

UNIVERZITA PARDUBICE  
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2013

Bc. Pavel Bíža

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera

Předúprava povrchu hliníkových slitin pro lepené spoje

Pavel Bíža

Diplomová práce

2013

Univerzita Pardubice  
Dopravní fakulta Jana Pernera  
Akademický rok: 2012/2013

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Pavel Bíza**  
Osobní číslo: **D11838**  
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**  
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Silniční vozidla**  
Název tématu: **Předúprava povrchu hliníkových slitin pro lepené spoje**  
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) Standardizace v konstrukčním lepení
- 2) Vliv stavu povrchu na pevnost lepených spojů
- 3) Praktická část - porovnání konvenčních a energiových způsobů předúpravy povrchu
- 4) 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. 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 se 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.

V Pardubicích dne 20. 5. 2013

Pavel Bíža

*Na tomto místě bych rád poděkoval především vedoucímu mé diplomové práce Doc. Ing. Pavlu Švandovi, Ph.D. za příkladné vedení, podmětne rady a připomínky. Dále bych rád poděkoval firmě JHV Engineering za umožnění zkombinovat studium a pracovní činnost. Dále bych rád poděkoval firmě SIKA za poskytnutí lepidel a technických informací, které jsem potřeboval při vypracování mé diplomové práce.*

## ANOTACE

Tato diplomová práce se zabývá srovnáním různých úprav povrchu hliníku a jejich zhodnocení pro použití v praxi. Cílem práce je posoudit obecně známé metody používané před lepením.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Lepený spoj, Adheze, Koheze, Adherend, Povrch, Úprava, Drsnost, Pevnost

## TITLE

Pretreatment of aluminum alloys for glue joints

## ANNOTATION

This thesis deals with the comparison of different surface treatment of aluminum and appreciation for their use in practice. The goal is assess the commonly known methods used before bonding.

## KEYWORDS

Glued joints, Adhesion, Cohesion, Adherend, Surface, Treatment, Roughness, Strength

# OBSAH

ÚVOD .....	12
1. Standardizace v konstrukčním lepení .....	13
1.1 Rozdělení lepených spojů .....	14
1.2 Příklady umístění lepeného spoje vůči působícím silám .....	15
1.3 Ostatní metody spojování kovů.....	16
2. Druhy a vlastnosti lepidel .....	18
2.1 Adheze.....	19
2.2 Koheze.....	21
2.3 Smáčivost .....	22
2.4 Výběr lepidla.....	25
2.5 Dělení lepidel podle způsobu tuhnutí lepidla ve spoji .....	27
2.6 Lepidla vhodná k lepení kovů .....	28
3. Vliv stavu povrchu na pevnost lepených spojů .....	30
3.1 Počáteční úprava .....	31
3.2 Úprava povrchu.....	32
3.2.1 Fyzikální: Mechanická.....	32
3.2.2 Fyzikální: Nemechanická .....	35
3.2.3 Chemická .....	36
3.2.4 Metody čištění hliníku a hliníkových slitin .....	37
3.2.5 Vliv drsnosti povrchu na pevnost lepeného spoje .....	39
4. Experimentální část.....	41
4.1 Zkušební zařízení .....	41
4.2 Zkušební vzorek .....	44
4.3 Předúprava vzorků .....	45
4.4 Použité lepidlo.....	49
4.5 Výpočet zatížení.....	51



5. Závěr .....	56
Seznam použité literatury .....	58

## SEZNAM ILUSTRACI A TABULEK

Obrázek 1 Překlávaný spoj [16] .....	14
Obrázek 2 Lemový spoj [16] .....	14
Obrázek 3 Podložený spoj [16].....	14
Obrázek 4 Zkosený spoj [16].....	14
Obrázek 7 Vhodná konstrukce a umístění lepeného spoje [16].....	15
Obrázek 8 Nevhodná konstrukce a umístění lepeného spoje [16].....	15
Obrázek 5 Drážkový spoj [16].....	15
Obrázek 6 Vnitřní nebo vnější spojka [16].....	15
Obrázek 9 Struktura šroubového spoje [20] .....	17
Obrázek 10 Struktura lepeného spoje [12] .....	18
Obrázek 11 Kapky vody [19].....	21
Obrázek 12 Smáčivost lepidel [4].....	22
Obrázek 13 Smáčivý povrch [8] .....	23
Obrázek 14 Nesmáčivý povrch [8] .....	23
Obrázek 15 Příklad porušení koheze a adheze [11].....	24
Obrázek 16 Zajištění lepených spojů proti odlupování [1].....	26
Obrázek 17 Příklady brusných papírů [17].....	33
Obrázek 18 Jak docílit jemné nebo hrubé struktury povrchu [18] .....	34
Obrázek 19 Základní typy nerovností povrchu [14] .....	39
Obrázek 20 Zkušební zařízení .....	41
Obrázek 21 Smluvní diagram napětí – deformace[2].....	42
Obrázek 22 Deformace jednostranně překlávaného spoje[1].....	43
Obrázek 23 Zkušební vzorek .....	44
Obrázek 24 Eloxování .....	45
Obrázek 25 Vzorky typu 6 a 7, metoda TIG.....	46
Obrázek 26 Vzorek typu 10 (S=1500, F=300) .....	47
Obrázek 27 Vzorek typu 11 (S=300, F=1000) .....	47
Obrázek 28 Vzorek typu 12 (S=50, F=1500) .....	47
Obrázek 29 Použité lepidlo.....	49
Obrázek 30 Sika ADPrep.....	50
Obrázek 31 Vzorek typu 2 .....	53
Obrázek 32 Vzorek typu 2 zvětšení 2000x.....	53

Obrázek 33 Vzorek typu 18 .....	54
Obrázek 34 Vzorek typu 18 zvětšení 2000x .....	54
Tabulka 1 Americký a evropský způsob značení brusných papírů [22].....	32
Tabulka 2 Fosfátový leptací roztok [15].....	38
Tabulka 3 Typy vzorků a jejich předúpravy .....	48
Tabulka 4 Technická data SikaFast 5215 .....	49
Tabulka 5 Technická data Sika ADPrep.....	50
Tabulka 6 Naměřené hodnoty.....	51

# ÚVOD

Tato diplomová práce se bude věnovat lepeným spojům, zkoumání vlivu předúpravy povrchu v praxi. Lepené spoje se používají už řadu let, avšak dříve byly využívány spíše jako doplnění spojení. Využívají se hlavně v oblastech, kde není možné použít více rozšířené metody spojování, jakými jsou například svařování, nýtování anebo šroubová spojení. Z toho lze tedy vyvodit, že se jednalo o nekovové materiály anebo spojování materiálů, u kterých by oslabení materiálu potřebné pro šroubové a nýtované spoje bylo nežádoucí. Svařování lze použít jen v oblasti svařitelných materiálů. Lepené spoje jsou výhodné i v oblastech, kde po porušení spoje nedojde k destrukci spojovaných materiálů. To určitě přispívá i levnější opravitelnosti. Avšak proti těmto výhodám je lepený spoj stále velmi málo využíván v praxi. Hlavním důvodem je asi náročnost postupu při opakované montáži a demontáži dílů. Některá lepidla, která splňují vysoké pevnostní vlastnosti, jsou často velmi nákladná a pro výrobce se nevyplácí. Pro dosažení velké pevnosti spoje je zapotřebí velké lepené plochy. Dalším faktorem při používání lepených spojů je oblast jejich použití v závislosti na okolních podmínkách, jako jsou třeba teplota a vlhkost. Při lepení je také potřeba dodržovat podmínky pro správné vytvrzení a správné spojení lepidla s nanášecí plochou. Lepené spoje je zatím stále oblast, která se rozvíjí s novými složenými lepidly. Lepidla se v dnešním průmyslu používají hlavně pro spojování dvou různých materiálů, jako například lepení skel automobilů. Lepení se využívá dále i pro lékařské účely. Tato diplomová práce se bude zabývat vlastnostmi lepeného spoje při různých předúpravách povrchu.

# 1. Standardizace v konstrukčním lepení

Pevnost lepidla je ve srovnání s pevností šroubových spojů malá. Aby mohlo být využito alespoň z části 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. Velmi nežádoucí je zatížení, při kterém dochází k odlupování lepených ploch.

## Výhody lepených spojů:

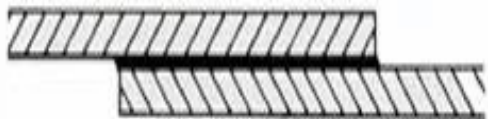
- Spojování za relativně nízkých teplot
- Možnost spojovat materiály bez ohledu na jejich tloušťku
- Spoj je dokonale vodotěsný
- Lepený spoj tlumí vibrace
- Lepený spoj nezvyšuje hmotnost celé konstrukce (není nutná minimální tloušťka spojovaných dílů)
- Spoj může být libovolně barevný nebo průhledný
- Není nutné narušit celistvost spojovaných materiálů
- Odolnost vůči korozi
- Možnost spojovat různé druhy materiálů

## Nevýhody lepených spojů:

- Nižší pevnost spoje vůči jiným spojovacím metodám
- Vysoké požadavky na čistotu lepených spojů
- U lepených spojů je nutná nějaká doba než lepený spoj dosáhne své maximální pevnosti
- Lepidla mohou nepříznivě reagovat s některými chemikáliemi
- Návrh tvaru lepeného spoje
- Při vytvrzování lepidel může docházet k odpařování zdraví škodlivých látek

## 1.1 Rozdělení lepených spojů

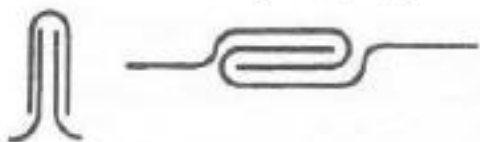
### Překládaný spoj



Obrázek 1 Překládaný spoj [16]

Základní typ lepených spojů používající se u tenkých materiálů, u kterých je možné zanedbat excentricitu zatíženého spoje.

### Lemový spoj



Obrázek 2 Lemový spoj [16]

Vhodný pro spojení tenkých materiálů. Výhodou je velká styková plocha a zajištění polohy lepených částí. Použití v automobilovém průmyslu.

### Podložený spoj



Obrázek 3 Podložený spoj [16]

Podložením spojovaných materiálů je docíleno větší pevnosti a odolnosti spoje.

### Zkosený spoj



Obrázek 4 Zkosený spoj [16]

Zkosením spojovaných ploch dojde ke zvětšení stykové plochy a tím i k zvětšení pevnosti spoje. Vhodné u tlustostěnných materiálů. Nevýhodou je příprava spojovaných dílů.

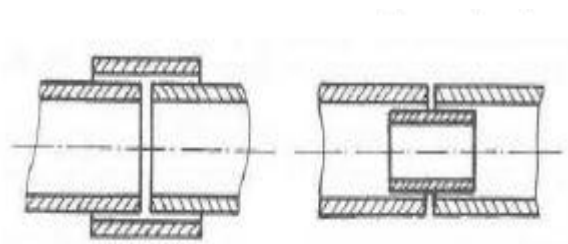
## Drážkový spoj



Obrázek 5 Drážkový spoj [16]

Umožňuje přesné stanovení lepených částí a zabraňuje odlupování. Vyžaduje další montážní prvek.

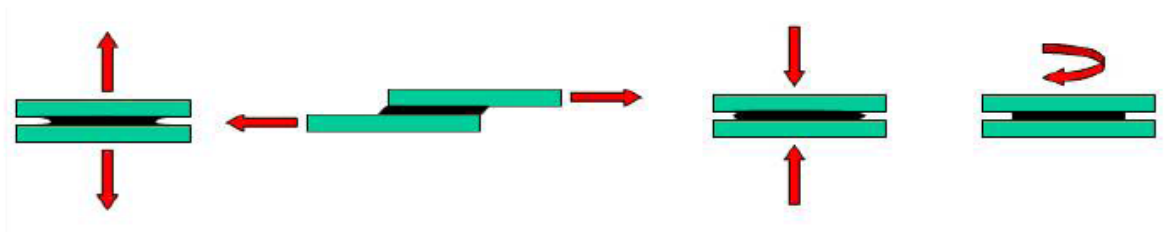
## Vnitřní nebo vnější spojka



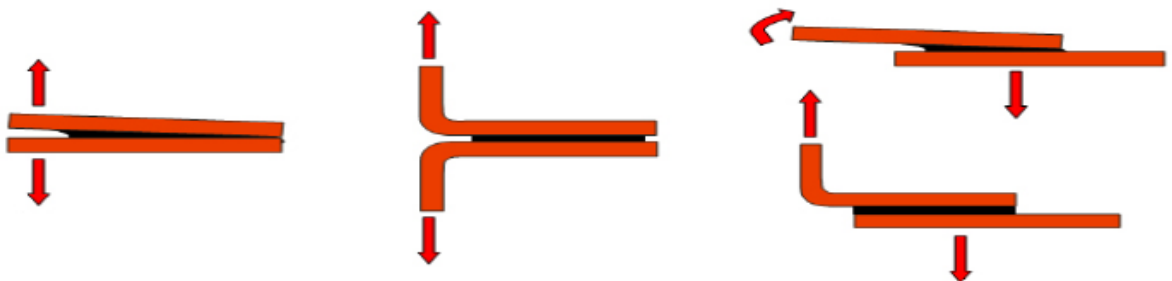
Obrázek 6 Vnitřní nebo vnější spojka [16]

Vhodné pro lepení trubek. Výhodou je zvětšení lepených ploch. Výběr vnitřní/vnější je ovlivněn požadavkem na zachování hladkosti trubky nebo zachování průtoku. Obdoba podložených spojů.

## 1.2 Příklady umístění lepeného spoje vůči působícím silám



Obrázek 7 Vhodná konstrukce a umístění lepeného spoje [16]



Obrázek 8 Nevhodná konstrukce a umístění lepeného spoje [16]

## 1.3 Ostatní metody spojování kovů

Porovnání lepených spojů s ostatními velmi rozšířenými metodami spojování kovů. Níže uvedené metody spojování kovů se vyznačují elektrickou vodivostí spoje, pouze lepené spoje jsou nevodivé, protože lepidlo ve většině případů po zaschnutí působí jako izolant, ovšem po přidání kovového prachu můžeme docílit i vodivého spoje.

### Svařování

Je známo několik druhů svařování, při některých je nutné přidávat mezi spojované materiály roztavený kov (Wolframové elektrody), u jiných probíhá svařování roztavením přímo svařovaných částí materiálu (Odporové svařování). Ovšem vždy dochází k velkému ohřevu spojovaných materiálů a dále i ke změně vlastností a struktury materiálu v místě sváru. Ohřevem materiálu vzniká i vnitřní pnutí a případné deformace, které se projevují, již při samotném svařování jako zvlnění nebo ohýbání svařovaných materiálů. Další nevýhodou je, že svařováním vzniká nerozebíratelný spoj a s tím spojené problémy při opravách. Výhodou svařování je životnost spoje, která je velmi vysoká (záleží na druhu spojovaných materiálů). [16]

### Pájení

Pájení kovů můžeme rozdělit na měkké a tvrdé. Rozdělují se podle teploty tuhnutí pájky. Měkké pájky jsou tavitelné při teplotách pod 450°C, obvykle cín a slitiny cínu a olova. Tvrdé pájky jsou tavitelné při teplotách nad 450°C, obvykle slitiny mědi, hliníku a stříbra. Měkké pájky se vyznačují malou pracovní teplotou a nízkou pevností. Využívá se především v elektronice. Tvrdé pájky se používají pro spoje více namáhané, nebo více teplotně zatěžované. Při pájení nedochází k teplotnímu ovlivnění spojovaných materiálů, jako je tomu u svařování. Pájené spoje jsou elektricky i tepelně vodivé. Pájení má horší korozní odolnost z důvodu různých potenciálů pájky a spojovaného materiálu. [5]

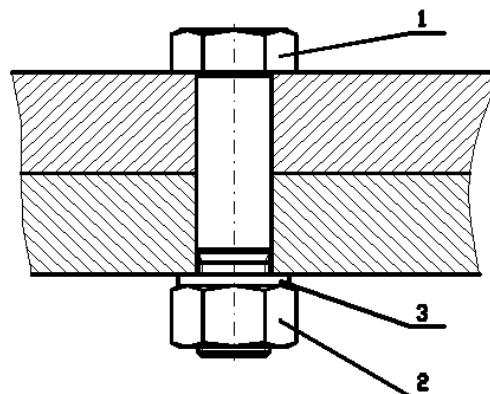


## Nýtování

U nýtování se jedná opět o nerozebíratelný druh spojení. Nýtovaný spoj drží pomocí tření mezi spojovanými materiály. Pokud je nýtování špatně provedeno, jsou nýty namáhány na stříh a mohlo by dojít k porušení spoje. Nýtové spoje mají výhodu ve snadné opravitelnosti (výměna poškozených nýtů). Nevýhodou je nutnost předvrtat otvory pro nýty v spojovaných materiálech. [16]

## Šroubové spoje

Jsou velmi jednoduché pro montážní praxi a díky tomu jsou velmi rozšířené. Jedná se o rozebíratelné spoje. V dnešní době existuje velké množství různých druhů šroubů, kde mnoho z nich je speciálně určeno pro konkrétní případy spojování. Ovšem nevýhodou těchto spojů může být právě i zmiňovaná velká škála variant. Neboť když dojde k výměně jednoho ze spojovaných materiálů za materiál s větší tloušťkou tak je z pravidla potřeba použít i delší šroub. Dalším negativem šroubových spojů je nutnost myslet na přípravu děr do materiálu již v konstrukci, neboť v složitějších sestavách již není místo pro dodatečné vrtání otvorů přímo a demontáž a následná montáž je mnohem více nákladná. Dále u šroubových spojů je potřeba myslet i na postup montáže, protože pro spojování dvou materiálů s průchozí dírou, jsou zapotřebí 2 nástroje na utažení šroubového spoje. V konstrukcích kde se potýkáme s nedostatkem místa je možnost využít zahloubení pro hlavy šroubů, což opět vede k zeslabení materiálu. Šroub by měl být zatěžován na tah, protože vzhledem k průřezu by mohlo při zatěžování ve smyku dojít k přestřižení šroubu. Při dostatečném utažení většinu smykových sil přenáší tření mezi spojovanými materiály, což je žádoucí. [16]

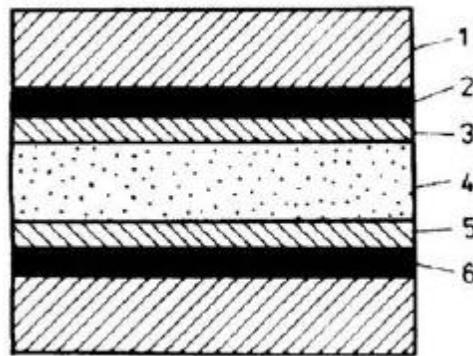


1. ŠROUB M24x100 ČSN 021112
2. MATICE M24 ČSN EN ISO 4032
3. PODLOŽKA 25 ČSN EN ISO 7089

Obrázek 9 Struktura šroubového spoje [20]

## 2. Druhy a vlastnosti lepidel

Lepidla mají své vlastnosti, ze kterých vyplívá i oblast použití různých druhů lepidel. 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. Pro mou práci jsou důležité adhezivní zóny, kde dochází ke styku lepidla s adhezivem.



Obrázek 10 Struktura lepeného spoje [12]

Jsou to:

- 1 - adheziv (spojovaný materiál)
- 2 - adhezivní zóna
- 3 - přechodová adhezivní zóna
- 4 - kohezivní zóna
- 5 - přechodová kohezivní zóna
- 6 - adhezivní zóna

## 2.1 Adheze

Adheze je schopnost dvou různých materiálu k sobě přilnout. U lepených spojů je definována jako chemické a fyzikální síly na styčných plochách v nerovnostech a pórech materiálů. Tento jev také popisují van der Waalsovy síly. Van der Waalsovy síly jsou velmi slabé přitažlivé síly, které působí mezi nepolárními molekulami a jsou důsledkem vzniku okamžitého elektrického dipólu. Dosah těchto mezimolekulárních sil je v podstatě nižší než hloubka drsnosti mechanicky opracovaných ploch. Je tedy nutné, aby lepidlo vniklo do těchto povrchových nerovností a smáčelo dokonale obě plochy. Přitažlivá adheze je závislá na dobré smáčivosti lepeného pevného povrchu tekutým lepidlem. Adheze je chápána podle různých teorií, vzhledem k chemickým a fyzikálním pojetím. [16]

### Molekulová adheze

Jedná se o dnes nejvíce přijímanou adsorpční teorie adheze, která vychází z analogie jevu smáčení, adsorpce a adheze. Základem adheze je vzájemné působení molekul adherendu a lepidla (adheziva), proto je nevyhnutelné aby oba druhy molekul měly polární funkční skupiny schopné vzájemného působení. Proces vzniku adhezního spoje lze rozdělit do dvou stadií: 1. - transport molekul adheziva k povrchu adherendu; 2. – vzájemné působení mezimolekulárních sil (van der Waalsovy) po přiblížení molekul adheziva na vzdálenost menší než 0,5 nm. To trvá až do dosažení adsorpční rovnováhy. Za předpokladu dostatečného kontaktu (na molekulární úrovni) adherendu a adheziva postačují van der Waalsovy síly vzhledem je své vysoké četnosti k dobré pevnosti adhezního spojení. Příčina malé pevnosti adhezního spoje je spatřována především v omezeném kontaktu adherendu a adheziva, a proto úzce souvisí s dokonalostí smáčení povrchu adherendu adhezivem a případné předúpravě povrchu. [23]

## **Elektrostatická teorie**

Tato teorie předpokládá dvojitou vrstvu vytvořenou dotykem dvou rozličných substancí ve spoji jako základ pro vznik adheze. Podle toho je spoj jakýmsi kondenzátorem, kterého rozdílně nabitě desky se přitahují. Jakmile je oddělíme, vzniklý potenciálový rozdíl se musí vybit nebo vyzářit jako elektronová emise. Při podrobnějších studiích však stále nebyla prokázána korelace mezi velikostí povrchového elektrostatického náboje a pevností odpovídajících adhezních spojení. [23]

## **Mechanická teorie**

Tato teorie vycházející z představy, že po proniknutí kapalného adheziva do trhlin a kavit lepeného povrchu, dojde po zatuhnutí adheziva k jeho „zaklínění“ v povrchu adherendu. Dalo by se to přirovnat k zakořenění stromu. Mechanické teorie adheze jsou dnes užívány sporadicky jen ve specifických případech, jako je např. adheze pryžových směsí k textilním vláknům či výroba překližek. V těchto případech se jedná o vysoce porézní materiály. [23]

## **Difuzní teorie**

Podle této teorie pevnost spoje vzniká vzájemnou difuzí polymerů napříč rozhraním. Tato teorie však nevysvětluje možnost spojení materiálů, které vzájemně nedifundují, ale úspěšně se lepí (např. kov-sklo). [23]

## **Chemická teorie**

Abychom získali pevný spoj, který nebude vykazovat adhezivní, ale kohezní lom je podle této teorie potřebné, aby materiály, které se mají navzájem spojit, reagovaly vytvořením primárních chemických (kovalentních) vazeb napříč rozhraním. Takovéto vazby sice někdy vznikají, všeobecně však lepení probíhá v termodynamických podmínkách, které vznik chemických vazeb neumožňují. [23]

## 2.2 Koheze

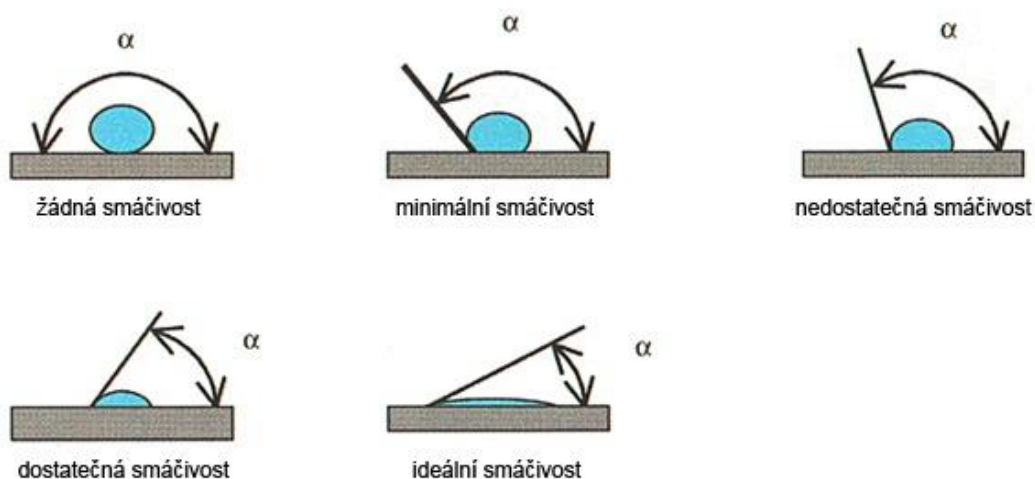
U koheze se jedná o soudržnost kapaliny. Koheze je teoreticky definována jako stav, ve kterém jsou částice jednoduché látky drženy pohromadě valenčními a mezimolekulárními silami (van der Waalsovy síly). Kohezní vlastnost lepidel hraje velkou roli v pevnosti lepených spojů. Při dobré přípravě povrchu, které zabezpečí dobré adhezní spojení, dochází ke koheznímu porušení, z čehož vyplývá, že kohezní síly tvoří z velké části pevnost lepeného spoje. Praktický příklad koheze je velmi dobře pozorovatelný na kapkách vody drží svůj tvar díky povrchovému napětí a také díky kohezním silám uvnitř kapky. Lze zde pozorovat i velmi malou smáčivost mezi povrchem listu a kapkou vody.



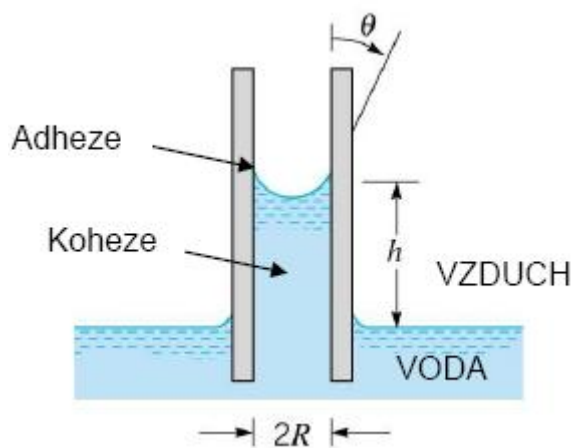
Obrázek 11 Kapky vody [19]

## 2.3 Smáčivost

Smáčivost je vlastnost kapaliny přilnout k povrchu pevných látek. Smáčivost je definována kontaktním úhlem, čím je hodnota tohoto úhlu větší, tím je smáčivost horší a tekutina bude na smáčeném povrchu jen velmi těžko ulpívat. Smáčivost lze zlepšit použitím chemických úprav materiálu. Pokud má lepidlo smáčet pevný povrch látky, musí být jeho povrchová energie menší, než je kritická povrchová energie lepené látky. Nejvyšší povrchovou energii z kapalin má voda. Jestliže voda bude smáčet povrch materiálu, lze z toho usoudit, že materiál bude smáčen i jinými kapalinami (lepidly). Smáčivost lepených povrchů můžeme hodnotit kapkovou metodou. [16]



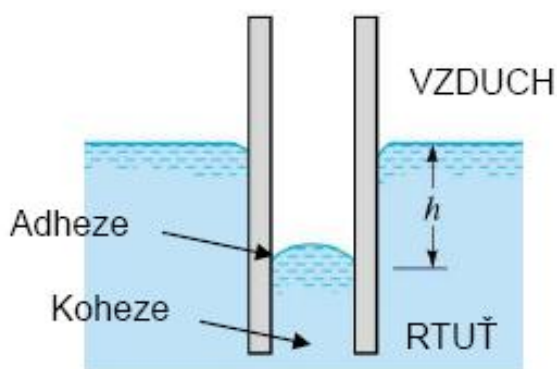
Obrázek 12 Smáčivost lepidel [4]



Obrázek 13 Smáčivý povrch [8]

### Hydrofilní povrch

- smáčivý (hydrofilní) povrch
- kapalina vystupuje v kapiláře do výšky  $h$
- vysoká hodnota adheze



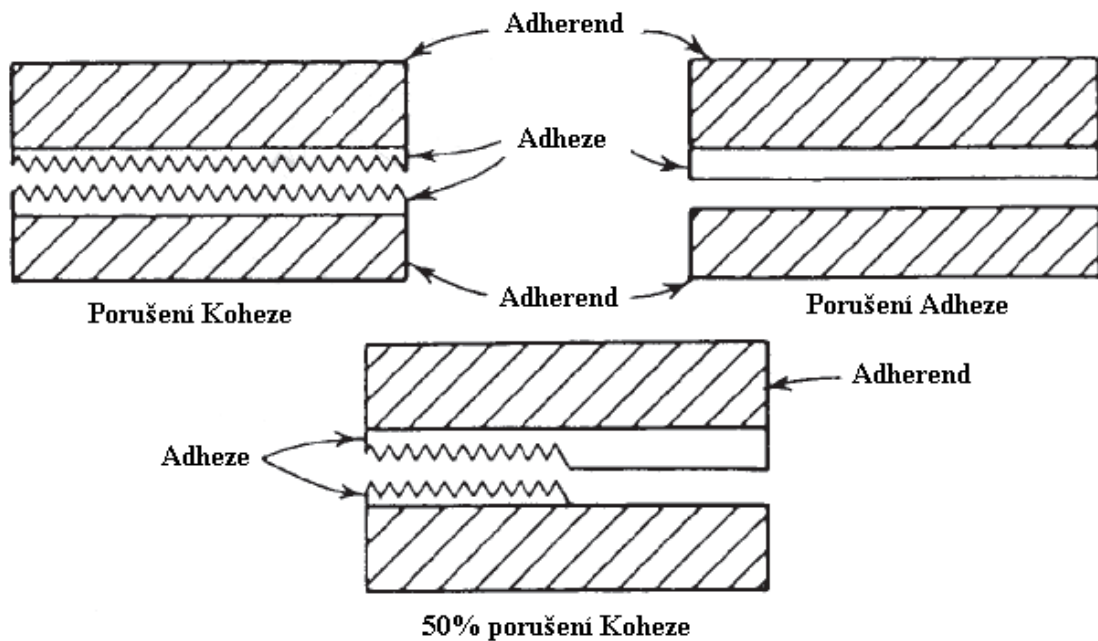
Obrázek 14 Nesmáčivý povrch [8]

### Hydrofobní povrch

- nesmáčivý (hydrofobní) povrch
- kapalina zůstává v kapiláře o výšku  $h$  níže, než je hladina okolní kapaliny
- nízká hodnota adheze

Tyto jevy jsou dobře pozorovatelné na kapilárních testech, kde je velmi dobře viditelné zakřivení hladiny o okolí smáčeného tělesa a rozdíl ve výšce hladin uvnitř a vně kapiláry.

Je-li adheze lepeného spoje větší než koheze spojovaných materiálů, dojde při mechanickém namáhání k porušení lepidla. Je-li naopak koheze lepeného materiálu větší než adheze lepeného spoje, dojde při mechanickém namáhání k odloupení lepidla od adherendu. Porušením lepených spojů se zabývá norma ČSN ISO 10365 [11] viz příloha A.



Obrázek 15 Příklad porušení koheze a adheze [11]

Pro vznik soudržného spoje je potřeba, aby lepený materiál a lepidlo prošly těmito fázemi:

- Lepidlo musí být nanášeno nebo přeneseno na obě stykové plochy a musí je v tekutém stavu smáčet
- Musí být dány podmínky k tomu, aby ve spáře vytvořil stejnoměrný film lepidla
- Film lepidla musí ve spáře ztuhnout a vázat povrchy obou dílů
- Lepidlo by mělo dostatečně zatékat do nerovností na lepeném povrchu



## 2.4 Výběr lepidla

K dosažení optimálních výsledků při lepení je třeba si uvědomit, že neexistuje lepidlo, které by bylo schopné lepit všechny druhy materiálů s dosažením vyhovujících pevností. Některé materiály lze lepit jen po speciální úpravě povrchu. Prvním ukazatelem při výběru lepidla je znalost složení, struktury a propustnosti plynů u obou lepených dílců. Jejich složení určuje druh lepidla z hlediska adheze k oběma povrchům. Struktura a propustnost plynů je podmínkou při výběru lepidla z hlediska jeho složení a způsobu tuhnutí. Dalším kritériem je znalost prostředí, ve kterém se bude lepidlo nanášet a následně vytvrzovat. [1]

Důležitým hlediskem při výběru lepidla a technologie lepení jsou vlastnosti lepeného souboru požadované při jeho použití. Jsou to nároky na mechanickou pevnost, tepelnou odolnost, chemickou stálost, vodovzdornost spoje, odolnost vůči vlivům povětrnosti, případně další požadavky. Ne vždy je možné vyhovět všem nárokům současně, a proto je třeba uvážit, které jsou z hlediska funkce nejdůležitější a volit kompromisní řešení. [1]

### **Tepelná odolnost**

Tepelně odolné spoje poskytuje vedle anorganických pojiv a silikonových pryskyřic většina termoreaktivních pryskyřic, zejména typy vytvrzené za vyšší teploty. Z běžného sortimentu k tepelně odolným patří lepidla fenolická, polyuretanová a epoxidová. Tepelnou odolnost lepidel zvyšují i přísady minerálních plniv a kovových prachů. [1]

### **Odolnost vůči vodě a vlhkosti**

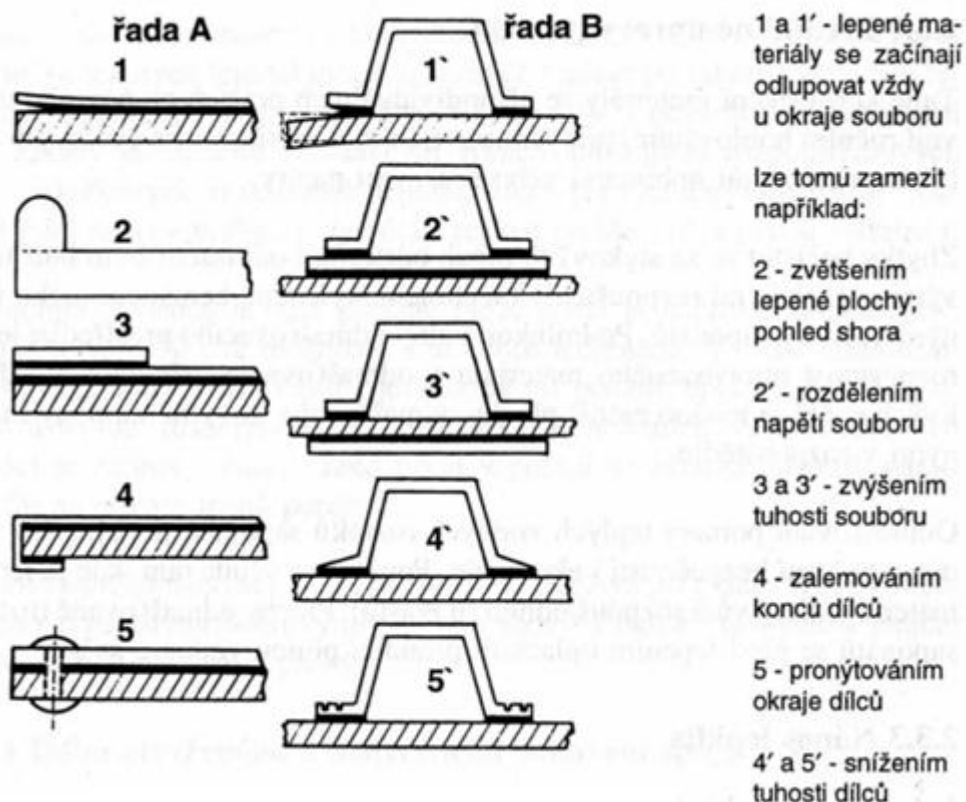
Vysloveně neodolná vůči vlhkosti jsou lepidla škrobová, dextrinová, glutinová, lepidla na bázi karboxymethylcelulózy a polyvinylalkoholu. Dobrou odolností vůči vlhkosti a vodě se po vytvrzení vyznačují lepidla fenolická, polyuretanová, epoxidová i samovulkanizační lepidla kaučuková. Z oblasti disperzních lepidel to jsou lepidla polyakrylátová. [1]

## Technické předpoklady lepení

Volba lepidla závisí i na době, po které chceme lepený spoj používat. Některá lepidla tuhnou pomalu delší dobu. Velmi rychle tuhnoucí lepidla nevyhovují tam, kde je zapotřebí delší dotyk doby k sestavení, například pokud je nutná manipulace s lepenými díly vedoucí k přesnému ustavení polohy vůči sobě. [1]

## Mechanické vlastnosti

Ve své funkci může být lepený spoj zatěžován buď staticky, například jen vlastní hmotností dílce, nebo dynamicky, například chvěním, opakovanými rázy, kroucením. Staticky může být spoj namáhán ve smyku, v tahu a odlupování. Lepidla nejméně odolávají namáhání v odlupování, a proto se při konstrukci spoje snažíme toto namáhání eliminovat. Dynamickému namáhání nejlépe odolávají spoje z epoxidových lepidel. [1]



Obrázek 16 Zajištění lepených spojů proti odlupování [1]

## **2.5 Dělení lepidel podle způsobu tuhnutí lepidla ve spoji**

### **Lepidla tuhnoucí vlivem vsáknutí a odtěkání rozpouštědel**

Tato lepidla obsahují 20 až 60% přírodní nebo syntetické filmotvorné látky rozpouštěné nebo dispergované ve vodě nebo rozpouštěné v organických rozpouštědlech. Jejich aplikace je vhodná jen tehdy, je-li jeden ze spojovaných materiálů propustných pro plyny (vodní páru nebo páry rozpouštědla).

### **Lepidla reaktivní**

Tuhnou vlivem chemických změn v průběhu vytvrzování. Podle úpravy, v jaké se prodávají, rozlišujeme lepidla jednosložková a vícesložková. Jednosložková reaktivní lepidla vytvrzují chemickou reakcí vyvolanou vnějšími vlivy (teplotou, vzdušnou vlhkostí, stykem s kovy aj.). U reaktivních vícesložkových lepidel jsou jednotlivé složky lepidla dodávány odděleně a směšují se těsně před použitím. Spoje provedené reaktivními lepidly se obecně vyznačují dobrou tepelnou odolností, odolností vůči rozpouštědlům, vodě a povětrnosti. V dnešní době jsou velmi rozšířené. [16]

### **Tavná lepidla**

Výchozí surovinou těchto lepidel jsou termoplasty různě modifikované, které se nanášejí na spojovaný materiál ve formě taveniny, vždy jednostranně. Maximální pevnosti spoje se dosahuje na rozdíl od předchozích typů lepidel bezprostředně po tom, kdy film lepidla ve spoji ztuhl ochlazením. Film lepidla se po ochlazení téměř nesmršťuje a dobře vyrovnává pnutí mezi spojovanými díly. [16]

### **Lepidla stále lepivá**

Ve spoji nemění svou konzistenci, zůstávají stále vláčná a lepivá a jsou označovány jako lepidla se samolepícím efektem. Jsou vždy ve spojení s vhodným nosičem a spoj vzniká pouhým přitlačením lepící vrstvy k podkladu. Jsou známa v podobě samolepících pásek, štítků a tapet a slouží k rychlému a na pevnost spoje nenáročnějšímu spojování. Měkký přílnavý film umožňuje dočasné spojování se špatnými adhezními vlastnostmi. [16]

## 2.6 Lepidla vhodná k lepení kovů

Lepení kovů je proces spojování materiálů (adherendů), při kterém se dosahuje trvalého spojení stejných, popřípadě různých materiálů prostřednictvím lepidel (adhezi). Lepidlo na kovy je možné definovat jako látku schopnou utvořit pevné o trvalé spojení mezi dvěma kovovými materiály. Uvedená schopnost závisí od adheze k povrchům lepených materiálů a od koheze samotného lepidla.

Při výběru lepidla pro lepení kovů musíme vycházet z toho, že jde o materiály zcela nepropustné. Z tohoto důvodu přicházejí v úvahu jen taková lepidla, tmely a metody lepení, které zaručují, že se v průběhu lepení neuvolní těkavé látky, které by snižovaly kohezi a adhezi filmu lepidla. Nesmí docházet k tvorbě bublinek, které snižují pevnost lepeného spoje. Z tohoto důvodu nelze použít roztoková a disperzní lepidla. Výjimkou jsou kontaktní lepidla na bázi chloroprenového a polyuretanového kaučuku, tato lepidla se nanosou na obě lepené plochy, nechají se zavadnout a až jsou na dotek téměř nelepivá, přitlačí se k sobě silným tlakem. [7]

Pro běžné lepení kovů se používají lepidla reaktivní. V současné době se používají především epoxidová reaktivní lepidla, která se velmi dobře hodí jak pro havarijní opravy a renovační technologie, tak i pro konstruování. Epoxidová lepidla se vyrábí jako jednosložková, dvousložková a vícesložková. V běžné praxi se používají zejména epoxidová lepidla dvousložková neplněná, vhodná pro konstrukční spoje a epoxidová lepidla plněná práškovými plnivy, vhodná zejména pro havarijní opravy a renovační technologie. [7]

Pro lepení a opravy malých ploch se používají epoxidová lepidla rychlá, která dosahují manipulační pevnosti po 2 až 10 minutách, pro konstrukční spoje a renovační technologie se používají epoxidová lepidla s dobou zpracovatelnosti 30 minut až 3 hodiny a manipulační pevnosti je dosaženo po 5 až 6 hodinách, funkční pevnosti je obvykle dosaženo po 24 hodinách. Teplotní odolnost epoxidových lepidel neplněných je od  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  až do  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , plněných od  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  až do  $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ . [7]

Při výběru epoxidového lepidla k lepení kovů je pro nás důležitý údaj o pevnosti (smyková pevnost v tahu). Pevnost lepidel pro domácí použití bývá kolem 13–15 MPa. Lepidla s pevností nad 20 MPa jsou označována jako vysokopevnostní. S těmito hodnotami lze počítat u oceli a chemicky upravených hliníkových slitin. U barevných kovů a jejich slitin jsou pevnosti výrazně nižší. [7]

Další skupinou lepidel pro lepení kovů jsou dvousložková reaktivní polyuretanová lepidla. Jsou zpracovatelná i za nízkých teplot, lepené spoje jsou pevné, pružné a odolné dynamickému namáhání. Odolávají povětrnostním vlivům, vodě a průmyslovým médiím. Smyková pevnost v tahu je cca 16 MPa a teplotní odolnost do 100 °C. [7]

Velmi moderní pro konstrukční lepení kovů jsou dvousložková lepidla na bázi methakrylátových esterů, která vykazují vysokou smykovou pevnost v tahu až 24 MPa, vysokou rázovou pevnost, tepelnou (od –50 °C až do +150 °C) a chemickou odolnost. Tato lepidla vykazují excelentní pevnosti při lepení oceli, chromu a hliníku a také jsou výborná pro kombináční lepení zejména s plasty. [7]

Vždy je nutné dodržet minimální délku přeplátování, rovnoměrné rozdělení sil a vyloučení sil namáhajících spoj v odlupování. Není-li možné takovým vlivům zamezit, je nutné zajistit spoj proti odlupování zesílením namáhaného místa, nebo kombinovat lepení s nýtováním, šroubováním či svařováním. Spoje lepené a šroubované (nýtované) jsou zárukou nejvyšších hodnot při únavové pevnosti a dobře zajišťují spoj při odlupování. [7]

### **3. Vliv stavu povrchu na pevnost lepených spojů**

Cílem přípravy povrchu je dosáhnout maximální adheze a zabránit podoxidování lepidla. Navrhuje se dle druhu a stavu lepeného materiálu, druhu použitého lepidla, provozních požadavků a životnosti spoje, únosnosti výrobních nákladů apod. Pouhé obnažení kovu a odmaštění může zajistit jen asi 50 až 60% z maxima hodnot dosažitelných stejným druhem lepidla na aktivovaném povrchu. [15]

Příprava povrchu vyžaduje použití rozpouštědel a reaktivních chemikálií. Od tohoto se v dnešní době čím dál tím více ustupuje a některé látky jsou dokonce zakázány Evropskou unií. Některé látky jsou popsány v Montrealském protokolu a jejich použití je možné pouze v uzavřených prostorech.

Povrchová úprava kovů je z hlediska dosažitelnosti pevnosti spoje velmi důležitá. Příprava materiálů na lepení se skládá z třech základních kroků:

- odstranění znečišťujících látek z povrchu
- fyzikální modifikace povrchu
- chemická úprava povrchu

Některé povrchy se lepí mnohem lépe než jiné a některé se bez povrchových úprav ani lepit nedají. Povrchy materiálů, které jsou velmi náchylné k zeslabování nebo ztrátě povrchových vrstev, vyžadují speciální úpravy.

Některé nátěry, především kataforézní nátěry používaná na vozidla, mohou poskytnout velmi dobrý povrch pro lepení. Ovšem jako u každého nátěru je potřeba prověřit pevnost mezivrstvy pod nátěrem. Dále je potřeba prověřit smáčivost povrchu nátěru. [15]

## 3.1 Počáteční úprava

Při lepení kritických sestav je vždy nutná co nejlepší počáteční úprava, která vyžaduje vhodné technologie čištění a modifikace povrchu. Naproti tomu při lepení, kde bude minimální nebo žádné zatížení a použijeme lepidla, která jsou schopná rozpouštět lehké oleje, stačí použít minimální úpravy nebo dokonce žádné. V každém případě je vždy nutné dodržovat pokyny výrobce a velmi důkladně vybírat vhodné lepidlo pro danou aplikaci.

### Manipulace

S plochami určenými ke slepení se před jejich úpravou smí manipulovat v co nejmenším rozsahu, aby byla následná úprava co nejlehčí a nejméně nákladná. Po samotné úpravě se musíme vyhnout přímému kontaktu s těmito plochami. Obsluze se doporučuje používat bavlněné rukavice nebo nylonové, které neuvolňují vlákna, chlupy ani textilní prach. [15]

### Čištění

Při čištění dojde k odstranění zbytků oleje a mastnoty, která by snižovala pevnost lepeného spoje. Náležitě výsledky poskytují neiontové detergenty. Pro kovy jsou velmi vhodné speciální alkalické prostředky, protože odstraňují uhlovodíky a hlavně agresivnější a silnější činidla mohou odstraňovat mýdla kovů a soli. Avšak hliníkové slitiny nelze připravovat čistícími přípravky na bázi hydroxidu sodného ani jinými alkáliemi. Hliník a slitiny hliníku jsou rozpustné v solích a alkáliích, čehož se využívá při moření hliníku. Moření je korozní postup, při kterém dochází k narušení povrchu materiálu a vzniku mikroskopických vroubků. Tato vlastnost působí na pevnost a houževnatost materiálu. Z toho vyplývá, že moření není vhodné pro značně mechanicky namáhané součástky. Po použití čistících činidel je zapotřebí komponenty důkladně opláchnout a poté sušit nejlépe v proudu čistého teplého suchého vzduchu, který neobsahuje olej, po dobu přibližně 10min při teplotě 60°C. [15]

## Uchování

Povrchy by měly být slepeny co nejdříve po přípravě. Je nutné rozlišovat uchování v laboratoři a prodlevy, ke kterým dochází v průmyslové výrobě. V prvním případě se jedná o přísné podmínky stanovující vlhkost, teplotu a přesnou dobu po jakou mohou být uchovávány. Průmyslová výroba ovšem požaduje dodržování výkonnostních norem. Je důležité stanovit postupy tak, aby před slepením nedošlo k poškození celistvosti připravovaného povrchu do nepřijatelné míry. [15]

## 3.2 Úprava povrchu

### 3.2.1 Fyzikální: Mechanická

Mechanické úpravy představují mírné zdrsnění povrchu, kterého je dosaženo odíráním nebo otryskáváním a vede ke zkvalitnění konečného slepu. V některých případech lze použít odírání nebo otryskávání pro vyhlazení hrubého drsného povrchu. Dále jsou tyto metody používány pro odstranění korozních zplodin nebo jiných forem znečištění.

### Odírání

Odírání je možné provádět suchou i mokrou cestou za použití brusných papírů s odolností proti vodě. Doporučená velikost částic je 45 $\mu$ m až 106 $\mu$ m. [15]

Tabulka 1 Americký a evropský způsob značení brusných papírů [22]

Americké značení	Evropské značení FEPA	Velikost zrn brusiva [ $\mu$ m]
50	50	350
60	60	250 - 315
80	80	160 - 200
120	120	100 - 125
180	180	63 - 180
240	280	50 - 63
320	400	32 - 40
400	800	22 - 32
600	1 200	10 - 15
800	2 400	7 - 10
1 200	4 000	5



Doporučeny postup operaci při odírání:

- a) přímé odírání ve vhodném směru, dokud není celý povrch rovnoměrně lehce zdrsňen;
- b) odírání kolmo na předchozí směr, dokud nezmizí všechny stopy po odírání a);
- c) odírání kruhovým pohybem o průměru  $D \leq 100$  mm, dokud nezmizí stopy po b) a povrch se jeví stejnorodý;
- d) odstranění všech částic. Pokud je to v praxi možné, při odírání za sucha se použije vakuum. Jinak se povrch ofoukne v dobře větraném prostoru čistým vzduchem neobsahujícím olej. Při odírání za mokra se povrch otře do rozpouštědla namočeným čistým hadříkem nevolňujícím chlupy a povrch se nechá zaschnout;
- e) potom se provede slepení nebo se zahájí další modifikace povrchu. [15]

Pro lepení musí být povrchy suché a musí se zvolit nejvhodnější postup lepení.



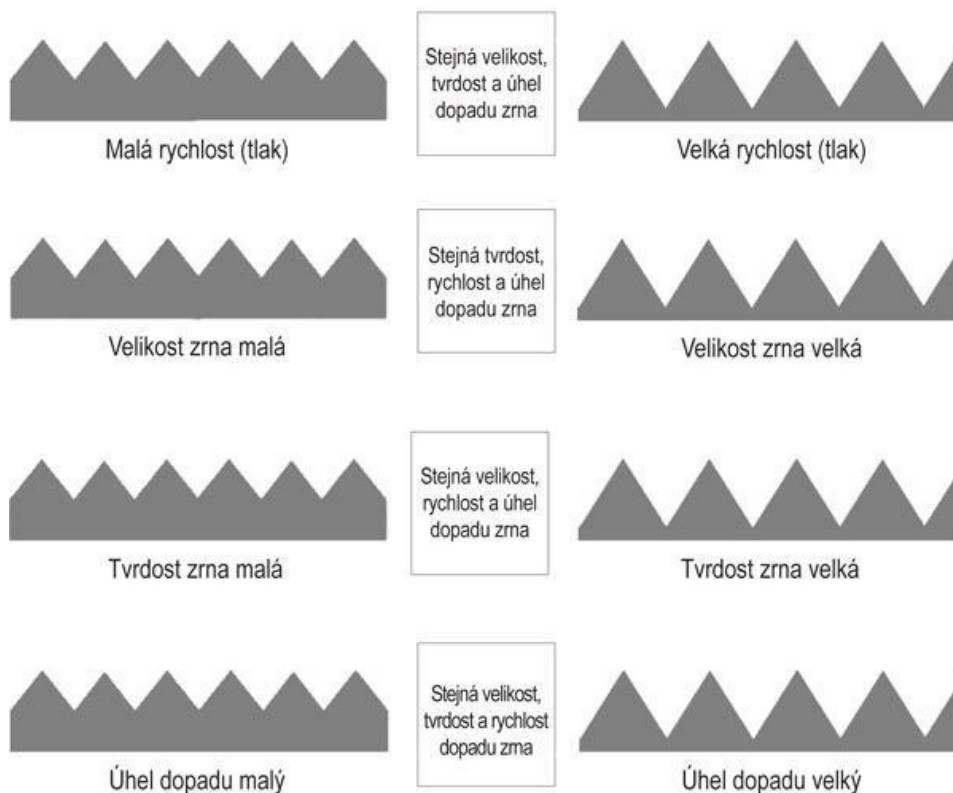
Obrázek 17 Příklady brusných papírů [17]

## Otryskávání

Otryskávání je možné provádět za sucha i za mokra. Otryskávání za sucha se doporučuje pro kovové materiály za použití částic o velikosti 45 $\mu$ m až 106 $\mu$ m. Pro plasty lze použít suché otryskávání jen v tom případě, že by nedocházelo k nadměrné erozi. Existují zvláštní postupy zahrnující speciální otryskávací média, jako například rozprášený oxid uhličitý a rozdrčené ořechové skořápky. Otryskávání probíhá tak dlouho, dokud se upravovaný povrch nejeví jako stejnorodý. Pro materiály jako měď, hliník, korozivzdorná ocel a titan se nesmí používat železný nebo ocelový otryskávací materiál.

Otryskávání za mokra pod úhlem menším než kolmo k povrchu za použití otryskávacích částic o velikosti  $\leq 20\mu$ m. Tyto částice jsou rozptýleny ve vodě nebo ve vodní páře. Tento postup je účinný především u malých kovových dílů. Otryskávání za mokra není zatím doporučeno pro titan. [15]

Po použití otryskávání ať už za mokra nebo za sucha musí se do postupu zahrnout postupy z odírání 3.2.1.1. body d) a e).



Obrázek 18 Jak docílit jemné nebo hrubé struktury povrchu [18]

### 3.2.2 Fyzikální: Nemechanická

Jedná se o úpravy, při kterých dochází k modifikaci povrchu bez použití mechanického odírání nebo chemických technologií, které využívají kapalná média. Hlavními příklady této kategorie úprav jsou ošlehávání plamenem a plasmový výboj. Jedná se o velmi speciální postupy, a proto je doporučeno provádět je se zvýšenou opatrností a je doporučeno spolupracovat s dodavatelem zařízení a případně i s výzkumnou laboratoří.

Modifikace povrchu vyvolaná oxidačním plynovým plamenem je využíváno pro zlepšení povrchu plastů. Jedná se o relativně jednoduchý, rychlý, účinný a ekonomický postup. Je velmi efektivní pro úpravu malých dílů s ostrými hranami. Je ovšem nutné mít vhodně uzpůsobené automatizované zařízení, které umožňuje přesné řízení technologických parametrů. Aby bylo dosaženo vyhovujících výsledků, je nutné věnovat pozornost použitému plynnému palivu, obsahu zbytkového kyslíku v plameni, vzdálenosti plamene od povrchu a rychlost, jako se plamen pohybuje po povrchu. [15]

Další možností je úprava pomocí plasmového výboje. Při normálním tlaku se jedná o korónový výboj. Tato metoda je velmi rychlá, účinná a ekonomická. Avšak tato metoda je velmi náchylná na měnící se topografii dílů, což vede k nákladné instalaci a údržbě v případě, že díly nemají jednoduchý tvar. Plasmový výboj lze použít i za nízkých tlaků a jedná se o všestrannější variantu než je oxidace plamenem. Je více výhodná pro různorodé tvary a může být optimalizována použitím různých kombinací plynů v komoře s výbojem. Nevýhodou je že tento proces na rozdíl od koróny a plamene vyžaduje diskontinuální proces. [15]

Je možnost použít i lasery, ale tyto technologie ještě nejsou plně vyvinuté. Základem všech metod je, že nedochází k používání kapalin a tím pádem odpadá sušení povrchu. Je nutné dodržet podmínku slepit povrchy co nejdříve po úpravách.

### 3.2.3 Chemická

Chemické čištění je velmi účinná úprava povrchu při pečlivém provádění postupů, ovšem její používání je náročné na podmínky provozu. Chemické výpary jsou náročné na bezpečnost a vybavení používané při lepení. Dále pak skladování chemikálií a následná likvidace obalů po určitých chemikáliích je řízeno a kontrolováno, aby nedošlo k znečištění životního prostředí, anebo škodám na majetku nebo zdraví. Vše se provádí v souladu s legislativními požadavky EU. To vede k omezování používání silných oxidačních činidel a vývoji alternativních postupů. V současné době je tendence uchýlovat se k používání pojiva na bázi silanové chemie. Pro leptací roztoky jsou přísné požadavky, které je potřeba dodržovat. Používat se může pouze destilovaná voda nebo neionizovaná voda, která neobsahuje více než 50mg/kg tuhých složek, dále je nutné dodržovat i správné pH v intervalu 6,5 až 8,5 a vodivost menší než 20 $\mu$ S. Roztoky se musí připravit přesně s kolísáním  $\pm$  1% a následně kontrolovány a udržovány pomocí periodického vzorkování. [15]

Následně po chemické úpravě je potřebné opláchnout povrch ostříkáním nebo ponořením do nádrže se stále čerstvou vodou, která již byla popsána výše. Oplachování musí být tak intenzivní, aby došlo k důkladnému odstranění všech zbytků. Po opláchnutí je vhodné a někdy i vyžadováno použít „Zkoušku ponoření do vody“. Výsledek této zkoušky by měl stanovit, zda je povrch čistý. Provádí se ponořením do vody, která byla popsána výše v této kapitole. Po vyjmutí z vody musí vodní film zůstat souvislý a neporušený po dobu 30s. Pokud je tato podmínka splněna, povrch můžeme považovat za čistý a měl by vytvářet optimální podmínky pro lepení. Ovšem i když je tato podmínka splněna po delší dobu než 30s, tak nemůžeme předpokládat zvýšení pevnosti slepu. [15]

### **3.2.4 Metody čištění hliníku a hliníkových slitin**

V normě ČSN EN 13887 [15] jsou uvedeny čtyři metody, s rostoucím pořadovým číslem stoupá jejich komplexnost a tím i pravděpodobnost úspěšného spojení materiálů. Metoda 1 představuje mírnou úpravu a tím je nejvhodnější pro rychlé použití. Metoda 2 je natolik efektivní, že její použití se zamýšlí pro nekritické mírné pásmo. Metoda 3 je prokázána jako všestranně účinná. Metoda 4 má poskytovat povrch s takovou trvanlivostí po slepení, jako povrchy, které byly dříve upravovány pomocí tradičního chromátování, než byl tento postup zakázán.

#### **Metoda 1:**

- odstraní se olej nebo se odmastí (viz 3.1.2);
- mírně se zdrsňuje odíráním nebo otryskáním hliníkovým abrazivem;
- slepí se co nejdříve po usušení, nejlépe do 4 hodin. Alternativně se povrch opatří povlakem základního nátěru kompatibilního s lepidlem; [15]

#### **Metoda 2:**

- odstraní se olej nebo se odmastí (viz 3.1.2);
- mírně se zdrsňuje hliníkovým abrazivem a souběžně nebo následně se použije vhodné pojivo;
- slepí se co nejdříve po usušení, nejlépe do 4 hodin. Alternativně se povrch opatří povlakem základního nátěru kompatibilního s lepidlem; [15]

#### **Metoda 3:**

- odstraní se olej nebo se odmastí (viz 3.1.2);
- mírně se zdrsňuje, pokud je to vhodné, hliníkovým abrazivem a potom se podle pokynů výrobce použije leptací činidlo (nesmí se použít činidlo na bázi chromu);
- slepí se co nejdříve po usušení, nejlépe do 4 hodin. Alternativně se povrch opatří povlakem základního nátěru kompatibilního s lepidlem; [15]

#### Metoda 4:

- odstraní se olej nebo se odmastí (viz 3.1.2);
- mírně se zdrsňuje, pokud je to vhodné, odíráním, nebo otryskáním hliníkovým abrazivem;
- díl se zahřeje na  $80 \pm 2^\circ\text{C}$ ;
- díl zahřátý na  $80 \pm 2^\circ\text{C}$  se ponoří na  $60 \pm 10$  min do leptacího roztoku;
- díl se vyjme a řádně se opláchne ve studené destilované nebo deionizované vodě;
- provede se „Zkouška ponořením do vody“ (viz kapitola 3.2.3);
- suší se 15min;
- suší se v proudu teplého čistého suchého vzduchu neobsahujícího olej po dobu asi 10min při teplotě nepřesahující  $60^\circ\text{C}$ ;
- slepí se co nejdříve po usušení, nejlépe do 4 hodin. Alternativně se povrch opatří povlakem základního nátěru kompatibilního s lepidlem. [15]

**Tabulka 2 Fosfátový leptací roztok [15]**

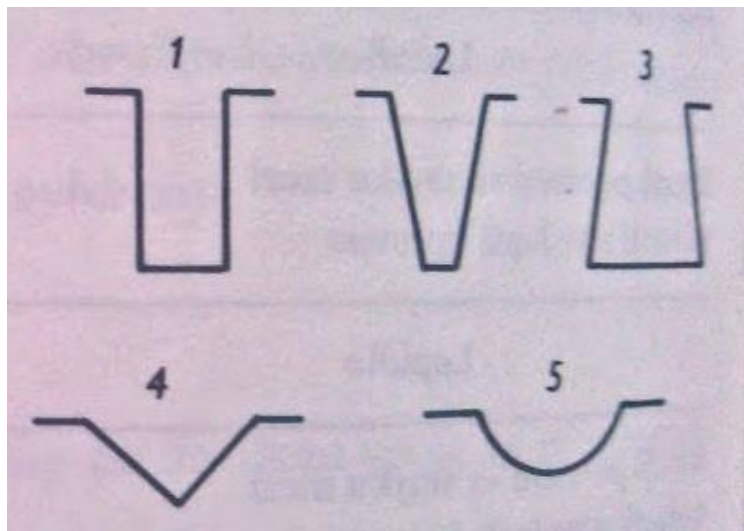
Činidlo (technické nebo chemicky čisté)	Hmotnostní podíl ( $\pm 1\%$ )
fosfátové čisticí činidlo, speciálně pro hliník <sup>a</sup>	3,0
dusitan sodný	3,0
destilovaná/deionizovaná voda	100,0

<sup>a</sup> Typickým takovým činidlem je prášková směs na bázi solí alkalického boritanu, uhličitanu a fosfátu spolu s neiontovým detergentem. Typickým činidlem je „P3-almeco 18“ (Henkel).

Fosfátový roztok se připraví tak, že za stálého míchání se rozpustí dusitan sodný a fosfátové čisticí činidlo ve vodě a zahřeje se na  $80 \pm 2^\circ\text{C}$ . Tuto teplotu je nutné dodržovat, proto se do úvahy bere požadavek na předehřívání dílů. [15]

### 3.2.5 Vliv drsnosti povrchu na pevnost lepeného spoje

Povrchová úprava před lepením velmi úzce souvisí s drsností povrchu. Žádný povrch není dokonale hladký. I při použití leštění na povrchy jsou stále na plochách nerovnosti  $10^{-8}$  až  $10^{-7}$ m. Lepidlo, které použijeme, musí tyto nerovnosti vyplnit co nejlépe a přiblížit se na molekulární vzdálenost k povrchu adherendu. Tato skutečnost může vést k názoru, že není vhodné povrchy před lepením zdrsnňovat. Navzdory tomu z praktických zkušeností můžeme odvodit, že zdrsnňování je vhodné. Obecně známým důvodem pro výhodnost zdrsnění povrchu je zvětšení plochy povrchu a z toho odvozená větší pevnost lepeného spoje.



Obrázek 19 Základní typy nerovností povrchu [14]

Nerovnosti typu:

- 1 – válcová nerovnost
- 2 – kónická otevřená nerovnost
- 3 – kónická uzavřená nerovnost
- 4 – kónická plochá nerovnost
- 5 – kónická misková nerovnost

De Bruyne uvádí základních pět typů nerovností zobrazených na *Obr 3.3*. Základní úpravou pro zjišťování pevnosti lepených spojů, která se používá při přejímacích zkouškách lepidel, je metoda zvaná piklování. Piklování je aktivace povrchu hliníkových slitin mořením v lázni kyseliny chromsírové pro zlepšení adheze (z anglického Pickling). Při této metodě dochází většinou k tvorbě nerovnosti typu 4. Na základě smáčivosti lepidla můžeme tvrdit, že čím menší hloubka a průměr nerovnosti je tím lepší. Nerovnosti typu 5 jsou při velkém průměru náchylné na uzavření vzduchových bublin. To vede k snížení výsledné adhezní plochy a tím i k snížení pevnosti lepeného spoje a to zejména při odlupovacích zkouškách. Tento typ nerovností se vyskytuje zejména na hladkých a leštěných površích. Ostatní tvary nerovností (1, 2, 3) nejsou vhodné pro lepidla s menší viskozitou. Lepidlo nestihne před jeho zaschnutím zatéct dostatečně do nerovnosti. Ovšem pokud lepidlo dokáže spolehlivě zatéct do nerovností, dojde díky adhezivním silám k zamezení zpětnému vytečení lepidla. Díky tomu byla potvrzena vyšší pevnost spoje. Dané typy nerovností se projevují dobrými vlastnostmi pro různé typy zatěžování. Pro smykové zatěžování nejsou moc vhodné hluboké nerovnosti o malém průměru, protože může velmi snadno dojít k jejich odstřížení. Tyto nerovnosti jsou vhodnější pro tahové zatěžování. Ovšem ani tady nemůže tyto nerovnosti vyloženě doporučit, protože i zde může dojít k odtrhávání vrcholů a tím pádem i k snížení pevnosti. [14]

Výhoda rovinnosti proti zdrsnění se může projevit, pokud dojde k přiblížení lepených povrchů na vzdálenost odpovídající rozměrům molekul nebo v případě lepší tvarové výhodnosti méně drsného povrchu. Jako příklad si můžeme uvést piklování. Povrch po této úpravě je relativně rovnější než povrch po moření v roztoku hydroxidu sodného. Má menší mikropovrch, ale větší účinný povrch a tím dosahuje vyšší pevnosti spojů. Ovšem v praxi se ukazuje, že zvýšení drsnosti vede k zvýšení pevnosti spoje. Důvodem je, že většina neupravených povrchů má poměrně malé tvarově nevhodné nerovnosti. Jednoduchá předúprava je tvarově výhodná, protože zvětšuje účinný povrch a z toho vyplývá obecná výhodnost zdrsnění. [14]



## 4. Experimentální část

### 4.1 Zkušební zařízení

Zkušební zařízení je tvořeno pevným rámem, kde v horní části je umístěno zařízení pro měření síly. Zkušební vzorek se upne mezi dvě kleštiny, které zajišťují pevné sevření vzorku. Spodní kleština je uváděna do pohybu motorem, přes vřeteno a převodovou skříň. Postupným pohybem spodní kleštiny (pohyblivé) dochází ke stupňovitému zatěžování a deformaci zkoušeného vzorku.

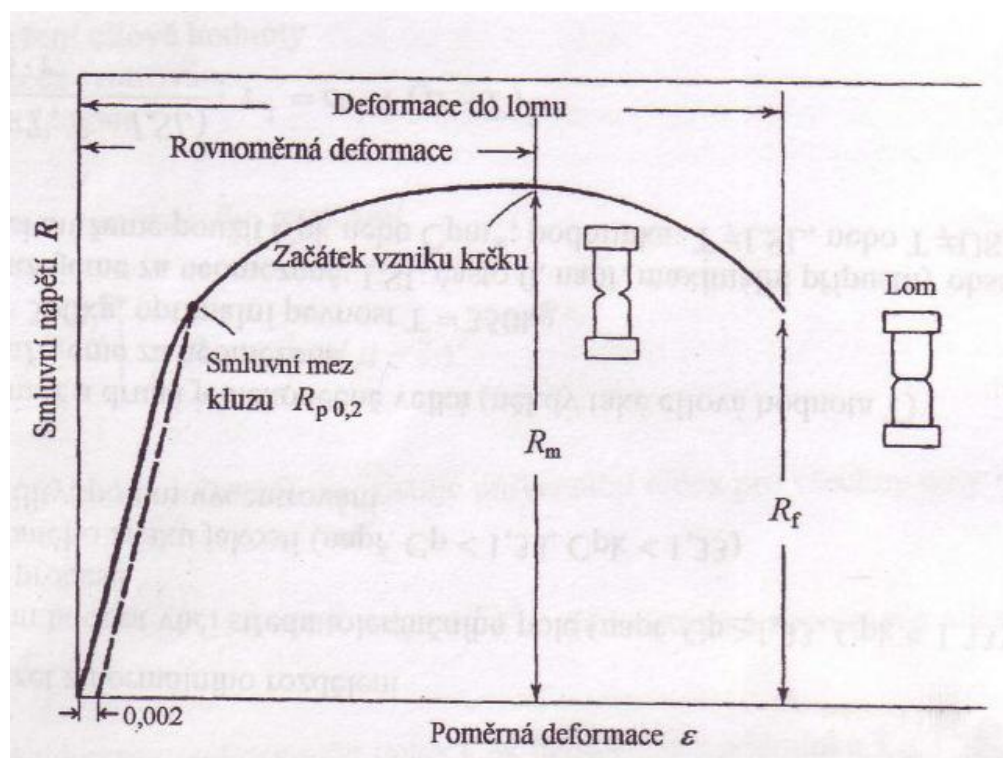


Obrázek 20 Zkušební zařízení

Zkušební zařízení by mělo být konstruováno tak, aby při zkoušce docházelo ke konstantnímu nárůstu napětí nebo deformací. Norma ČSN EN 1465 [21] dále zmiňuje doporučenou rychlost posuvu pohyblivé kleštiny. Je uvedena jako průměrný čas, za který dojde k porušení vzorku. Hodnota by měla odpovídat  $65 \pm 20$ s.

Zkušební zařízení zaznamenává sílu v průběhu trhací zkoušky. Toto zkušební zařízení je vybaveno počítačem s příslušným softwarem, který vykresluje s okamžitou odezvou průběh síly v závislosti na prodloužení. Tyto data dále ukládá a je možné je dále převést do tabulkového editoru pro další zpracování. Toho jsem využil i já v této diplomové práci.

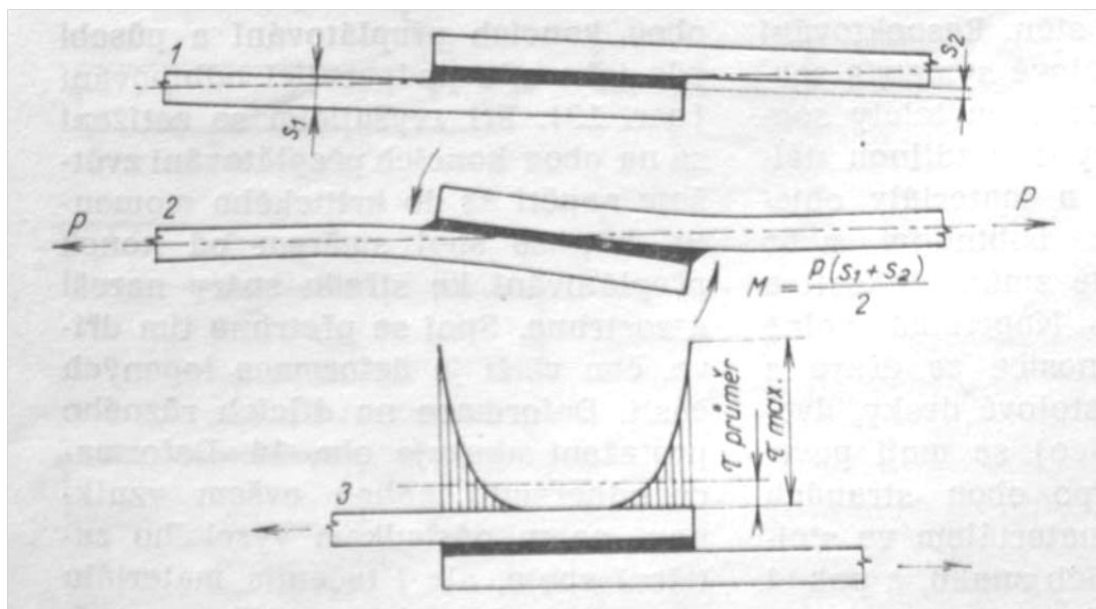
Vyjádření výsledků je možné uvádět jako síla v newtonech, nebo smykové napětí v megapascalch, které vychází z podílu síly v newtonech a smykové plochy v milimetrech čtverečních.



Obrázek 21 Smluvní diagram napětí – deformace[2]

Při tahových zkouškách vycházíme ze smluvního diagramu na obrázku 21. Lze z něj určit důležité parametry zkoušeného vzorku, jako jsou smluvní mez kluzu  $R_{p0,2}$ , smluvní mez pevnosti  $R_m$  a lomové napětí  $R_f$ . Mez kluzu je hodnota napětí, které je dosaženo lineární závislosti mezi deformací a napětím. Po jejím překročení dochází k vzniku plastických deformací ve zkoušeném vzorku. Napětí dále roste, až dosáhne meze pevnosti. V tuto chvíli už je materiál zdeformován a při dalším zatěžování dochází k nárůstu deformací. Vlivem deformací dochází k změně vlastností materiálu, který přenáší zatížení. Materiál už dále není schopen přenést tak velké zatížení a dochází k poklesu křivky až na hodnotu lomového napětí, kde dojde k přetržení vzorku. Smluvní mez kluzu  $R_{p0,2}$  se zavádí z důvodu závislosti citlivosti snímače prodloužení. Smluvní mez kluzu je hodnota zahrnující v sobě plastické deformace o velikosti  $\varepsilon_p=0,002$  (0.2%). Tuto hodnotu zavede na osu poměrných deformací a vedeme rovnoběžku s přímkou tahového diagramu. V místě kde se rovnoběžka protne s křivkou závislosti napětí, se nachází hodnota  $R_{p0,2}$ . Tato hodnota je využívána pro kovové materiály, pro lepidla není až tak důležitá, protože hlavním kritériem pro lepidla je mez pevnosti.

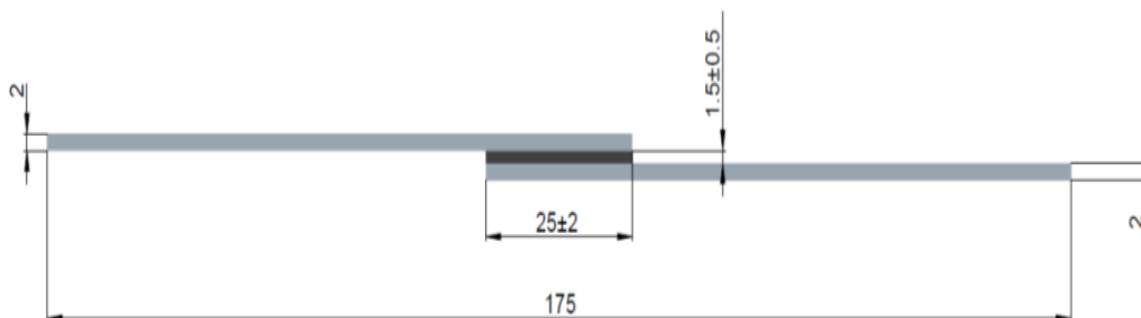
Jednostranně přeplátované spoje jsou velmi náchylné na odlupování. Vlivem excentricity vzniká ohybový moment. Čím větší deformace vzniká tím větší je moment namáhající lepidlo na odlupování.



Obrázek 22 Deformace jednostranně přeplátovaného spoje[1]

## 4.2 Zkušební vzorek

Zkušební vzorek byl vybrán s ohledem na rozměry dle normy ČSN EN 1465 [21]. Ovšem s ohledem na mechanické vlastnosti hliníku a jeho dostupnost v standardních rozměrech, jsem se rozhodl zvolit hliníkový pásek o délce 100mm, šířce 25mm a tloušťce 2mm. Dle normy byl zvolen dostatečný počet pásků, aby bylo možné opakovat měření a eliminovat náhodné vlivy. Tyto pásky prošly jednotlivými povrchovými předúpravami a následně došlo k jejich slepení. Překlátování bylo zvoleno na hodnotu 25mm, u některých vzorků došlo k odchylce v překlátování  $\pm 2$ mm. Výrobce lepidla je doporučená tloušťka spoje je od 0,5mm do 3mm. Při větší vrstvě by mohlo, vlivem exotermní reakce, dojít k nadměrnému vývinu tepla. Tloušťka spoje byla tedy zvolena 1mm až 2mm.



Obrázek 23 Zkušební vzorek

## 4.3 Předúprava vzorků

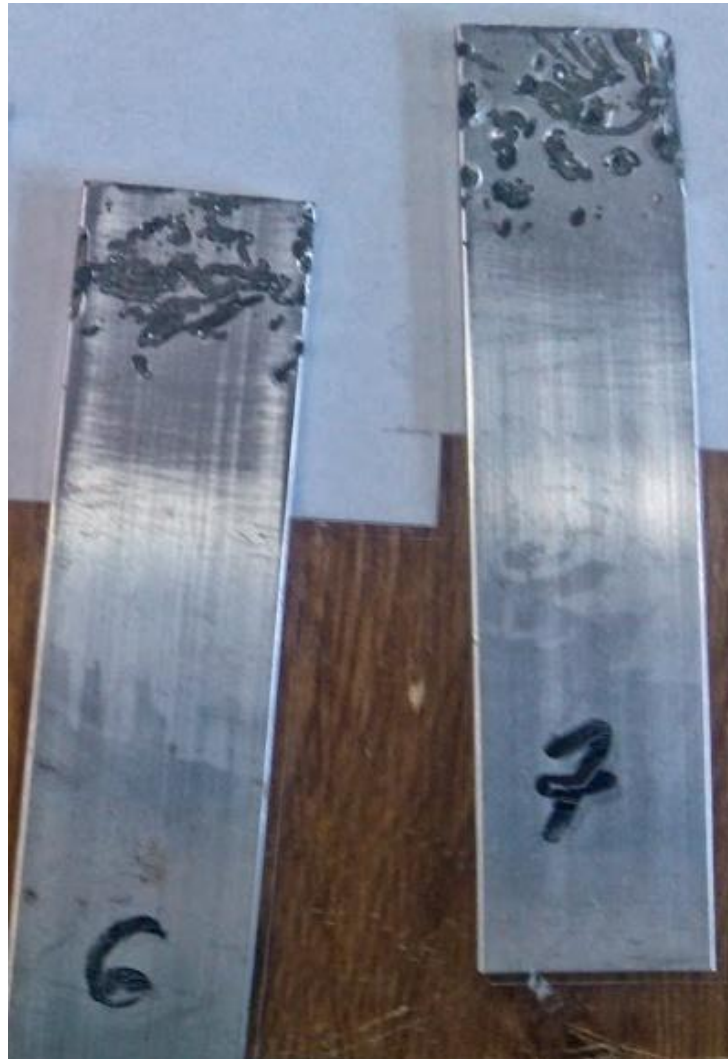
Při volbě typu předúpravy jsem se zaměřil na jednotlivé typy podle normy ČSN EN 13887[15], ale i na možnosti, které mohou vzniknout v běžné praxi a jejich vzájemné porovnání.

Vzorky byly rozděleny do jednotlivých typů, u těchto typů byla vždy provedena stejná předúprava. U vzorku typu 1 došlo k povrchové úpravě pouze brusným papírem o zrnitosti P240. Úmyslně bylo opomenuto odmaštění povrchu. Tento typ by měl simulovat situaci nedodržení doporučení v praxi. Vzorek typu 2 byl pouze odmaštěn. Jedná se o základní typ předúpravy, který mi byl doporučen i výrobcem lepidla. Vzorek typu 3 byl odmaštěn a následně zdrsňen brusným papírem o zrnitosti P240. Vzorek typu 4 je stejný jako vzorek typu 3, jen byl použit brusný papír o zrnitosti P60. Rozdíl mezi těmito vzorky by měl určit rozdíl mezi vhodností zrnitosti použitého papíru. Vzorek typu 5 byl odmaštěn a následně eloxován v roztoku  $H_2SO_4$  a  $H_2O$  v poměru 112g kyseliny a 400ml vody. Eloxování probíhalo po dobu 10-15min v tomto roztoku. Hliníkový vzorek byl použit jako anoda (+) a korozivzdorný plech byl použit jako katoda (-). Aby nedošlo ke kontaktu obou elektrod, byl do roztoku umístěn oddělovač z plastu, ve kterém jsou vyvrtány otvory, aby mohla probíhat oxidace. Obě elektrody byly připojeny na zdroj napětí, na kterém byl nastaven proud 0,31A, který byl vypočítán z proudu na  $1cm^2$  eloxované plochy. Následně byl tento vzorek ponořen do vařící se vody na dobu 15-20min, aby došlo k jeho uzavření.



Obrázek 24 Eloxování

Vzorky typu 6 a 7 byly odmaštěny, následně zdrsňeny brusným papírem P240 a následovalo prohřátí lepeného povrchu pomocí elektrického oblouku. Tento oblouk vznikl metodou svařování TIG bez použití přídavného drátu. Tato metoda nejen že prohřála vzorky, ale i narušila povrch. Prohřátí i narušení povrchu je prakticky nemožné ručně reprodukovat. Proto jsem rozdělil tyto vzorky do dvou skupin. Do těchto skupiny byly vzorky rozděleny s co největší podobností.



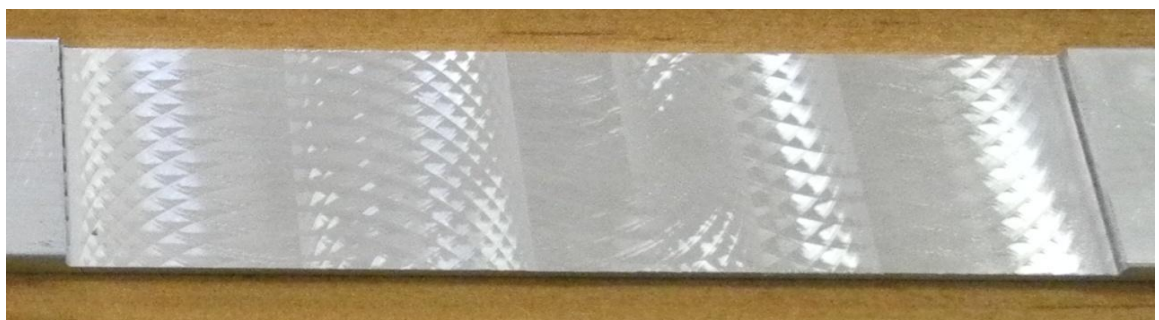
**Obrázek 25 Vzorky typu 6 a 7, metoda TIG**



Dalším typem 10, 11 a 12 byly hliníkové pásky, které byly třískově obrobeny na požadovanou tloušťku s různou výslednou drsností povrchu. Obrábění probíhalo pomocí plátkové frézy o průměru 50mm upnuté v 3osé frézce. Díky změně rychlosti otáčení nástroje (S) a změně rychlosti posuvu (F), aby bylo možné nasimulovat různou drsnost povrchu. Obrábění hliníkových pásek pomocí třískového obrábění je velice náchylné na vhodně zvolené upnutí obrobku. Proto byl zvolen polotovár jako 1m dlouhý pás hliníku, který mohl být upnut na více místech, a tím byla zajištěna rovnoběžnost obráběné plochy s pracovní deskou a bylo omezeno prohýbání hliníkových pásků, které se může vyskytovat při uchycení pouze na dvou místech. Poté následovalo odříznutí přebytečného materiálu v okolí vzorků a následně došlo k očištění otřepů. Tak vznikly 3 typy vzorků s různou drsností povrchů. Jedna se o velmi jemný povrch, dále povrch s drsností odpovídající drsnosti při běžném obrábění ocelových ploch. Hrubé drsnosti bylo dosaženo úmyslně porušením doporučení pro frézování za účelem zjištění možného přínosu pro lepené spoje.



**Obrázek 26 Vzorek typu 10 (S=1500, F=300)**



**Obrázek 27 Vzorek typu 11 (S=300, F=1000)**



**Obrázek 28 Vzorek typu 12 (S=50, F=1500)**

Následně bylo navrženo podrobit vzorky působení vody. Tato metoda se používá pro zjištění odolnosti lepených spojů. Jedná se o simulaci pobytu vzorku v atmosférických podmínkách. Expozice vzorků ve vodní lázni po dobu jednoho až dvou týdnů simuluje jeden až dva roky v běžných podmínkách. [14]

Jedná se tedy o zrychlenou zkoušku. Pro lepidla je voda hlavním korozním médiem, protože je schopná difundovat mezi makromolekuly lepidla a následně působit jako plastifikátor. V případě difuze na rozhraní kov/lepidlo, může docházet ke korozi kovu. Toto je u hliníku nepravděpodobné. Byly zvoleny vzorky se stejnou předúpravou jako u výše popsaného typu 3. Po této předúpravě byly vzorky slepeny a po dostatečném vytvrzení lepidla byly ponořeny do vodní lázně. Po týdenním působení byly vzorky vyjmuty z lázně. Následovalo osušení a poté došlo k roztržení. Tyto vzorky byly označeny jako vzorky typu 18.

**Tabulka 3 Typy vzorků a jejich předúpravy**

Typ vzorku	Typ předúpravy	Trhací zkouška
1	Broušení (P240)	24 hodin po slepení
2	Odmaštění	24 hodin po slepení
3	Odmaštění, Broušení (P240)	24 hodin po slepení
4	Odmaštění, Broušení (P60)	24 hodin po slepení
5	Odmaštění, Broušení (P240), Eloxování	24 hodin po slepení
6	Odmaštění, Broušení (P240), Prohřívání (TIG)	24 hodin po slepení
7	Odmaštění, Broušení (P240), Prohřívání (TIG)	24 hodin po slepení
10	Frézování (S=1500, F=300)	24 hodin po slepení
11	Frézování (S=300, F=1000)	24 hodin po slepení
12	Frézování (S=50, F=1500)	24 hodin po slepení
18	Odmaštění, Broušení (P240)	1 týden po působení vody

Čísla typu vzorků na sebe nenavazují z důvodu vyřazení typů vzorků vzhledem k jejich nevhodnosti pro tuto diplomovou práci.



## 4.4 Použité lepidlo

Jedná se o lepidlo **SikaFast®-5215**. Jedná se o rychle vytvrzující dvousložkový lepicí systém na bázi ADP polymerní technologie odvozené z akrylátů. SikaFast®-5215 je určen pro konstrukční lepení a lepení skla. Více informací viz Příloha D a Příloha E.

Tabulka 4 Technická data SikaFast 5215

	komponent A <b>SikaFast®-5215</b>	komponent B <b>SikaFast®-5200</b>
Mix poměr	100	50
Barva	Černá	Bílá
Poměr	10	1
Otevřený čas	5min minimálně při 23 ° C	
Čas do manipulace	15min při teplotě 23 ° C	
Pevnost ve smyku	ca 8 N/mm <sup>2</sup>	
Pevnost v tahu	ca 10 N/mm <sup>2</sup>	
Prodloužení při přetržení	ca 150 %	
Teplota zpracování	+ 10°C až + 40°C	
Teplotní odolnost	-40 °C až + 80 °C	
Skladovatelnost	12 měsíců, skladováno při teplotě pod 25°C, nevystaveno přímému slunečnímu záření	



Obrázek 29 Použité lepidlo

Další součástí lepidla je **Sika® ADPrep**. Jedná se o aktivační přípravek pro SikaFast® lepicí systémy. Je to speciálně upravený přípravek pro přípravu spojovaných ploch před lepením. ADPrep čistí a zvyšuje přilnavost zejména ke kovům, plastům a dalším materiálům.

**Tabulka 5 Technická data Sika ADPrep**

chemická báze	aktivační kapalný přípravek na bázi rozpouštědel
barva	transparentní, čirý
bod vzplanutí	13°C
aplikační teplota	+5°C až +35°C
způsob aplikace standardní pouze na polyamid	textilní, papírová utěrka štětcem (slabá vrstva)
odvětrací čas > 15°C (pouze wipe on)	1 min
odvětrací čas < 15°C	3 min
odvětrací čas pro polyamid > 15°C (aplikace štětcem)	10 min
odvětrací čas < 15°C	20 min
maximální odvětrací čas	24 hod

Způsob použití Wipe on – jedenkrát jednosměrné setření povrchu čistou textilní nebo papírovou utěrkou (nesmí pouštět vlákna nebo barvu) mírně namočenou v přípravku ADPrep. V případě polyamidu je aplikován přípravek ADPrep štětcem. Po aplikaci ihned nádobu uzavřít. Následně je nutno nechat povrch odvětrat v závislosti na substrátu a teplotě, maximálně však 24 hod při ochraně povrchu před prachem a znečištěním. V praxi není vhodné namáčet papírové utěrky metodou, při které dochází k přiložení papírového ubrousku na hrdlo nádoby a následné překlopení. Neboť může dojít k znečištění přípravku. Vhodnější je opatrné nalévání přípravku na papírový ubrousek.



**Obrázek 30 Sika ADPrep**

## 4.5 Výpočet zatížení

Pevnost lepeného spoje se udává v MPa nebo N/mm<sup>2</sup>. Výstupem z provedeného měření jsou data, která lze importovat do tabulkového editoru. Jednotlivé sloupce obsahují hodnoty zaznamenané síly[N], dráhy[mm] a čas[s]. Čas je spíše orientační pro naše měření. Norma stanovuje, že k přerušení by mělo dojít v čase 65±20s. Tuto doporučenou hodnotu se nám podařilo splnit. Vlivem ručního nanášení lepidla došlo k vzniku bublin a nehomogenity lepeného spoje. Jelikož je napětí v lepeném spoji závislé na ploše lepeného spoje. Je vhodné zvolit konstantu, která zhodnocuje kolik procent z přeplátování, tvoří plocha lepidla. Jedná se o bezrozměrnou konstantu. Touto konstantou vynásobíme plochu přeplátování a vznikne skutečná plocha lepidla, která je ve styku s adherendem.

$$S_p = a[mm] \times b[mm]$$

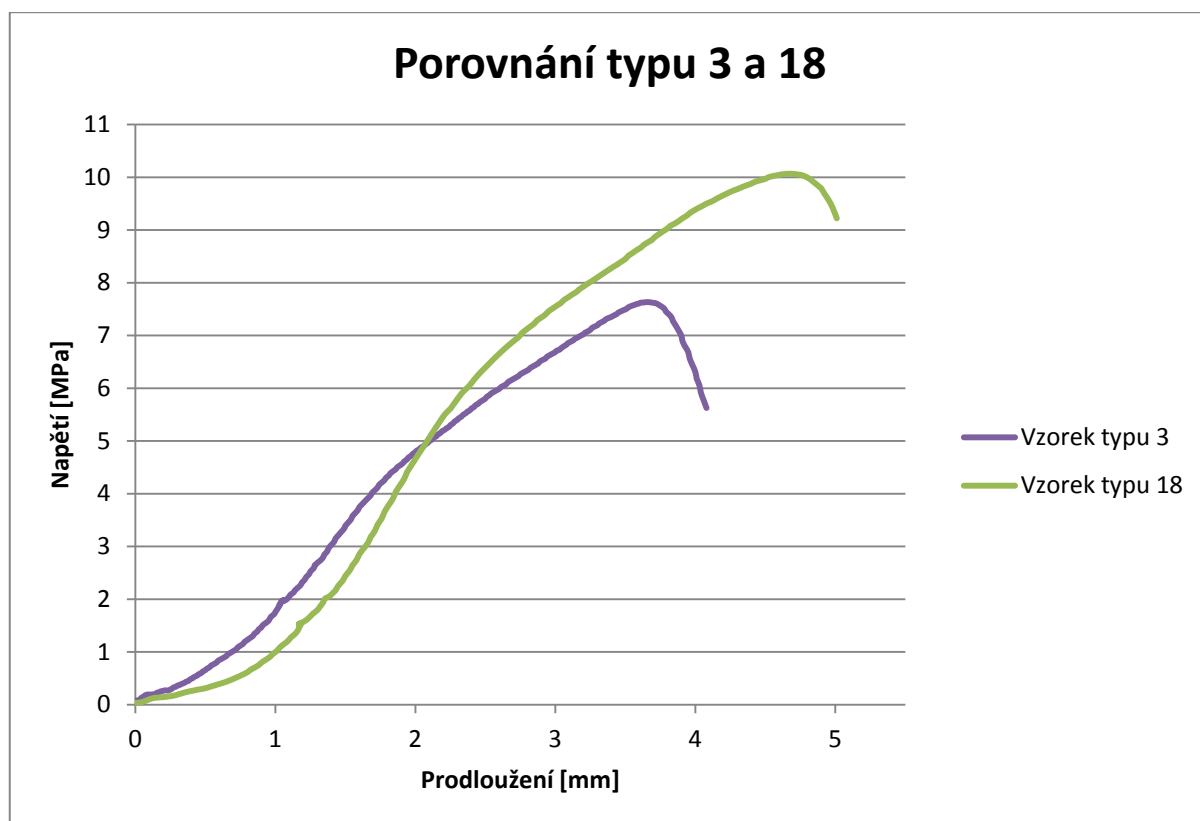
$$S_L = S_p[mm^2] \times \eta[-]$$

$$R_m = \frac{F_{max}[N]}{S_L[mm^2]} [MPa]$$

**Tabulka 6 Naměřené hodnoty**

Typ vzorku	a[mm]	b[mm]	Sp[mm <sup>2</sup> ]	η[-]	SL [mm <sup>2</sup> ]	F <sub>max</sub> [N]	R <sub>m</sub> [MPa]
1	25	22	550	0,98	539	5107	9,47
2	25	24	600	0,9	540	5224	9,67
3	25	22	550	0,87	478,5	3652	7,63
4	25	23	575	0,9	517,5	4772	9,22
5	25	22	550	0,85	467,5	4660	9,97
6	25	23	575	0,98	563,5	4665	8,28
7	25	25	625	0,99	618,75	4391	7,10
10	25	22	550	0,75	412,5	2058	4,99
11	25	24	600	0,8	480	3253	6,78
12	25	26	650	0,85	552,5	5215	9,44
18	25	25	625	0,995	621,875	6260	10,07

V průběhu zatěžování je možné pozorovat změnu sklonu zatěžovací křivky, jedná se o začátek porušování lepeného spoje, kdy dochází vlivem pružnosti lepidla k protahování lepidla a tím se snižuje tuhost lepidla. Sklon se mění dle toho, zda dochází k praskání lepidla, nebo k jeho protahování. Na grafu je porovnání vzorků typu 3 a 18.

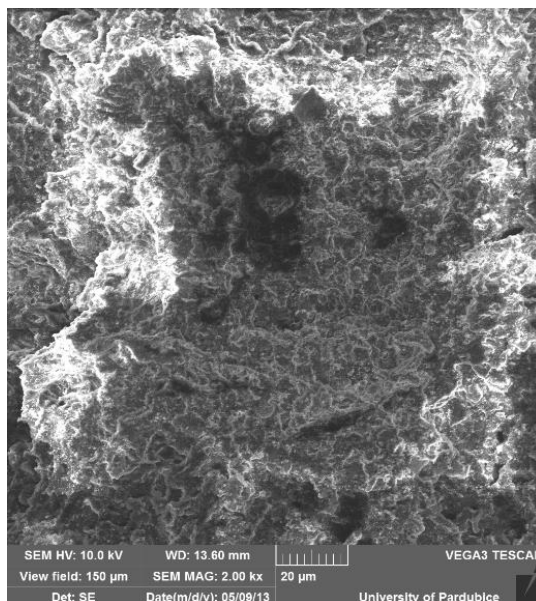


Po roztržení vzorků bylo zkoumáno, zda došlo ke koheznímu nebo adheznímu porušení lepeného spoje. U všech typů došlo ke koheznímu porušení. U některých vzorků nebylo kohezní porušení na pohled zřejmé. Pro určení typu porušení bylo zvoleno pozorování povrchu porušeného spoje na elektronovém mikroskopu. Pozorování nekovových materiálů je obtížné, protože dochází k nasycení povrchu elektrony a tím k velkému zesvětlení obrazu. To snižuje přesnost při pozorování. Po tomto pozorování bylo zjištěno, že na povrchu se stále nacházela vrstva lepidla, tím bylo potvrzeno, že se jedná o kohezní porušení.



**Obrázek 31 Vzorek typu 2**

Na obrázku 31 můžeme pozorovat kohezní porušení spoje. Jsou zde patrné i vzduchové bubliny.



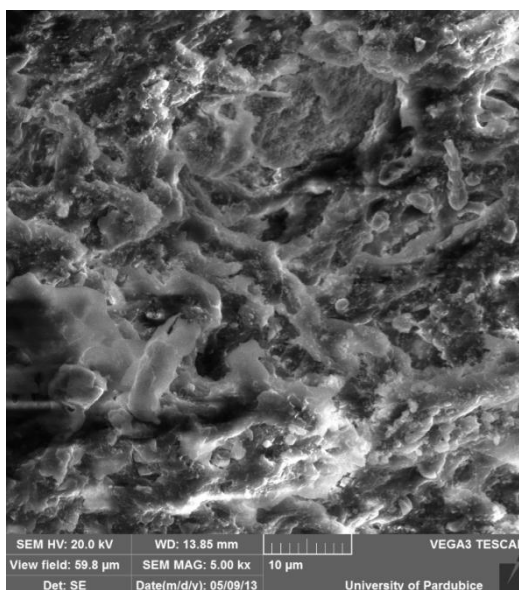
**Obrázek 32 Vzorek typu 2 zvětšení 2000x**

Na obrázku 32 můžeme pozorovat znaky křehkého lomu.



**Obrázek 33 Vzorek typu 18**

Na obrázku 33 je jeden roztržený vzorek typu 18. Na první pohled se zda že se jedná o adhezní porušení. Ovšem po pozorování pod mikroskopem, bylo zjištěno, že se jedná o kohezní porušení.



**Obrázek 34 Vzorek typu 18 zvětšení 2000x**

Na obrázku 34 můžeme pozorovat znaky houževnatého lomu.

Vzhledem k typu předúpravy povrchu vykazuje dobré výsledky eloxování povrchu. U těchto vzorků byla naměřena nejvyšší hodnota mezi pevnosti  $R_m = 9,97$  MPa. Eloxování povrchu bývá častou úpravou povrchu například hliníkových profilů, které jsou používány v praxi například pro rámy jednoúčelových strojů. Velmi dobré výsledky vykazovaly i vzorky typu 2, které byly pouze odmaštěny. Ukázalo se, že odmaštěním lze dosáhnout velmi dobrých výsledků. Odmaštění je úplným základem při postupování předúprav povrchů. Ovšem vzorky, které nebyly odmaštěny, ale jen zbroušeny brusným papírem (P240), vykazovaly lepší výsledky než vzorky, které byly zbroušeny a následně odmaštěny. Následně můžeme porovnat i vliv různých brusných papírů. Broušení brusným papírem P240 vykazuje horší výsledky než broušení brusným papírem P60. Při porovnání se vzorky typu 10, 11 a 12, které byly třískově obráběny, lze říct, že drsnější povrch je pro lepení vhodnější. Z toho vyplývá, že pokud je vhodné povrch před lepením upravit, tak je vhodné ho, pro lepení tímto lepidlem, hrubě zdrsnit. Vzorky typu 10 vykazovaly nejhorší výsledky, mez pevnosti  $R_m = 4,99$  MPa. Povrch není hladký, jsou na něm velmi malá nerovnosti.

Vzorky typu 18 prokázali dobrou odolnost tohoto lepidla proti vlhkosti. Voda působí na lepidlo jako plastifikátor. Na mikroskopu byl pozorován rozdíl mezi vzorky typu 2 a 18. U vzorků typu 18 lze pozorovat houževnatý lom, jsou zde patrné protáhlé a větší částičky lepidla.

## 5. Závěr

Účelem této práce bylo určit vhodnou předúpravu povrchu hliníku pro lepené spoje. Lepení je stále se velmi rozvíjející se odvětví. Je velmi vhodné poradit se vždy s odborníkem, aby došlo k vhodné volbě typu lepidla. Ovšem ne jen typ lepidla určuje pevnost lepeného spoje. Důležitá je správná konstrukce, aby bylo omezeno špičkové napětí v lepeném spoji. Dalším důležitým a dnes velmi konzultovaným tématem je předúprava povrchu. Konstrukční lepidla udávají svou pevnost, která se stanovuje na piklovaném hliníku. V praxi většinou není možné takového povrchu dosáhnout, proto je důležité zvolit vhodný ekvivalent, který bude výrobně jednoduchý a ekonomicky výhodný. Ze základních teorií adheze vyplívá vhodnost ideálně hladkého povrchu, nebo povrchu s vhodnými nerovnostmi. Měření potvrdilo velmi dobré výsledky pro lepení pouze odmaštěného povrchu. Díky použití primeru ADPrep se lepidlo velmi dobře váže na lepený povrch. V široké veřejnosti je rozšířen názor, že je nutné před lepením povrch zdrsňit. Ovšem v této práci jsem ověřil, že předúprava povrchu zdrsňením není vhodná. Ve výrobním procesu se jedná o operaci navíc a nepřináší žádné kladné výsledky. V praxi většina dílů prochází nějakým obráběcím procesem. Zvolil jsem si třískové obrábění NC frézkou. Ovšem ani povrch po frézování není tak vhodný k lepení jako povrch jen důkladně odmaštěn. To by mohlo být velmi užitečné při navrhování postupu obrábění. Velmi dobré výsledky ukázalo i lepení eloxovaného hliníku. Eloxovaný povrch se podobá piklovanému povrchu. Eloxování je ovšem nákladné a může být i časově náročné. To může pak smazat výhody lepených spojů, například při rychlých opravách. Velmi překvapující výsledky přinesl zrychlený test. Bylo zjištěno, že pro konkrétní typ lepidla je dokonce přínosem působení atmosférických podmínek. Na obrázcích z mikroskopu lze pozorovat jiný druh lomu. U vzorku typu 2 se jedná spíše o křehký lom. Vzorek typu 18 vykazuje spíše znaky houževnatého lomu. To potvrzuje teorii o působení vody jako plastifikátoru. Lepidlo není tak křehké, což vyplývá z větších deformací a dosahuje vyšších pevností. Velmi zajímavá je metoda prohřívání. Její velkou nevýhodou je složitost a nákladnost. Ovšem během trhacích zkoušek docházelo k deformaci hliníkových plíšků. To by mohlo naznačovat vysokou pevnost spoje, ovšem při vzniku deformací dochází ke vzniku špiček napětí a následně dojde k odloupení spoje.



Tato práce vedla k určení vhodné předúpravy pro firemní účely firmy JHV Engineering. Po shrnutí by se dalo doporučit lepené plochy pouze dostatečně odmastit a následně slepit. Určitě bych doporučoval použití primeru, který doporučuje i výrobce lepidel. Mechanické úpravy povrchu jsou pro toto lepidlo spíše kontraproduktivní a tím pádem zbytečně nákladné. V praxi se používají eloxované hliníkové profily. Pro ně bych toto lepidlo také doporučil, neboť pro eloxovaný hliník byly naměřeny dobré výsledky.

## Seznam použité literatury







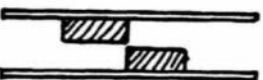
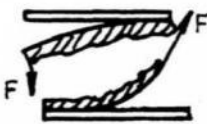
- [1] OSTEN, M.: *Práce s lepidly a tmely*, Grada Publishing Praha, 1996. 136 s.
- [2] PTÁČEK, L. a kol.: *Nauka o materiálu I.-II.*, CERM, Brno 2001, ISBN 80-7204-193-2
- [3] FOLTA, Jiří. *Hodnocení pevnosti lepených spojů v konstrukci autobusů*. 2008. 48 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Švanda, Ph.D. .
- [4] *Lepení* [online]. [2010] [cit. 2012-10-12]. Dostupný z WWW: <[www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/spt/lepeni.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/spt/lepeni.pdf)>.
- [5] *Spojování kovových materiálů* [online]. [2010] [cit. 2012-10-12]. Dostupný z WWW: <[http://jhamernik.sweb.cz/Spojovani\\_kovu.htm](http://jhamernik.sweb.cz/Spojovani_kovu.htm)>.
- [6] *Pájení kovů* [online]. [2010] [cit. 2012-10-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.zivotnistyl.cz/clanky/hobby/25/pajeni-kovu.html>>.
- [7] *Lepení kovů* [online]. [2010] [cit. 2012-11-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.uhu.cz/lepeni-kovu>>.
- [8] *Vlastnosti tekutin* [online]. [2010] [cit. 2012-11-12]. Dostupný z WWW: <[http://www.vscht.cz/uchi/ped/hydroplo/szz2010/szz.vlastnosti\\_tekutin.pdf](http://www.vscht.cz/uchi/ped/hydroplo/szz2010/szz.vlastnosti_tekutin.pdf)>.
- [9] Koudelka, Jan Bc. *Testování vlivu vnitřních vad na únavovou pevnost hliníkových slitin*. 2009. 65 s. Vedoucí bakalářské práce Doc. Ing. Schmidová Eva, Ph.D. .
- [10] ČSN EN ISO 9664. *Lepidla – Zkušební metody na únavu konstrukčních lepidel zatěžených ve smyku tahem*. Praha: Český normalizační institut, 1997.
- [11] ČSN ISO 10365. *Označení hlavních typů porušení lepeného spoje*. Praha: Český normalizační institut, 1995.
- [12] PETRIE, E. M.: *Handbook of Adhesives and Sealants*. McGraw-Hill, New York USA, 2000, ISBN 0-07-049888-1
- [13] *Lepidla - tmely* [online]. [cit. 2012-12-12] Dostupný na WWW: <<http://www.oblibene.cz/lepidla/?cap=4852>>.
- [14] PETERKA, J. a kol.: *Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství*, SNTL, Praha 1980, 789 s.
- [15] ČSN EN 13887. *Konstrukční lepidla – Směrnice pro přípravu povrchu kovů a plastů před lepením*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [16] BÍŽA, Pavel. *Návrh metodiky pro stanovení meze únavy lepených spojů*. 2010. 45 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Švanda, Ph.D. .

- [17] *Brusivo JIMI* [online]. [2013] [cit. 2013-03-04]. Dostupný z WWW: <[http://www.brusivojimi.com/img/user\\_images/uploaded/Obrazky%20do%20pododdeni/pap%C3%ADry%20+pl%C3%A1tna\\_1.JPG](http://www.brusivojimi.com/img/user_images/uploaded/Obrazky%20do%20pododdeni/pap%C3%ADry%20+pl%C3%A1tna_1.JPG)>.
- [18] *Sanace fasád mikroabrazivní metodou* [online]. [2012] [cit. 2013-03-08]. Dostupný z WWW: <[http://www.asb-portal.cz/?article\\_print=3356](http://www.asb-portal.cz/?article_print=3356)>.
- [19] *Picassa web - Raindrops* [online]. [2010] [cit. 2013-03-01]. Dostupný z WWW: <<https://picasaweb.google.com/105385457915058212840/KapkyRaindrops?authuser=0&feat=directlink#5508042296818222210>>.
- [20] *Šroubové spoje* [online]. [2011] [cit. 2013-03-06]. Dostupný z WWW: <<http://javvi.webzdarma.cz/web%20TK/podpora-%20Sroubove%20spoje/podpora-%20Sroubove%20spoje.htm>>.
- [21] ČSN EN 1465. *Lepidla – Stanovení pevnosti ve smyku při tahovém namáhání přelátovaných lepených sestav*. Praha: Český normalizační institut, 2009.
- [22] Metalografie I. Příprava vzorku pro pozorování mikroskopem [online]. [2009] [cit. 2013-03-04] Dostupný na WWW: <[http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm\\_metalografie\\_1/teorie.htm](http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm_metalografie_1/teorie.htm)>.
- [23] Technologie lepení v automobilovém průmyslu [online]. [2008] [cit. 2013-05-05] Dostupný na WWW: <[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/spt/lepeni.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/spt/lepeni.pdf)>.

# **PŘÍLOHY**

<b>Povrchové úpravy kovových materiálů před lepením</b> [7] .....	63
<b>Příloha A: Tabulka označení typů porušení</b> [11] .....	61
<b>Příloha B: Tvary a rozměry zkušebních těles</b> [10] .....	62
<b>Příloha D: Technický list SikaFast<sup>®</sup>-5215 (1/2)</b> .....	64
<b>Příloha E: Technický list SikaFast<sup>®</sup>-5215 (2/2)</b> .....	65
<b>Příloha F: Technický výkres pro přípravu frézovaných vzorků</b> .....	66

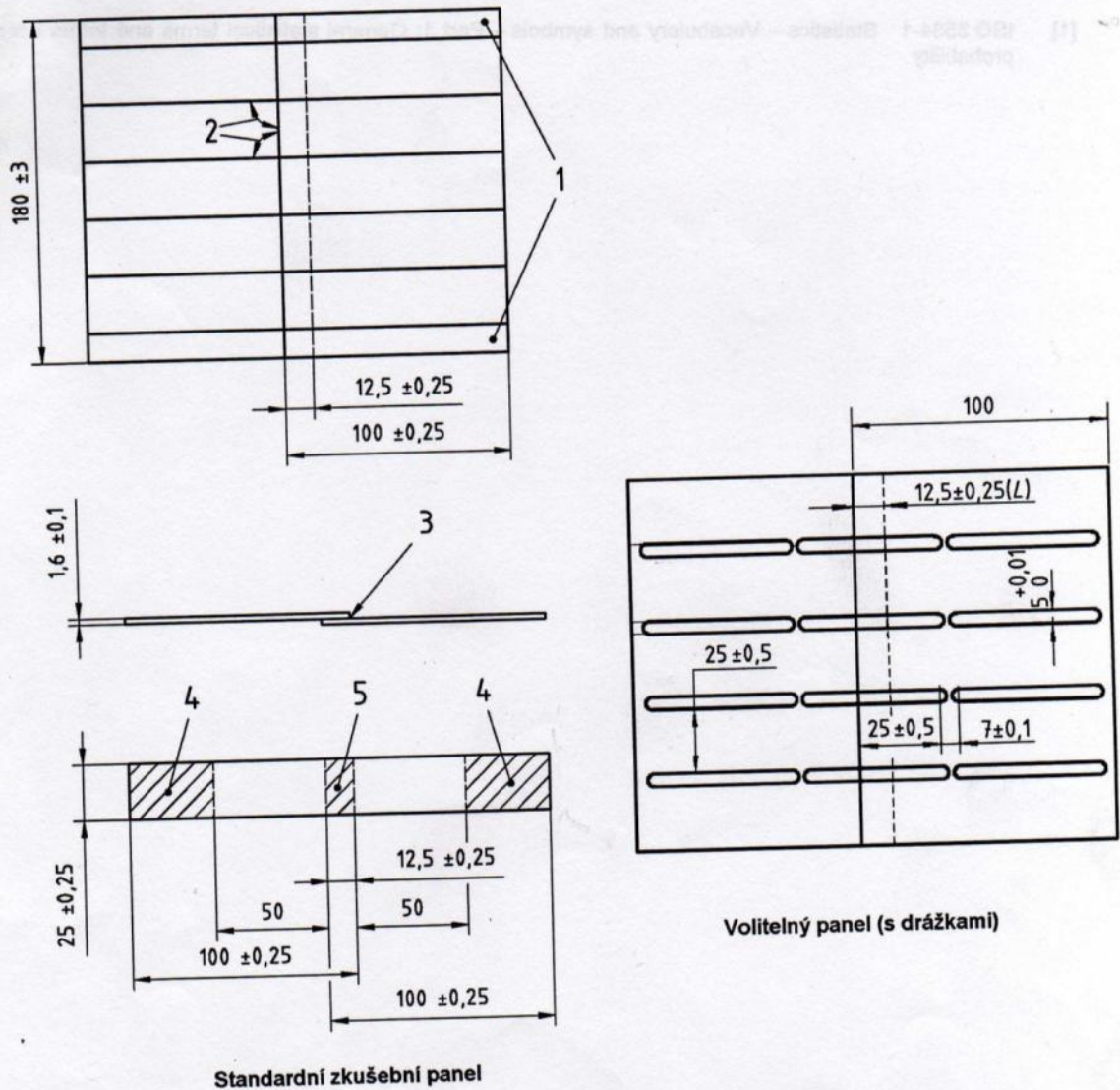
## Příloha A: Tabulka označení typů porušení[11]

	Typy porušení	Označení
Substrát	 <p>Porušení jednoho nebo obou adherendů</p>	SF
	 <p>Porušení jednoho adherendu</p>	CSF
	 <p>Porušení delaminační</p>	DF
Lepidlo	<p>Typy kohezního porušení</p>  <p>Kohezní porušení</p>	CF
	 <p>Speciální kohezní porušení</p>	SCF
	  <p>Adhezní porušení</p>	AF
	 <p>Adhezní a kohezní porušení</p>	ACFP

## Příloha B: Tvary a rozměry zkušebních těles[21]

ČSN EN 1465

Rozměry v milimetrech



### Legenda

- 1 vyřadit
- 2 typicky ( $90 \pm 1$ )°
- 3 vrstva lepidla

- 4 plocha pro čelisti zkušebního přístroje
- 5 plocha smyku

Obrázek 1 – Tvary a rozměry zkušebních panelů

## Příloha C: Povrchové úpravy kovových materiálů před lepením[7]

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

## Příloha D: Technický list SikaFast®-5215 (1/2)

technický list  
verze 10 / 2003

### SikaFast®-5215

rychle vytvrzující 2-komponentní lepicí systém pro konstrukční lepení,  
vhodný pro lepení skla (otevřený čas: 5 min)

technická data:

	komponent A SikaFast®-5215	komponent B SikaFast®-5200
chemická báze	2-komponentní ADP akrylát	
barva komponent ( CSQP <sup>1)</sup> 001-1 )	bílá	černá
barva směsi	šedá	
hustota komponent ( CSQP 006-4)	1,14 g / cm <sup>3</sup>	1,46 g / cm <sup>3</sup>
hustota směsi	1,17 g / cm <sup>3</sup>	
poměr míchání	objemový hmotnostní	10 : 1 10 : 1,28
stabilita	tixotropní pasta	
mechanismus vytvrzení	polymerizace	
otevřený čas <sup>2)</sup> ( CSQP 526 – 1 ) ( statický mixer ) při 23°C	ca 5 min ( viz diagram )	
rychlost vytvrzování	viz diagram	
tvrdost Shore A ( CSQP 023-1 / ISO 868 )	90	
tvrdost Shore D	50	
pevnost v tahu <sup>3)</sup> ( CSQP 036-1 / ISO 527 )	ca 10 N / mm <sup>2</sup>	
prodloužení při přetržení <sup>3)</sup> ( CSQP 036-1 / ISO 527 )	ca 150 %	
pevnost ve smyku <sup>3)</sup> ( CSQP 546-1 / ISO 4587 )	ca 8 N / mm <sup>2</sup>	
teplota přechodu ke sklovitosti ( CSQP 508-1 / ISO 4663 )	ca 52°C	
elektrický odpor ( CSQP 079-2 / ASTM D 257-99 )	ca 1,6 x 10 <sup>13</sup> Ω cm	
teplota zpracování	+ 10°C ÷ + 40°C	
teplotní odolnost	-40 °C až + 80 °C	
skladovatelnost <sup>3)</sup> ( CSQP 016-1 )	kartuše hobok	12 měsíců 12 měsíců

<sup>1)</sup> CSQP = Corporate Sika Quality Procedures

<sup>2)</sup> při 23°C a 50 % rel. vzdušné vlhkosti

<sup>3)</sup> skladováno při teplotě pod 25°C, nevystaveno přímému slunečnímu záření

#### Popis:

SikaFast®-5215 je rychle vytvrzující, elastický, 2-komponentní lepicí systém na bázi ADP polymerní technologie odvozené z akrylátů.

Nevytvrzený SikaFast®-5215 je pasivní, nestěkávký, nehořlavý materiál umožňující jednoduchou a precizní aplikaci.

SikaFast®-5215 je vyráběn v souladu s normami jakosti ISO 9001 / 14001.

#### Přednosti produktu:

- nárůst pevnosti v několika minutách po aplikaci
- adheze na široké spektrum kovů, plastů a sklo s minimální přípravou povrchu
- vysoká pevnost
- vyrovnává tolerance, vyplňuje nerovnosti (do 3 mm)
- pružný, tlumí vibrace
- bez rozpouštědel a kyselin
- snadné míchání
- nízký zápach
- schválení dle NSF R2 ( náhodný styk s potravinami )

#### Oblast použití:

ADP technologie nabízí novou kategorii rychle vytvrzujících lepidel nahrazujících v mnoha směrech technologie svařování, nýtování, temování nebo prolisování.

SikaFast®-5215 vhodný zejména pro konstrukční a montážní lepení v oblasti sériové výroby zařízení, přístrojů, spotřebičů pro průmysl nebo domácnost, z plechů, plastů, skla, lakovaných povrchů atd., umožňuje řešení vysoce pevnostních skrytých spojů u různorodých materiálů včetně finálně povrchově úpravených dílů. V těchto a dalších otázkách doporučujeme konzultovat s technickým oddělením Industry.



SikaFast®-5215 1/2



## Příloha E: Technický list SikaFast®-5215 (2/2)

### Vytvrzování :

Vytvrzovací reakce materiálu SikaFast®-5215 se uskutečňuje při pokojové teplotě. Komponent A, SikaFast®-5215 obsahující reaktivní monomer vytvrzuje působením iniciátoru komponentu B SikaFast®-5200, po smíchání v předepsaném objemovém poměru (10:1) při vytlačování přes statický mixer.

( rychlost vytvrzování je mírně ovlivněna teplotou prostředí).

SikaFast®-5215 nabízí relativně dlouhý otevřený čas s následným rychlým vytvrzením, což vytváří optimální poměr mezi časem pro aplikaci a následným nárůstem pevnosti ( viz diagram) k dosažení hodnoty manipulační pevnosti.

I přes rychlý nárůst pevnosti může předčasné zatížení způsobit destrukci spoje. Ponechte lepidlo / spoj 15 minut po promíchání v klidu bez zatížení.

Ustavení spoje je možno pouze v čase do 5 minut po smíchání.

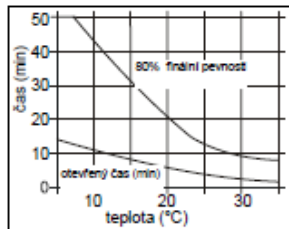


Diagram: otevřený čas a rychlost vytvrzení pro SikaFast®-5215

### Chemická odolnost :

Závazné posouzení je podmíněno objektovou zkouškou .

### Dosažitelná adheze

Následující tabulka shrnuje výsledky smykového namáhání získané u různých substrátů. Tyto výsledky jsou orientační. Vzhledem k širokému rozsahu variant substrátů jsou doporučeny předběžné testy.

Je nutné vzít v úvahu, že mechanické hodnoty jsou závislé na teplotě ( hodnoty na vyžádání).

### Tabulka adheze

substrát		hodnota
aluminium	K	8 N/mm <sup>2</sup>
Al Mg3		
ocel St 32	K	8 N/mm <sup>2</sup>
neroz	K	8 N/mm <sup>2</sup>
ocel galvanicky pokovená	A	8 N/mm <sup>2</sup>
polyester laminát	S	8 N/mm <sup>2</sup>
lak akrylátový	S	8 N/mm <sup>2</sup>
sklo	K	9 N/mm <sup>2</sup>
ABS (Terulan)	K	8 N/mm <sup>2</sup>
PVC ( Kőradur ES)	K	9 N/mm <sup>2</sup>
polykarbonát	S	8 N/mm <sup>2</sup>

Tab. 1: zkušební desky dle ISO 4587, tloušťka spoje (1,5 mm)

Lom: Adhezivní, Kohezivní, Substrát

### Pokyny pro zpracování :

**Připrava podkladu** - lepené plochy dílu musí být čisté, suché a zbavené všech mastnot . Nepevné části povrchu musí být mechanicky odstraněny.

V kombinaci se SikaFast®-5215 je nutno plochy očistit / aktivovat pomocí přípravku Sika®ADPrep.

Při aplikaci na lakované povrchy je nutno věnovat pozornost dostatečné přilnavé pevnosti laku na podkladě . V případě specifických aplikací doporučujeme konzultovat s technickým oddělením Industry.

### Aplikace.

Z 2-k duální kartuše a přes našroubovaný statický mixer je vytlačování možné pomocí speciální ruční nebo vzduchové pistole.

Při zpracování lepidla pomocí vytlačovací pumpy z hoboků je nutné dávkování v poměru 10:1 a statický mixer.

Pracovní teplota lepidla ovlivňuje mírně otevřený čas, stabilitu housenky po nanesení a reakční časy. Při zpracování má být v rozsahu od +10 °C do max +40 °C.

**Důležité: při aplikaci většího množství materiálu dochází v závislosti na množství vlivem exotermní reakce k vývinu tepla. Pro zabránění nadměrného vývinu tepla by neměla tloušťka spoje přesahovat 3 mm.**

Pro přípravu a návrh zpracování aplikace a volbu zařízení doporučujeme využít technicko - uživatelské poradenství našeho oddělení System Engineering.

### Odstranění zbytků lepidla:

nevytvrzený materiál krátce po nanesení nutno neprodleně utřít suchou utěrkou, vytvrzený materiál možno odstranit pouze mechanicky. Ruce je možno očistit pomocí utěrky Handclean nebo mycí pasty a oplachem vodou .

### Další informace

Kopie následujících publikací jsou na vyžádání k dispozici

- bezpečnostní list produktu
- všeobecné směrnice pro SikaFast

### Balení:

SikaFast®-5215 (komp. A):	20 l hobok
SikaFast®-5200 (komp. B):	18 l hobok
duální kartuše (komp. A+B )	250 ml 50 ml

### Měřené hodnoty

Všechna technická data v tomto technickém listu jsou stanovena na základě laboratorních testů. Aktuálně naměřené hodnoty se mohou odchylovat vzhledem k odlišným podmínkám měření mimo naší kontrolu.

### Důležité:

Další údaje o chemickém charakteru materiálu, toxikologii, ekologii, skladování, dopravě, likvidaci jsou obsaženy v bezpečnostním listu materiálu .

### Upozornění :

naše technicko uživatelské písemné či ústní informace a poradenství je sestaveno na základě našeho nejlepšího vědění , současného stavu znalostí z oblasti vývoje chemických produktů a získaných dlouholetých praktických zkušeností ze spolupráce s výrobcí a opravami v dané oblasti . Naše doporučení jsou však nezávazná, netvoří žádný právní závazek a nezabývají kupujícího možnosti realizovat vlastní zkoušky našich produktů ve vztahu ke konstrukčním , technologickým a zpracovatelským podmínkám realizace a to zejména s ohledem na práva třetího . V ostatních záležitostech platí všeobecná ustanovení obchodního zákoníku . V případě technických informací se obraťte na naše oddělení Industry .



Sika Schweiz AG  
Tüfenwies 16  
8048 Zürich  
Switzerland  
Tel: +41 58 436 40 40  
Fax: +41 58 436 45 30

Sika CZ s.r.o.  
Bystrka 1132 / 36  
CZ - 624 00 Brno  
Česká republika  
tel: +420 546 422 464  
fax: +420 546 422 400  
e-mail: [sika@cz.sika.com](mailto:sika@cz.sika.com)

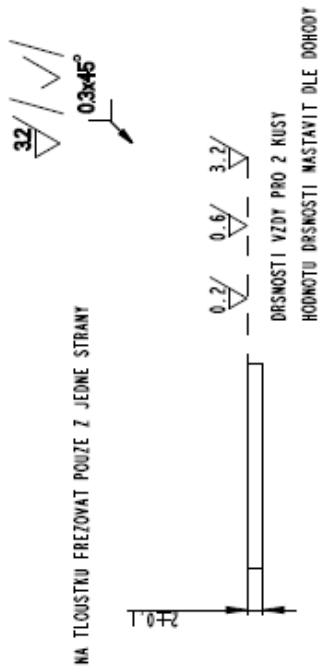
Sika Slovensko spol. s r.o.  
Rybničná 38  
SK - 831 07 Bratislava  
Slovensko  
tel: +421 2 4920 0406  
fax: +421 2 4920 0444  
e-mail: [sika@sk.sika.com](mailto:sika@sk.sika.com)



SikaFast®-5215 2 / 2

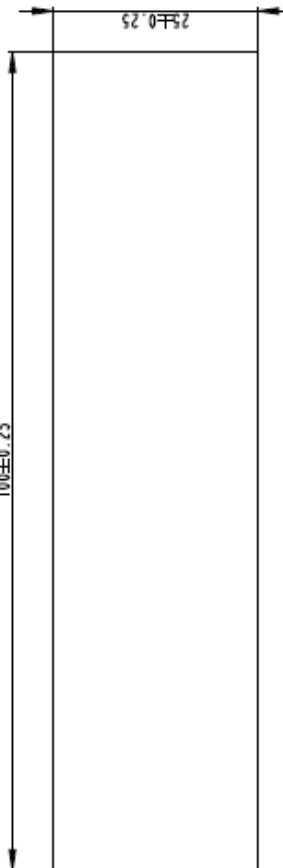
# Příloha F: Technický výkres pro přípravu frézovaných vzorků

Z POLOTOVARU ( 1m) UDELAT 6 KUSU



NA TLOUSTKU FREZOVAT POUZE Z JEDNE STRANY

NA DELKU URIZNOUT PO FREZOVANI  
100±0.25



ROZMER DLE POLOTOVARU



POUZIT MATERIAL ALUPA : 25x5 ZH-2993  
ROZTECE LICOVANYCH OTVORU V TOLERANCI ±0.02 , OSTATNI OTVORY ±0.1

FNC

25x2-100	-	ALUPA -	
St. Kuzes - rozmer	Polotovary	Material	
Tento vykaz je dalsim vlastnickim JHY-ENGINEERING s.r.o.			
Meritko	2:1	TOLERANCE ISO 8015	Formet
		NETOLENOME ROZMER ISO 2768-mK	A.3
JHY ENGINEERING	Kreslil: BIZAP	Datum: 08.11.12	
MVA	Kreslil: dila		
Tel: 44 333 903	<b>ZKUSEBNI VZOREK</b>		
Fax: 44 333 903			
Info: www.jhy.cz			
		Clisle dila	
			<b>PRT0001</b>
		Revize	1