-7169-857-1
- [4] ŠKERŤÍK, Jan: Receptář pro elektrotechnika, Praha: SNTL, 1988. 554 s.
- [5] ŠKERŤÍK, Jan: Lepíme, tmelíme, lakujeme, Praha: Albatros, 1984. 335 s. ISBN 13-765-84
- [6] HRDLIČKOVÁ, D.: Strojírenská technologie III, Praha: SNTL, 1982. 167 s.
- [7] PETERKA, Jindřich: Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství, Praha. SNTL, 1980. 777 s.
- [8] MELEZÍNEK, O.: Lepení kovů ve strojírenství
- [9] PETRIE, E. M.: Handbook of Adhesives and Sealants. McGraw-Hill, New York USA, 2007. 1077 s., ISBN 978-0-07-147916-5
- [10] ABC lepidla [online]. [2011] [cit. 2011-02-02]. Dostupný z WWW: <http://www.abclepidla.cz/pdfs/Zaklady_theorie_lepeni.pdf>
- [11] Lepení [online]. [2011] [cit. 2011-02-11]. Dostupné z WWW. <http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/spt/lepeni.pdf>
- [12] Lepení kovů [online]. [2014] [cit. 2014-05-20]. Dostupné z WWW. <<http://www.uhu.cz/lepeni-kovu>>
- [13] BROŽEK, M.: Technologické vlastnosti sekundových lepidel. [Expertizní zpráva]. Praha, ČZU 1996. 31 s.
- [14] FREJDIN, Anatolij: Pevnost a životnost lepených spojov, Bratislava MDT 621.792, 1988. 288 s.
- [15] E.M. Knox, M.J. Cowling International Journal of Adhesion & Adhesives 20 (2000) 201-208
- [16] ČSN EN 13887 Konstrukční lepidla – Směrnice pro přípravu povrchu kovů a plastů před lepením. Praha: Český normalizační institut, 2004.

[17] Příklady lepených spojů ve stavbě karosérie [online]. [2014] [cit. 2014-05-20].

Dostupné z WWW.

<http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/12-doplnkove%20technologie/11-lepene%20spoje.jpg>

[18] Nový způsob lepení oceli a hliníku 3D Lock Seam [online]. [2014] [cit. 2014-05-20].

Dostupné z WWW.

<http://www.autorevue.cz/honda-zavadi-novy-zpusob-lepeni-oceli-a-hliniku-3d-lock-seam#utm_medium=selfpromo&utm_source=autorevue&utm_campaign=copylink#utm_medium=selfpromo&utm_source=autorevue&utm_campaign=copylink>

Přílohy:

Přílohy A: Technický list Penloc GTI-C (1/1)	55
Přílohy B: Technický list Scotch-Weld DP490 3M (1/2).....	56
Přílohy C: Technický list Scotch-Weld DP490 3M (2/2)	57
Přílohy D: Technický list Spabond 345 (1/4)	58
Přílohy E: Technický list Spabond 345 (2/4)	59
Přílohy F: Technický list Spabond 345 (3/4)	60
Přílohy G: Technický list Spabond 345 (4/4).....	61

Přílohy A: Technický list Penloc GTI-C (1/1)

TECHNICKÝ LIST

Penloc® GTI

Penloc® GTI je 2 komponentní vysokopevnostní strukturované lepidlo na akrylátové bázi.

Vyznačuje se vysokou flexibilitou, pevností a teplotní stálostí. Používá se na ocel, hliník, měď, chrom, mosaz, nikl, zinek, polyester, PVC, ABS, epoxidové pryskyřice, sklo, dřevo, beton, kámen apod.

Skladovat v temnu, chladnu a suchu. Při správném skladování použitelný minimálně 6 měsíců.

Technická data

Barva	průhledná
Základ	akrylát

Fyzikální vlastnosti v tekutém stavu

Viskozita [mPa]	5000
Bod vzplanutí [°C]	> 16
Hmotnost [g/cm ³]	ca. 1.2

Vytvrzení

Počáteční pevnost	5 – 7 minut
Konečná pevnost	4 – 6 hodin

Pevnost ve smyku

Ocel	27 N/mm ²
Ušlechtilá ocel	21 N/mm ²
Hliník	22 N/mm ²
PC	*5 N/mm ²
PMMA	*3 N/mm ²

Fyzikální vlastnosti ve vytvrzeném stavu

Teplotní stálost	-30 až 150 °C
Tvrдость	55
Srážlivost	75%
TG DSC :	50 až 55 °C

Přílohy B: Technický list Scotch-Weld DP490 3M (1/2)



Scotch-Weld™

EPX™ Adhesive DP490

Product Data Sheet

Updated : March 1996
Supersedes : November 1993

Product Description	DP490 is a black, thixotropic, gap filling two component epoxy adhesive with particularly good application characteristics.	It is designed for use where toughness and high strength are required and shows special benefits in the construction of composite assemblies.	The product has excellent heat and environmental resistance.
----------------------------	---	---	--

Physical Properties

Not for specification purposes

	BASE	ACCELERATOR
Specific Gravity	1.00	1.00
Consistency	Non-sag paste	Non-sag paste
Mix Ratio	By Weight 100	50
	By Volume 100	50
Colour	Black	Off-White
Work Life	1.5 hours minimum at 23°C	
Time to Handling Strength	4 to 6 hours at 23°C	
Time to Full Strength	7 days (test to full performance at one week)	
Shelf Life	15 months from date of despatch by 3M when stored in the original carton at 21°C (70°F) & 50 % Relative Humidity	

Performance Characteristics

Not for specification purposes

Performance Characteristics of the Cured Adhesive.

Two cure cycles were evaluated as follows:

Cure Cycle 1	7 days at 23°C
Cure Cycle 2	24 hours at 23°C, 1 hour at 80°C

Přílohy C: Technický list Scotch-Weld DP490 3M (2/2)

Date : March 1996
EPX Adhesive DP490

Performance Characteristics (Cont...)
Not for specification purposes

Temperature Performance in Shear and Peel.

(Etched Aluminium) Shear Strength to BS 5350 C5, Peel Strength was floating roller peel to BS5350 C9.

Tests were performed at 23°C unless otherwise stated.

Temperature (°C)	Shear Strength (1) (N/mm ²)	Shear Strength (2) (N/mm ²)	Peel Strength DaN/cm
-55	23.7	31.6	N/A
23	30.2	28.7	9.24
80	11.9	12.7	7.32
120	2.8	3.2	N/A
150	1.9	1.7	N/A

Adhesion to Etched Aluminium after Environmental Ageing

Ageing Condition	Shear Strength (N/mm ²)
RT Control	26.2
Water at 23°C, 750 hours	25.6
50°C, 96% RH, 750 hours	22.0
120°C, 750 hours	25.3
175°C, dry heat, 120 hours	29.6
Skydroll 500B at 23°C, 750 hours	27.6
JP4 at 23°C, 750 hours	28.7
Hydraulic Oil at 23°C, 750 hours	29.5

DP490 shows good adhesion to many plastic surfaces even by simply solvent wiping.

This can be improved still further by the use of 3M Scotchbrite abrasion and/or use of the primer Scotch-Weld 3901.

Plastics	Shear Strength (N/mm ²)
Carbon Fibre Reinforced Epoxy	36.1 (cohesive)
Polyester Sheet Moulding Compound	4.3 (substrate)
Glass Fibre Reinforced Phenolic	30.3 (cohesive)
ABS (filled)	3.2 (substrate)
PVC (filled)	2.9 (substrate)
Azloy (glass filled polycarbonate)	3.0 (adhesion)
Valox (glass filled PET)	1.4 (substrate)
PMMA	3.7 (adhesion)
Noryl (tm XTRA) (glass filled PPO)	4.9 (adhesion)

Přílohy D: Technický list Spabond 345 (1/4)



Spabond 345

Epoxy Adhesive System

- High strength and toughness
- Excellent gap filling properties
- Designed for cartridge and mixing machine dispense
- Three hardener speeds give a range of working times / clamp times
- Low exotherm and shrinkage
- Temperature performance up to 84°C

Introduction

Spabond 345 is a toughened, high performance adhesive system ideal for bonding large structures where substrate surfaces have uneven geometry. The product has a thick, paste-like consistency, and can be applied without sag in thicknesses of over 30mm at 15°C, making it ideal where large, uneven vertical gluelines are required.

The product has a 2:1 mix ratio by volume. To aid mixing, the components are pigmented to give visual indication of mix quantity. The Fast hardener is coloured purple, but there is also a black version. This is useful for improving the cosmetic appearance of bondlines involving exposed carbon composites.

Spabond 345 is available in 400ml cartridges, pails and drums.

Přílohy E: Technický list Spabond 345 (2/4)

Instructions for Use

The product is optimised for use at 15 - 25°C. At lower temperatures the components thicken and may eventually become unworkable. To ensure accurate mixing and good workability pre-warm the resin & hardener as well as the surfaces to be bonded before use.

Surface Preparation

Before using the product ensure that surfaces to be bonded are clean, dry and dust-free. Prepare all surfaces by abrading with medium grit paper or other suitable abrasive, remove dust then wipe with acetone or SP Fast Epoxy Solvent (Solvent A).

Metals usually require a chemical pre-treatment to create the best bond. Please contact sp for a Guide to Surface Preparation and Pre-treatments.

Ensure that polyester or vinylester laminates are fully cured before bonding, then prepare as above.

When bonding epoxy laminates, the use of a suitable Peel Ply as the last stage in their manufacture is recommended, otherwise prepare as above. Trials may be required to test Peel Ply suitability.

For ferrocement, etch with 5% solution of hydrochloric acid, wash with fresh water, then dry.

For all timber, sand with abrasive paper across grain. Degrease oily timber with a fast evaporating solvent (e.g. SP Fast Epoxy Solvent). For resinous or gummy timber, etch with 2% caustic soda solution, wash off with fresh water and dry.

Mixing & Handling

Spabond 345 resin should be combined with Spabond 345 fast (purple or black), Spabond 345 slow (red) or extra slow (blue) hardener in the following mix ratio:

Spabond 345 resin	Spabond 345 hardener
100	: 48 (by weight)
100	: 50 (by volume)

Mix thoroughly for at least one minute, paying particular attention to the sides and bottom of the mixing vessel, to ensure no streaks remain. Once fully mixed the adhesive should have a uniform brown, black, orange or pale green colour, depending on the hardener used. Use from pot quickly to maximise resin working life.

Cartridge Use

If dispensing product from twin cartridges with a mixing / dispensing head, please discard the first mix head length of resin and hardener components, prior to applying adhesive to the job, in order to ensure thorough mixing of the system. We recommend the use of a new mix head for each application, particularly where the time between each application approaches the pot life.

Properties

Component Properties				
	Resin	Hardener		
		Fast	Slow	Extra Slow
Mix Ratio (by weight)	100	48	48	48
Mix Ratio (by volume)	100	50	50	50
Viscosity @ 15°C (cP)	125,000	45,000	125,000	12,000
Viscosity @ 20°C (cP)	105,000	30,000	85,000	7,000
Viscosity @ 25°C (cP)	95,000	20,000	50,000	5,000
Viscosity @ 30°C (cP)	70,000	15,000	30,000	4,000
Shelf Life (months)	12	12	12	12
Colour	yellow	purple	red	blue
Mixed Colour	-	brown	pink	green
Component Dens. (g/cm ³)	1.17	1.08	1.097	1.012
Mixed Density (g/cm ³)	-	1.14	1.146	1.116
Hazard Definition	Xi, N	C, N	C	C

Notes: *Due to the thixotropic and filled nature of this system, these values are only indicative.

For an explanation of test methods used see 'Formulated Products Technical Characteristics'.

All figures quoted are indicative of the properties of the product concerned. Some batch to batch variation may occur.

† All times are measured from when resin and hardener are first mixed together

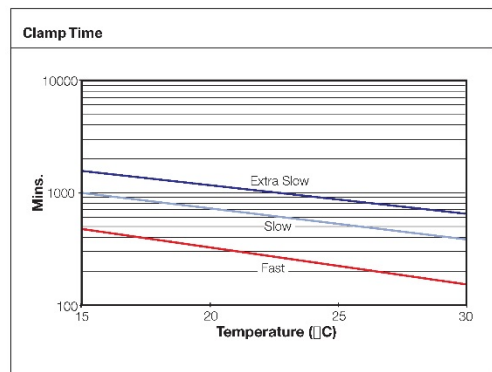
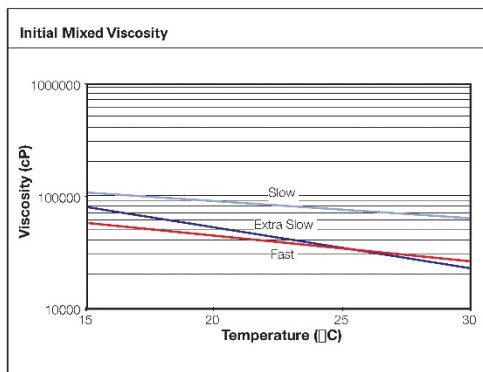
Přílohy F: Technický list Spabond 345 (3/4)

Properties (Cont'd)

Cured System Properties									
	Room Temp. Cure (28 days @ 21°C)			Cured 24 hours @ 21°C+16 hours @ 50°C			Cured 5 hrs @ 70°C		
	Fast	Slow	Extra Slow	Fast	Slow	Extra Slow	Fast	Slow	Extra Slow
Tg DMTA (Peak Tan δ)(°C)	66.8	70.0	70.4	80.0	82.2	82.6	89.0	96.2	93.3
Tg Ult - DMTA (°C)	91.7	106.5	103.6	91.7	106.5	103.6	91.7	106.5	103.6
Tg2 - DSC (°C)	54.6	58.9	59.0	67.9	68.8	81.4	77.6	80.9	77.1
Tg1 - DMTA (°C)	57.1	55.5	56.3	68.3	73.8	71.3	75.7	84.4	79.0
Cured Density (g/cm ³)	-	-	-	-	-	-	1.18	1.166	1.129
Linear Shrinkage (%)	-	-	-	-	-	-	1.15	1.212	1.057
Cleavage Strength (kN)	12.35	12.30	11.29	11.96	15.57	13.37	12.85	14.64	13.19
Shear Strength on Steel (MPa)	36.6	37.8	29.2	37.3	39.3	37.2	41.5	40.2	35.6
Shear Strength Wet Retention (%)	95.4	92.9	114.8	93.8	94.3	88.4	81.5	-	-

Working Properties vs. Temperature												
	Resin/Fast Hardener				Resin/Slow Hardener				Resin/Extra Slow Hardener			
	15°C	20°C	25°C	30°C	15°C	20°C	25°C	30°C	15°C	20°C	25°C	30°C
Initial Mixed Viscosity (cP)	52000	42,000	34,000	27,000	106,000	87,000	75,000	64,000	74,000	44,000	36,000	24000
†Gel Time - 150g mix in water (hrs:mins)	0:39	0:28	0:20	0:15	5:15	3:50	2:48	2:00	8:27	6:00	4:10	2:55
†Pot Life - 500g mix in air (hrs:mins)	0:20	0:17	0:13	0:10	1:19	1:12	1:06	1:01	3:06	2:41	2:16	1:57
†Clamp Time (hrs:mins)	7:50	5:30	3:55	2:45	16:32	12:10	8:52	6:24	26:04	19:25	14:19	10:42
Sag Resistance (mm)	17	16	15	14	30	28	26	24	30	28	26	24

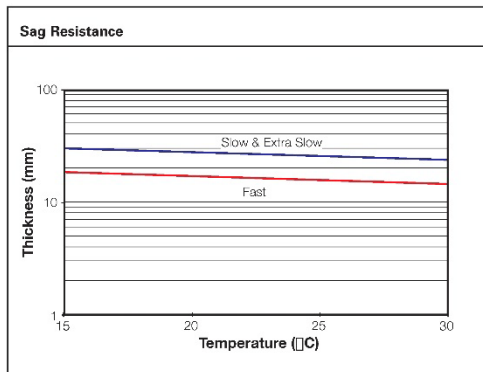
Working Properties



Notes: *Due to the thixotropic and filled nature of this system, these values are only indicative.
 For an explanation of test methods used see 'Formulated Products Technical Characteristics'.
 All figures quoted are indicative of the properties of the product concerned. Some batch to batch variation may occur.
 † All times are measured from when resin and hardener are first mixed together

Přílohy G: Technický list Spabond 345 (4/4)

Working Properties (cont'd)



Mechanical Properties

