



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# VLIV TECHNOLOGIE VYTVRZOVÁNÍ LAKU NA KVALITU SPOJE

ON THE EFFECT OF LACQUER-SETTING TECHNOLOGY ON THE QUALITY OF A JOINT

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Smékal

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

BRNO 2021

# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	<b>Jan Smékal</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	<b>prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.</b>
Akademický rok:	2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Vliv technologie vytvrzování laku na kvalitu spoje

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vybrané technické spoje kovových i nekovových materiálů se tvoří pomocí fixace vytvrditelným lakem, které však vykazují rozdíly v mechanických vlastnostech těchto spojů. Práce zahrnuje studium spojovaných materiálů, jejich povrchové kvality, technologie vytvrzování a mechanických zkoušek spojů s cílem vytvořit bezpečné spojení pro praxi.

### Cíle bakalářské práce:

Literární rešerše dané problematiky se zaměřením na technologie. práškového lakování, elastomerů a lepených spojů.

Návrh experimentu s různými vytvrzovacími parametry.

Experimentální měření pevnosti spoje ve smyku při tahovém namáhání.

Vyhodnocení výsledků.

### Seznam doporučené literatury:

ELIAS, Hans-Georg. Macromolecules. Volume 1: , Chemical structures and syntheses. Weinheim: WILEY-VCH, 2005, xxxii, 666 s. ISBN 3-527-31172-6.

FERRY, John D. Viscoelastic properties of polymers. 3rd ed. New York: John Wiley, 1980. ISBN 9780471048947.

BÁBEK, Miroslav, STAŇO, Jozef a KLIBÁNI, Stanislav. Gumárenská technologie a výroba technické pryže, výukové texty. Zlín: Česká společnost průmyslové chemie, místní pobočka Gumárenská skupina Zlín, 2012.

JANČAŘÍKOVÁ, Marie. Testování pryžových těsnících prvků podrobených různým vnějším vlivům [online]. Brno, 2016 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/58309>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta chemická. Ústav chemie materiálů. Vedoucí práce Radka Bálková.

CROWTHER, Bryan. Handbook of Rubber Bonding. United Kingdom: Rapra Technology Limited, 2001. ISBN 1-85957-394-0.

SCOTT, Gerald, ed. Mechanisms of Polymer Degradation and Stabilisation [online]. Dordrecht: Springer Netherlands, 1991 [cit. 2020-06-20]. DOI: 10.1007/978-94-011-3838-3. ISBN 978-1-851-6-505-1.

METELKOVÁ, Jitka. Pokročilé metody vyhodnocování topografie povrchu [online]. Brno, 2014 [cit. 2020-06-11]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/33003>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Miroslav Píška.

ČSN EN ISO 4287 Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Bakalářská práce je rozdělena do dvou částí. První část práce je rešerší na témata práškového lakování, lepení a kaučuků. V druhé a hlavní části práce je zpracován postup výroby lepených vzorků, vyhodnocení smluvní tahové zkoušky lepeného spoje. Vliv technologie vytvrzování laku na kvalitu spoje nelze spolehlivě vyhodnotit na základě dosažených výsledků ze smluvní tahové zkoušky smykem. Byla provedena analýza výsledků experimentu a návrh na zlepšení experimentu pro pokračující práce.

### Klíčová slova

práškové lakování, vypalování, lepení, termoreaktivní lepidlo, lepení pryže, smluvní tahová zkouška

## ABSTRACT

The thesis is divided into two parts. At first it deals with the process of powder coating technology, gluing technology and rubber. Then the thesis continues with the experimental part, which includes process of making glued joints and evaluation of tensile test of those glued joints. The effect of lacquer-setting technology on quality of a joint cannot be reliably evaluated based on results achieved from tensile test. Analysis of results was made as well as suggestion for improvements of experiment for future thesis.

### Key words

powder coating, curing process, gluing, thermo-reactive adhesive, rubber bonding, tensile testing

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SMÉKAL, Jan. *Vliv technologie vytvrzování laku na kvalitu spoje* [online]. Brno, 2021 [cit.2021-05-15]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132841>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Miroslav Píška.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Vliv technologie vytvrzování laku na kvalitu spoje** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

21. května 2021

-----  
Datum

-----  
Jan Smékal

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu prof. Ing. Miroslavu Píškovi, CSc. za cenné, odborné připomínky a rady, které mi poskytl a které mi pomohly při vypracování bakalářské práce. Děkuji kolegovi Ing. Štěpánu Hýžovi za vedení a pomoc při práci ve firmě. A nakonec děkuji rodině a přítelkyni za podporu v průběhu studia i při psaní bakalářské práce.

---

**OBSAH**

Abstrakt .....	3
Prohlášení .....	4
Poděkování .....	5
Obsah .....	6
Úvod .....	7
<b>1 PRÁŠKOVÉ LAKOVÁNÍ</b> .....	<b>8</b>
1.1 Předúprava.....	8
1.2 Technologie nanášení práškového laku.....	10
1.3 Výroba, složení a vlastnosti prášku.....	13
1.4 Druhy prášků.....	13
1.5 Vytvrzování prášku .....	15
1.6 Kontrola vytvrzení povlaku.....	18
<b>2 LEPENÍ</b> .....	<b>20</b>
2.1 Typy lepidel .....	22
2.2 Konstrukce a namáhání lepených spojů .....	25
<b>3 KAUKČUKY</b> .....	<b>31</b>
3.1 Druhy kaučuků.....	31
3.2 Lepení pryže .....	32
<b>4 EXPERIMENT</b> .....	<b>36</b>
4.1 Lakování plechů .....	36
4.2 Nanesení lepidla.....	40
4.3 Lepení vzorků .....	44
4.4 Smluvní tahová zkouška smykem .....	51
4.5 Výsledky a diskuse .....	54
Závěr.....	70
Seznam použitých zdrojů.....	71
Seznam použitých symbolů a zkratk .....	74
Seznam příloh .....	75

## ÚVOD

Práškové lakování spadá do technologie povrchových úprav, které mají účel ochrany podkladového materiálu před korozí a působením klimatických vlivů. Práškové laky vykazují dobrou odolnost proti poškrábání, otěru a také chemickou odolnost. Je důležité, aby výsledný povlak měl reprezentativní vzhled, proto jsou v dnešní době práškové laky vyráběny v takřka jakýchkoliv odstínech, matné, lesklé, jako imitace dřeva nebo jiné struktury. Využití technologie práškového lakování je široké a tato technologie je taktéž výhodná po ekonomické stránce a po stránce jejího dopadu na životní prostředí.

Lepení je technologie zhotovení nerozebíratelného spoje dvou různých, nebo stejných materiálů s použitím lepidla. Lepidel existuje nepřeborné množství, protože není žádné univerzální lepidlo, kterým by se dalo lepit jakékoliv materiály. Každý materiál má specifické vlastnosti a podle vlastností lepeného materiálu je lepidlo vybíráno. Lepení má mnoho výhod a čím dál více se dostává do popředí a soupeří tak o místo s jinými technologiemi výroby nerozebíratelného spojení např. se svařováním, nýtováním a pájením.

Kaučuky jsou nesíťované polymery, jejichž síťováním (vulkanizací) za určitých podmínek vznikají materiály nazývané jako elastomery, pryže, gumy nebo vulkanizáty. Proces výroby pryžových výrobků popisuje gumárenská technologie. Elastomery se vyznačují vysokou elasticitou, která je zapříčiněná řídkými, ohebnými, polymerními řetězci. Existují přírodní a syntetické kaučuky a mají široké využití ve výrobě pryžových součástí.

Bakalářská práce je vypracována ve spolupráci se strojírenskou firmou. V první části bakalářské práce jsou výše uvedená témata zpracována formou rešerše. Experimentální část, tj. druhá část práce představuje návrh provedení experimentu, postup zhotovení lepených vzorků a jejich testování pomocí smluvní tahové zkoušky. V podkapitole Výsledky a diskuse jsou rozebrány výsledky experimentu a porovnání jednotlivých vzorků mezi sebou.

Cílem práce je vyhodnotit vliv technologie vypálení práškového laku na kvalitu lepeného spoje, ocelových plechů s pryží slepených termoreaktivním lepidlem, provedením interní tahové zkoušky vyrobených vzorků a jejich vzájemného porovnání po roztrhnutí.



## 1 PRÁŠKOVÉ LAKOVÁNÍ

Práškové lakování je technologie nanášení nátěrové hmoty ve formě prášku na součást a její následné vypálení. Tato technologie se řadí mezi jednovrstvé povrchové úpravy, kde se tloušťka laku pohybuje v řádu desítek mikrometrů. Vrstva povlaku chrání základní materiál před korozi, klimatickým působením vnějšího okolí, má dobrou odolnost proti otěru a často i chemickou odolnost. Výsledný vzhled povrchu je také rozhodující, zvláště na výrobcích, které jsou používány tam, kde je má člověk na očích. Laky jsou zhotovovány v širokém spektru barev a často i jako imitace dřeva, hornin nebo jiných struktur.

Technologie práškového lakování je v současnosti velice používaná a laky najdou využití v mnoha odvětvích. Například v lékařském průmyslu, strojním průmyslu, stavebnictví, potravinářství, automobilovém průmyslu a architektuře. Použití u kovových konstrukcí, kovových dílů, nábytku pro interiér či exteriér, nebo také u domácích spotřebičů tzv. bílý program (ledničky, pračky, myčky, trouby a sporáky).

Podstatnou výhodou práškového lakování je jeho ekologická stránka. Laky neobsahují přírodě a zdraví škodlivé látky a tím, že se jedná o prášek z pevných částic, tak neobsahuje žádné těkavé látky zatěžující životní prostředí. Díky možnosti opětovného použití, nebo recyklace prášku je množství odpadu této technologie minimální (cca 2-3 %). [1]

### 1.1 Předúprava

Než je vůbec možné nanášet práškový lak, musí mít základní materiál jakost povrchu odpovídající následně použitému druhu prášku. Předúprava povrchu zajišťuje kvalitní přilnutí povlaku a tím i jeho dobrou životnost. Úprava povrchu se rozděluje na dvě skupiny procesů – mechanická a chemická, respektive elektrochemická úprava povrchu.

#### 1.1.1 Mechanická úprava povrchu

Dochází k mechanickému odstranění nečistot, rzi a okují po předchozích procesech výroby nebo předchozím skladování.

#### **Broušení**

Používají se brusné pásy a lístkové kotouče s různou zrnitostí brusiva, kdy se postupuje od hrubších (zrnitost pod 100) brusiv k jemnějším. Dochází k úběru malého množství materiálu a hlavním cílem je odstranění nečistot, rzi a nerovností povrchu. Povrch materiálu se zdrsňuje což zlepšuje přilnavost povrchové úpravy. Broušení je obvykle operace, která předchází následnému leštění povrchu. [1; 2]

#### **Kartáčování**

Kartáčování slouží k odstranění hrubých nečistot na povrchu pomocí kartáčů s ocelovými dráty. K sjednocení vzhledu povrchu jsou využívány rotační kartáče s přírodními nebo umělými vlákny a brusné pasty s brusivem. [1; 2]

## Leštění

U leštění dochází k odstranění stop po předchozích operacích, nízké drsnosti a lesku povrchu. Používají se leštící látkové, nebo plstěné kotouče bez nalepeného brusiva. Na obvod se nanáší leštící prostředek ve formě pasty, která snižuje tření a obsahuje jemná brusná zrna. [1; 2]

## Omílání

Omílání se využívá pro malé a tvarově složité součásti. Technologie spočívá v omílání součástí s omílacími tělesy. Dochází k vyhlazování materiálu, zpevnění povrchu, odstranění ostřin. Omílací tělesa mohou být ocelové broky, kamenné oblázky a křemenný písek. Provádí se suché, nebo mokré omílání, bubny používané k omílacímu procesu jsou rotační, vibrační, rotačně vibrační, nebo odstředivé. [1; 2]

## Tryskání

U technologie tryskání se využívá kinetické energie abrazivního materiálu, který je metán vysokou rychlostí na tryskaný materiál. Z tryskaného materiálu lze odstranit předchozí nátěr, nečistoty, rez, okuje, nebo zbytky formovacích směsí u odlitků. Abrazivním materiálem může být sekaný drát, ocelové broky, křemenný písek, korund, balotina, nebo také plast. Povrch tryskaného materiálu je kovově čistý a je poset krátery odpovídající velikostí a tvarem použitému abrazivnímu materiálu. Tryskací prostředek je urychlován buď pneumaticky, tlakovou kapalinou, nebo metacím kolem [1; 2]. Hodnoty drsnosti povrchu, dosažené vybranými tryskacími prostředky, jsou v tab. 1.1.

Tab. 1.1 Hodnoty dosažené drsnosti v závislosti na použitém tryskacím prostředku [1].

Tryskací prostředek	Interval drsnosti
ocelová drť č. 4	25-50 $\mu\text{m}$
korund 0,5 mm	40-55 $\mu\text{m}$
křemičitý písek 1,0 mm	40-65 $\mu\text{m}$
sekaný drát 0,8 mm	45-70 $\mu\text{m}$

### 1.1.2 Chemická a elektrochemická úprava povrchu

Dochází k reakci mezi chemickými činidly a nečistotami na povrchu materiálu. Cílem je upravit povrch tak, aby měl co nejlepší jakost pro daný typ povlaku.

## Moření

Chemicky vázané nečistoty na povrchu materiálu se odstraňují mořením. Jedná se o korozi, okuje, nebo oxidy vzniklé v důsledku předchozího zpracování. K moření se využívají kyseliny (na ocel, měď a zinek), nebo hydroxidy (na zinek, hliník), dochází k rozpouštění kovů, oxidy se převedou na rozpustné soli a vzniká vodík. Soli se

následně opláchnou z povrchu demivodou, vodík vniká do krystalické mřížky kovu. Doba moření se pohybuje v řádu sekund až minut. [1; 2; 3]

### **Odmašťování**

Odmašťováním se odstraní mastnota, oleje, soli, prach a kovové třísky z povrchu materiálu. Odmašťování se provádí mnoha způsoby a je možné tyto způsoby kombinovat. Například odmašťování v alkalických roztocích, organických rozpouštědlech a dále také emulzní, ultrazvukové, elektrolytické odmašťování, nebo odmašťování pomocí páry a opalováním. Nejčastěji se používá sdružené operace odmašťování a fosfátování. Teploty při odmašťování se pohybují v rozmezí 40-70 °C a doba odmašťování se pohybuje od jednotek minut do 20 minut. [1; 2; 4]

### **Alkalické odmašťování**

Provádí se pomocí roztoku hydroxidu sodného nebo uhličitanu sodného (max. 10% roztok). Aplikace se provádí buď ponorem, nebo postřikem. Při ponoru musí roztok v lázni proudit a u postřiku se nesmí tvořit pěna na součástech. Roztok reaguje s mastnotou a dochází ke vzniku emulze, která je buď na hladině lázně, odkud je odstraňována, nebo emulze stéká dolů po zavěšených dílech. Emulze je odstraněna oplachem nejlépe pomocí horké demivody. [1; 2; 4]

### **Fosfátování**

Chemický proces, při kterém se na povrchu materiálu vytváří z roztoku kyseliny fosforečné nerozpustná, nebo obtížně rozpustná vrstva fosforečnanů. Vrstva fosforečnanů je velmi tenká a kompaktní, příliš tlustá vrstva by byla křehká a zhoršila by přilnavost nátěrové barvy. Chemické složení fosfátových lázní se liší podle kovu, který chceme fosfátovat (železo, ocel, hliník a zinek). Nejefektivnějšího vylučování fosfátu se dosáhne dodržováním předepsané teploty lázně s maximální odchylkou  $\pm 5-8$  °C a její koncentraci. [1; 2]

### **Oplach**

Oplach slouží k smytí použitých chemikálií a solí, které zůstaly na povrchu po předchozích reakcích. Nejvýhodnější je použití teplé demineralizované vody. Demineralizovaná voda je chemicky upravená voda z vodovodního řadu, aby minerály v ní obsažené neovlivnili přilnavost povlaku a nezpůsobily korozi materiálu.

### **Sušení**

Pro nanášení práškového laku je důležité, aby byl povrch dokonale suchý. Materiál prochází sušičkou, kde cirkuluje vzduch o teplotě do 170 °C.

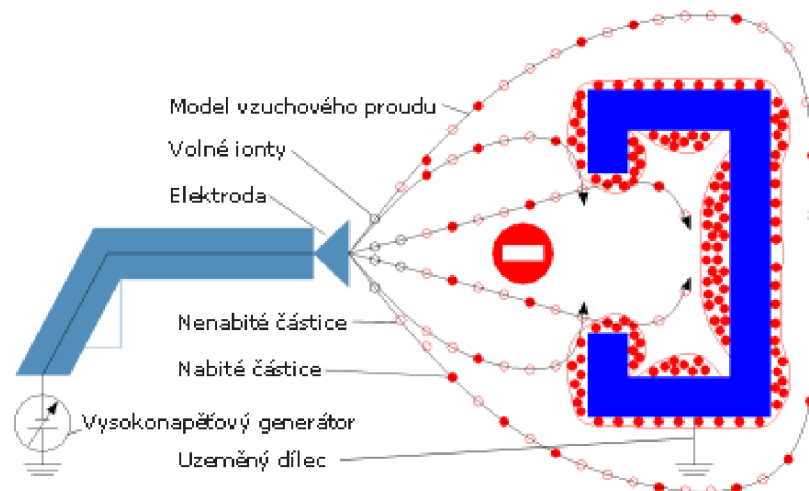
## **1.2 Technologie nanášení práškového laku**

Principem je nanesení práškového laku na předem upravený materiál a jeho setrvání na součásti až do doby vytvrzení. V aplikačním zařízení tzv. násypce dochází ke smíchání prášku se stlačeným vzduchem, vzduch musí být suchý

a čistý, aby nedošlo k znečištění prášku. Směs putuje přes tlakovou hadici až do aplikační pistole. Aplikační pistolí je prášek stříkán na uzemněnou součást kde se elektrostaticky přichytává. Prášek na povrchu drží díky působení Coulombových sil až do doby vypálení v peci. Aby prášek držel na povrchu, musí se nabíjet, nabíjení probíhá dvěma základními způsoby. [1; 5; 6]

### 1.2.1 Elektrostatické nabíjení prášku

K nabíjení prášku dochází na konci aplikační pistole, kde jsou umístěny elektrody připojené ke generátoru vysokého napětí. Mezi koncem aplikační pistole a uzemněnou součástí vzniká elektrostatické napětí o velikosti do 100 kV. Elektrony vstupující do tohoto pole jsou urychlovány a dochází ke srážkám s molekulami vzduchu, po srážce dojde k rozbití molekuly na dva sekundární záporné ionty a jeden kladný iont. Tento proces se opakuje a prostor mezi pistolí a uzemněnou součástí je naplněn volnými elektrony a kladnými ionty. Prášek vycházející z aplikační pistole získá převážně záporný náboj a pohybuje se po siločárách, když se přiblíží k povrchu uzemněné součásti je přitažen a držen na povrchu Coulombovými silami do té doby, dokud není v peci vypálen, nebo po určité době přitažlivé síly vyprchají a prášek postupně opadá [5; 6; 7]. Schéma nabíjení a aplikace prášku viz obrázek 1.1.



Obrázek 1.1 Elektrostatické nabíjení - princip [8].

#### Výhody

- tloušťka naneseného prášku lze změnit nastavením velikosti přiváděného elektrického napětí,
- použití různých typů prášků a různých velikostí částic prášku,
- snadná a rychlá výměna barev díky jednoduché konstrukci aplikační pistole,
- rychlé nabíjení a usazování prášku díky silnému elektrostatickému poli.

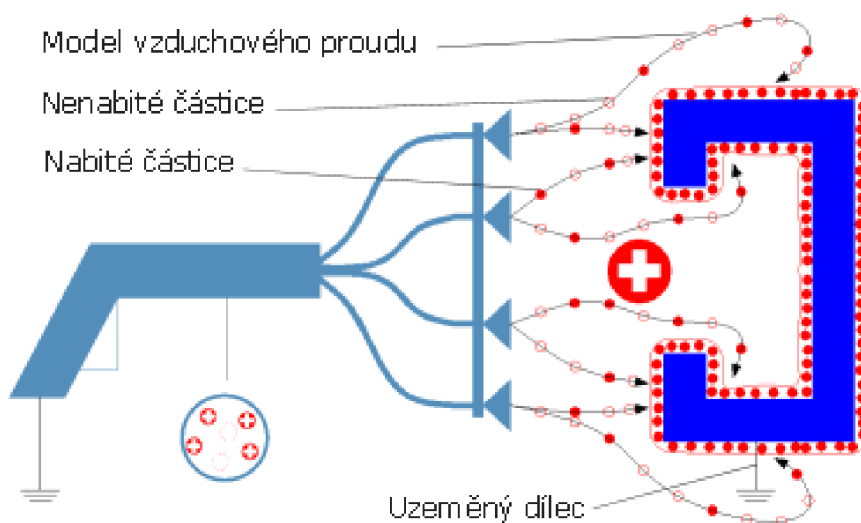
#### Nevýhody

- pořizovací cena,
- nutnost dokonalého uzemnění součásti,

- nepravidelná tloušťka vrstvy prášku, větší množství prášku se usazuje na hranách a méně v rozích a ohybech (Faradayův efekt), což je způsobeno silnými siločárami v silném elektrostatickém poli [9].

### 1.2.2 Elektrokinetické nabíjení prášku

K nabíjení prášku dochází ve výstupní trubici aplikační pistole. Materiál trubice musí dobře přijímat elektrony, proto se nejčastěji používá teflon. Prášek smíchaný se vzduchem prochází trubicí a dochází ke vzájemnému tření, částice prášku ztrácí elektrony a stávají se kladně nabitými částicemi. Aplikační pistole je uzemněná a záporný náboj je uzemněn. Kladně nabitě částice prášku se přichytávají na uzemněnou součást [5; 6; 7]. Schéma nabíjení a aplikace prášku viz obrázek 1.2.



Obrázek 1.2 Elektrokinetické nabíjení - princip [10].

#### Výhody

- rovnoměrná tloušťka prášku na součásti – nedochází k Faradayovu efektu, protože třením částic v trubici se nevytvoří tak silné elektrické pole jako u statiky,
- možnost nanášení tlustších vrstev, nebo více vrstev na sebe,
- vysoká produktivita a dobrá možnost automatizace.

#### Nevýhody

- malé částice je obtížné nabíjet (částice menší než 10  $\mu\text{m}$ ),
- náročnější změna barvy v porovnání se statikou,
- použití prášků, které jsou dobrými donory elektronů – efektivita nanášení,
- pomalé ukládání prášku – slabší elektrostatické pole.

---

## 1.3 Výroba, složení a vlastnosti prášku

### Výroba prášku

Všechny přísady jsou smíchány v tavenině, promíchaná tavenina se nechá vychladnout a ztuhnout. V tuhém stavu vstupuje do mlýnů, které tuhou směs drtí na požadovanou velikost prachových částic. Velikost jednotlivých částic je v řádu desítek mikrometrů. Částice menší než 10  $\mu\text{m}$  jsou příliš malé a obtížně se nabíjí a nedrží na povrchu součásti, u velkých částic, velikostně kolem 100  $\mu\text{m}$ , může dojít k odražení částice od povrchu součásti. [11]

### Vlastnosti prášku a práškových laků

Práškové laky jsou odolné proti korozi, otěru, poškrábání, chemikáliím, UV záření, rozpouštědlům a olejům, jsou pružné a tvárné. Tyto sledované a požadované vlastnosti mohou být u speciálních prášků doplněny o další fyzikální, nebo mechanické vlastnosti spojené s jejich použitím. Další sledovanou vlastností je výsledný vzhled, struktura a lesk práškového laku. Výsledné vlastnosti lakovaných povrchů závisí na vlastnostech použitého práškového laku, ale i na předúpravě povrchu, skladování prášku a vypalováním v pecích.

### Složky prášku

- **pojivo**, pryskyřice je jako pojivo základem práškových laků. Pojivo ovlivňuje výsledné materiálové vlastnosti – odolnost proti chemikáliím a rozpouštědlům, tvrdost, pružnost a trvanlivost. Každý typ pryskyřice má jiné vlastnosti pro různé použití a kvalitu výsledného laku,
- **tvrdidlo**, způsobuje síťování pryskyřice při vytvrzovacích teplotách v peci a ovlivňuje tečení práškového laku. Povrchové vlastnosti a textura povrchu se odvíjí od stupně síťování. Využívanými tvrdidly jsou anhydridy, amidy a blokové izokyanáty,
- **pigment**, dodává laku barvu a dekorativní vzhled. Pigmenty musí být odolné proti UV záření a teplu. Světelné paprsky dopadající na pigmenty se lámou a vytváří tak výsledný barevný vjem. Využívanými pigmenty jsou bronz, hliník, oxid titaničitý, ftalokyanáty a saze [12],
- **aditiva**, pomocí aditiv je možné měnit fyzikální vlastnosti, elektrostatickou přitažlivost, teplotu vytvrzování, tečení směsi, tvrdost, strukturu či lesk. Prášku přidávají odolnost proti UV záření. Aditivy mohou být antibakteriální látky (stříbro), nebo metalické látky, které propůjčují výslednému laku svůj charakteristický kovový vzhled.

## 1.4 Druhy prášků

### 1.4.1 Termosetické prášky

Tyto prášky mají dobrou chemickou odolnost, pevnost a tepelnou odolnost – je-li prášek jednou vypálen, tak po opětovném zahřátí se nevrací do stavu taveniny

---

a zůstává tuhý. Mají velmi široké využití (domácnost, automobilní či stavební průmysl). Epoxidové, polyesterové a akrylátové pryskyřice jsou základní používané pryskyřice, které se mohou podle požadovaných vlastností a s cílem zlepšení vlastností kombinovat.

### **Akrylátové prášky**

Vyznačují se vysokou chemickou odolností, dlouhou životností a vysokým leskem. Jsou také odolné proti vnějším vlivům a UV záření a mají dokonalý rozliv filmu na povrchu. Akrylátové prášky nelze kombinovat s jinými druhy prášků v lakovnách, proto musí být speciální lakovny pouze pro akrylátové laky. Prášky nelze skladovat za normálních podmínek (vysoká reaktivita). Uplatnění nachází ve speciálních aplikacích interiéru i exteriéru, např. v automobilovém průmyslu. [13]

### **Epoxidové prášky**

Dobrá odolnost proti korozi, chemikáliím a rozpouštědlům. Pojivem je pevná epoxidová pryskyřice, která povlaku přidává tvrdost. Špatná odolnost proti UV záření, pokud je povlak dlouhodobě vystaven UV záření, drolí se. Při působení vyšších teplot dochází ke změnám odstínu laku. Epoxidové prášky mají široký rozsah vytvrzovacích podmínek, možnost vytvrzování při nízkých teplotách. Použití hlavně v interiérech – elektrické rozvaděče, nábytek, hračky, regály, chemická a lékařská zařízení, nebo jako podkladová vrstva pro zařízení požadující vysokou chemickou odolnost. [1; 13; 14]

### **Polyesterové prášky**

Pojivem je polyesterová pryskyřice s dobrou odolností proti venkovním vlivům. Prášky jsou také odolné proti UV záření a korozi a mají dobré vlastnosti i při přepečení. Mají menší teplotní a chemickou stabilitu. [1; 13; 14]

### **Epoxipolyesterové prášky**

Jedná se o hybridní směs epoxidové a nasycené polyesterové pryskyřice. Jsou to dnes nejvíce používané práškové laky. Tvrdý a ohebný povlak s dobrými povrchovými vlastnostmi. Použití převážně v interiérech na bílou techniku a další elektrospotřebiče, nábytek, vnitřní vybavení automobilů, regály. Předměty s tímto povlakem lze krátkodobě používat i venku. [1; 13; 14]

### **Polyuretanové prášky**

Základem je směs pojiv hydroxylované polyesterové pryskyřice a blokovaného cykloalifatického azykyanátu. Povlak je tvrdý, ohebný s vysokou odolností proti povětrnostním vlivům, UV záření, chemikáliím a korozi. Pojme kompletní škálu lesku. Jeho nevýhodou je vysoká cena, snížená teplotní stabilita a emise těkavých látek do ovzduší. Použití na zemědělské stroje, ráfky kol, jízdní kola, kempingové potřeby a obecně předměty a zařízení používané venku. [1; 13]

### 1.4.2 Termoplastické prášky

Jsou odolné proti chemikáliím, pružné a pevné. Mají nižší přilnavost než termosety, doporučuje se po tryskání nanést základní nátěr a poté až nanést práškový lak. Nanáší se převážně pomocí fluidní lázně, tloušťky nátěru bývají větší. Mají vysokou teplotu tavení a při zahřívání povlaku znovu tečou a taví se, ale po opětovném ztuhnutí mají stále stejné vlastnosti. Využití oproti termosetům je nižší.

### 1.5 Vytvrzování prášku

Jedná se o závěrečný proces aplikace práškových laků. Průběh procesu ovlivňuje vlastnosti výsledného povlaku, zejména mechanické vlastnosti, vzhled, odolnost proti korozi a chemikáliím. Vytvrzování se provádí pouze u termosetických prášků. U vytvrzování dochází k polymeraci pryskyřic, která probíhá za určité teploty odpovídající dobu, která je potřebná k provedení polymerace v celém objemu povlakované vrstvy. Teplotní rozmezí je cca 150-210 °C, při vyšších teplotách může dojít ke změně odstínu práškového laku, nebo k rozpadu vrstvy práškového laku. Každý typ práškového laku má v technickém listě uvedené teploty a odpovídající doby vytvrzování. Tuhnutím práškového laku vrstva získává své charakteristické a požadované vlastnosti. Výsledný povlak je nerozpustný v rozpouštědlech a netavitelný. [15]

Vytvrzovací pece je možné rozdělit dvěma způsoby – podle způsobu vytvrzování a podle způsobu uspořádání.

#### 1.5.1 Rozdělení podle způsobu vytvrzování

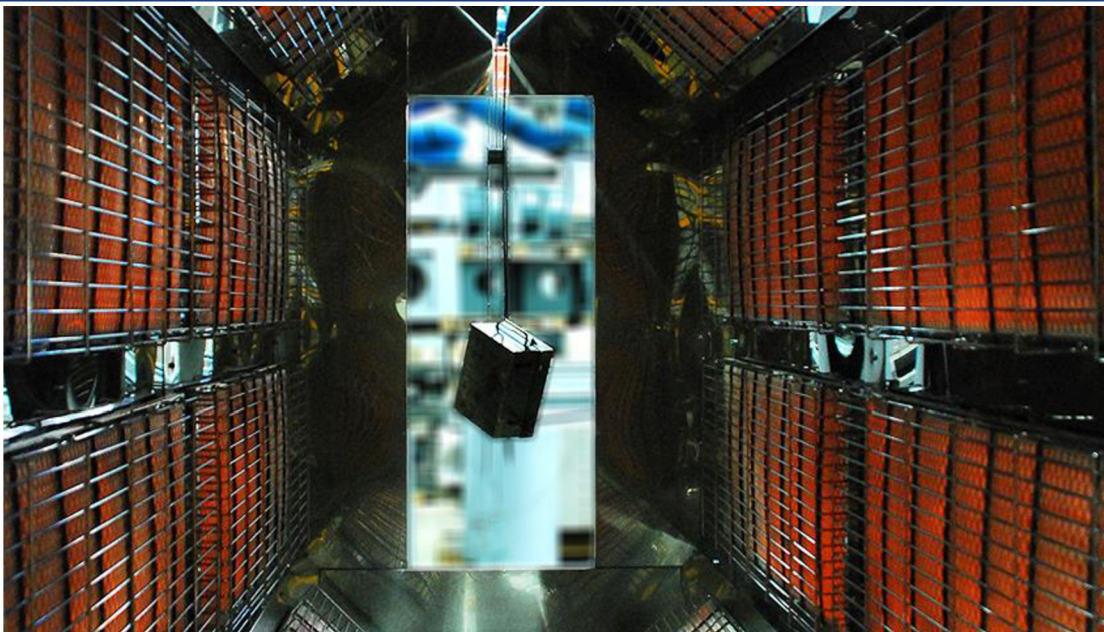
##### Horkovzdušné pece

Horkovzdušné pece jsou nejrozšířenějším typem vytvrzovacích pecí, k ohřevu vzduchu v peci se používá plynové, nebo elektrické vytápění. Přenos tepla na lakovanou součást probíhá cirkulací ohřátého vzduchu o požadované teplotě. Nejprve dochází k prohřátí součásti a následně dochází k přenosu tepla na prášek a jeho tavení. Jedná se o univerzální způsob a v horkovzdušných pecích je možné vytvrzovat všechny typy práškových laků a tvarů kovových součástí. [15]

##### IR pece

Tyto pece využívají infračervených paprsků (*Infra Red – IR*) k vytvrzování práškového laku. Nedochozí k ohřevu vzduchu, ale infračervené paprsky zahřívají přímo nanesený prášek, a ne lakovanou součást. Díky tomu můžeme v infračervených pecích vytvrzovat i materiály, které jsou méně teplotně odolné. Tento způsob je rychlejší a účinnější, ale je možné vytvrzovat jen plošné, nebo rotační součásti, protože infračervené paprsky ohřívají prášek jen v místě dopadu [15]. Vnitřní prostor infračervené pece viz obr. 1.3.

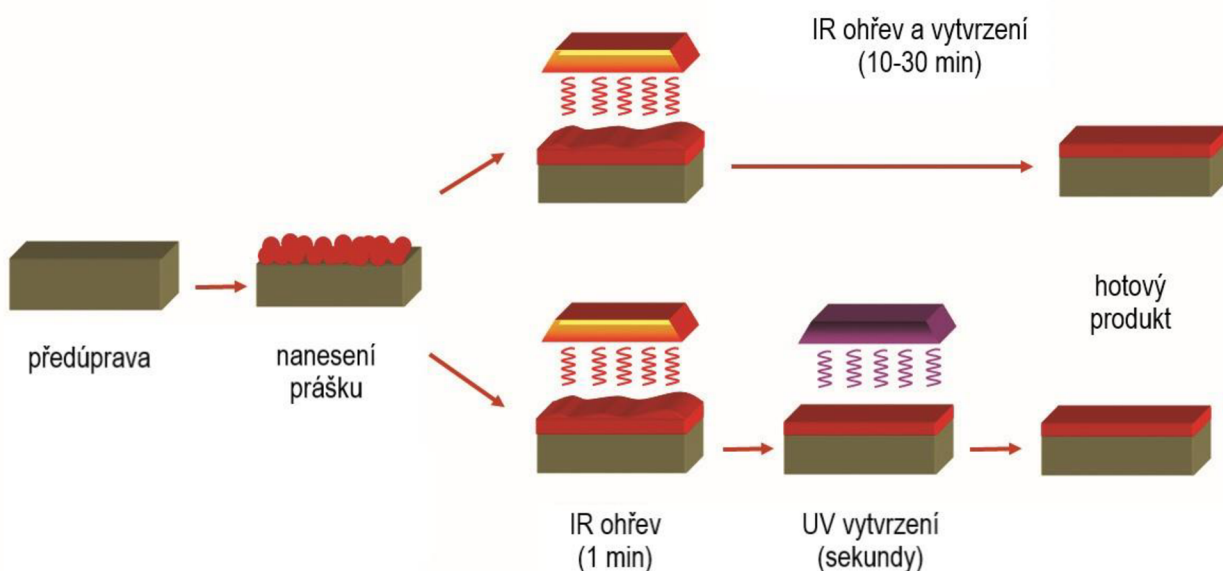




Obrázek 1.3 IR pec [16].

### UV pece

Pro tento způsob vytvrzování se používají speciální směsi prášků. Nejprve dochází k infračervenému ohřevu a poté v rozmezí několika sekund je součást vystavena UV (*Ultra-violet, tzn. ultrafialového*) záření, které způsobí rychlé vytvrzení roztaveného práškového laku (viz obr. 1.4). Vytvrzování pomocí UV záření je rychlé a probíhá za nižších teplot, je tedy možné použít materiály, které jsou málo teplotně odolné [17].



Obrázek 1.4 Princip vytvrzování pomocí UV záření – podle [18].

## 1.5.2 Rozdělení podle způsobu uspořádání

### Komorové pece

Komorové pece se konstruují jako vratné, nebo průchozí. Vratné pece mají jedny dveře, kterými se lakované součásti dostávají do pece a následně z pece ven. Průchozí pece mají dvoje dveře, jedny jako vstup a druhé jako výstup, což usnadňuje manipulaci s lakovanými součástmi. Tyto pece zabírají rozměrově méně místa, mají dobrou teplotní setrvačnost a menší tepelné ztráty. Zavážení lakovaných součástí je realizováno buď zaváděcími lištami, nebo drážkou pro závěs. Příklad komorové vratné pece viz obr. 1.5.



Obrázek 1.5 Komorová pec vratná [19].

### Průběžné pece

Průběžné pece disponují vestavěným nekonečným dopravníkem a jsou konstruované jako přímočaré, nebo vratné. Přímočaré pece mají dva otvory, vratné pece mají jeden otvor a dopravník má uvnitř jeden nebo více ohybů. Otvory u průběžných pecí musí být cloněny z důvodu omezení tepelných ztrát. Přímočaré průběžné pece jsou rozměrově náročné a dochází u nich k větším tepelným ztrátám, protože je nutné clonit vstupní i výstupní otvor. Průběžná pec se dvěma otvory a nekonečným dopravníkem je na obr. 1.6.



Obrázek 1.6 Průběžná pec [20].

## 1.6 Kontrola vytvrzení povlaku

Kontrolovat správné vytvrzení povlaku je nezbytná část technologického postupu výroby. Kontroluje se přilnavost, nerozpustnost a deformace povlaku úderem. Normy předepisují, jak má kontrola povlaků probíhat, jakých výsledků je možné dosáhnout a jak správně určit výsledek zkoušky povlaku.

Nejčastějším způsobem kontroly přilnavosti povlaku je Mřížková zkouška podle normy ČSN EN ISO 2409, která je vhodná jak pro laboratorní, tak i provozní použití. Povlak je proříznut pravoúhlou mřížkou až k podkladovému materiálu a výsledkem zkoušky je buď vyhovuje/nehovuje, nebo je možné výsledek rozdělit na šestistupňovou klasifikační zkoušku, podle intenzity odlupování povlaku. Povlak se odlupuje v důsledku špatného vytvrzení, nebo k odlupování dochází, protože byl špatně upraven podkladový materiál před samotným nanášením nátěru. Zkouška není určena pro testování přilnavosti nátěrů, které mají tloušťku vyšší než 250  $\mu\text{m}$ , nebo se jedná o nátěry se strukturálním efektem (texturou). [21]

Jiným typem zkoušky je zkouška odolnosti povlaku proti úderu. Norma ČSN EN ISO 6272-1 popisuje hodnocení odolnosti proti odlupování a praskání povlaku od materiálu, pokud na povlak spadne kulové závaží o průměru 20 mm a toto závaží dopadne za standardních podmínek. Norma ČSN EN ISO 6272-2 popisuje deformaci povlaku dopadem kulového úderníku o průměru 12,7 mm, nebo 15,9 mm a následné vyhodnocení deformace povlaku. [22; 23]

Snadnou a rychlou zkouškou povlaku je zkouška rozpouštědlem. Dostatečnost vytvrzení povlaku se zkouší použitím methylethylketonu (MEK), nebo ředidla 6000, které je snadněji dostupné. Hadrem, nebo vatovou tyčinkou, namočeným v ředidle se několikrát lehce potře povrch povlaku. Sleduje se narušení povlaku, zbarvení hadru (tyčinky), případné porušení povlaku, což vede k tomu, že je povlak špatně vytvrzený.

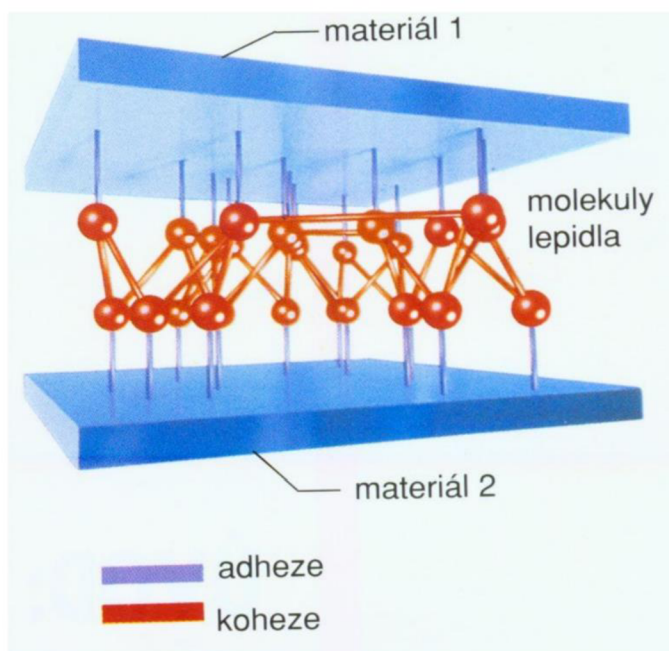
---

U správně vytvrzeného povlaku dojde k zmazování povrchu povlaku v místě potření ředidlem.

Další možné kontroly povlaků jsou kontrola tloušťky povlaku dle normy ČSN EN ISO 2360, která je nedestruktivní. Měří se tloušťka nevodivého povlaku na nemagnetickém, elektricky vodivém podkladu. Měřidla pracují na principu měření vířivých proudů využívajících změnu amplitudy. Nedestruktivní zkouškou je také zkouška lesku dle normy ČSN ISO 2813, u které dochází k měření zrcadlového lesku využitím reflexní geometrie při úhlech 20°, 60° a 85°. [24]

## 2 LEPENÍ

Lepením se vytváří nerozebíratelný spoj dvou různých ploch za použití lepidla. Lepidlo má dobrou přilnavost (adheze) k oběma plochám a zároveň dostatečnou vnitřní pevnost (koheze), aby zajistilo pevný spoj mezi materiály. Pevnost spoje závisí na mnoha aspektech, např. na jakosti povrchů a jejich úpravě před lepením, smáčivosti povrchu lepidlem, tloušťce naneseného lepidla, pevnosti lepených materiálů, kohezi lepidla a adhezi mezi lepidlem a lepeným povrchem. Lepený spoj by měl mít jednoduchou konstrukci, bez velkých a složitých zakřivení na součástech. Pro kvalitu spoje je klíčová správná volba lepených materiálů, lepidla a dodržení technologického postupu lepení. Struktura lepeného spoje je zobrazena na obr. 2.1. [25; 26]



Obrázek 2.1 Struktura lepeného spoje [27].

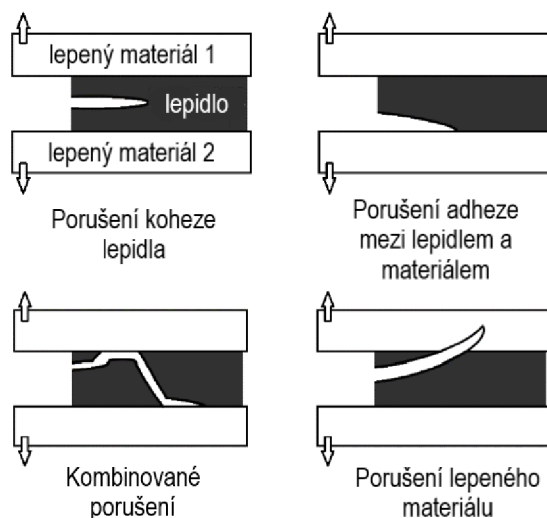
### Adheze

Jedná se o přilnavost na rozhraní lepeného materiálu a lepidla. Na rozhraní dochází k interakcím mezi zmíněnými členy. Mezi lepeným povrchem a lepidlem vznikají mechanické a chemické vazby. Mechanické vazby se utváří u pórovitých a členitých povrchů. Chemické vazby mají podobu van der Waalsových sil. Tyto mezimolekulární síly jsou malé, pokud se lepidlo nedostane do těsného kontaktu s povrchem lepeného materiálu, proto je nutné zajistit, aby lepidlo proniklo do nerovností povrchu a dokonale smáčelo povrch lepeného materiálu. [25; 26]

### Koheze

Vnitřní pevnost (soudržnost) nebo-li koheze lepidla se skládá z van der Waalsových sil a ze sil vzájemně působících mezi propletenými molekulami lepidla. Velikost kohezních sil závisí na charakteru lepidla a tepelném namáhání lepeného spoje, ale vnitřní pevnost by měla být vyšší než pevnost lepeného materiálu a adheze

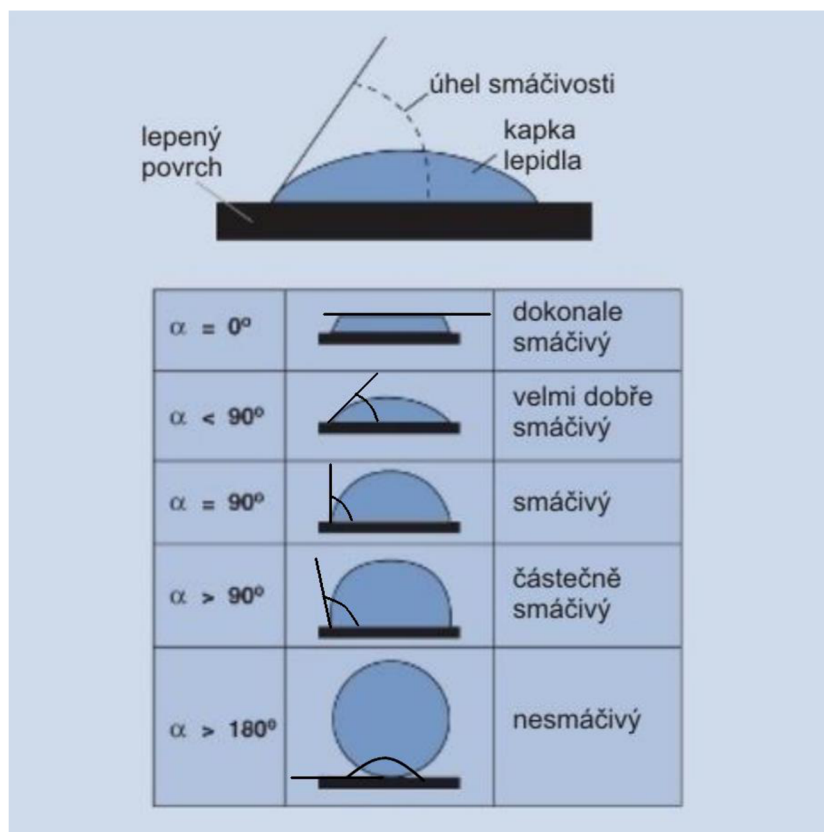
na rozhraní. Od velikostí adheze, koheze a pevnosti lepených materiálů se odvíjí případné druhy porušení lepeného spoje (obr. 2.2). [25; 26]



Obrázek 2.2 Druhy porušení lepeného spoje – podle [28].

### Smáčivost

Smáčivost se odvíjí od povrchové energie látek na rozhraní kapky lepidla a lepeného povrchu. Povrchová energie látky je vyjádřena jako povrchové napětí s jednotkou  $[mN \cdot m]$ . Kapalina musí mít nižší povrchové napětí než povrch tuhé látky, aby došlo k dokonalému rozliti kapaliny po povrchu. Míra smáčivosti povrchu kapkou kapaliny se může rozdělit na pět stupňů závislých na úhlu smáčivosti zobrazených na obr. 2.2. [25; 26]



Obrázek 2.3 Smáčivost povrchu vyjádřená úhlem smáčivosti – podle [29].

**Výhody lepení oproti svařování a nýtování [25]:**

- kontinuální a rovnoměrné přenášení napětí,
- nezpůsobuje zeslabení lepených materiálů v místě spoje, není narušena celistvost lepených materiálů,
- možnost lepení rozdílných materiálů bez ohledu na jejich tloušťku,
- nedochází k tepelnému ovlivnění lepených materiálů,
- tlumení chvění a rezonance konstrukce,
- užití ve velkém rozměrovém intervalu,
- nezpůsobuje rekrytalizaci a nevyvolává podmínky koroze,
- výsledná hmotnost lepené konstrukce je nižší při stejných rozměrech.

**Nevýhody lepení [25]:**

- vytvoření nerozebíratelného spoje,
- lepené spoje nejsou uzpůsobeny pro další možnosti úpravy,
- vyžaduje náročné povrchové úpravy před lepením,
- vyžaduje přesné dodržování postupu lepení, zvláště u dvousložkových lepidel, nebo lepidel se složitým systémem vytvrzování,
- zpravidla krátký čas na manipulaci a dokončení lepeného spoje před vytvrzením lepidla,
- omezené možnosti kontroly kvality spoje,
- jednoduché spoje jsou citlivé na nárazy a vysoké teploty.

## 2.1 Typy lepidel

**Termoreaktivní lepidla**

Termoreaktivní lepidla jsou vytvrzována za současného působení teploty a tlaku po určitý čas. Při pracovní teplotě (obvykle v rozmezí 100-200 °C) a předepsanému tlakovému zatížení dochází k chemické reakci mezi zahřátým lepidlem a lepeným povrchem, tyto podmínky musí být dodrženy po daný čas, aby došlo ke správnému vytvrzení lepidla a spoj držel. Nedodržením předepsaných postupů dochází k vytvoření lepeného spoje, který nemá požadované parametry a nemusí vydržet pracovní zatížení. Lepidla se nanáší ve formě kapaliny ponorem, ručně, nebo postříkem a poté lepidlo zaschne a k jeho aktivaci dojde až vystavením pracovní teplotě a následnému stlačení. Těmito lepidly se často lepí kovy s elastomery. [30]

**Disperzní lepidla**

Disperze je směs vody s polymerem, který je ve vodě rozptýlen v podobě velmi malých částic (0,1-1 μm), nikoliv rozpuštěn. Povrchově aktivní látky, tenzidy (saponáty) a ochranné koloidy (polyvinylalkohol), udržují disperzi v rozptýleném stavu a zabraňují usazování částic polymeru. Kapalina má obvykle mléčně bílou barvu, což je způsobeno malými částicemi, které rozptylují dopadající světlo. Disperze v kapalném stavu je ředitelná vodou, ale po odpaření vody a vzniku lepidového filmu, nelze již film rozpustit vodou.

Lepivý film mezi lepenými materiály vznikne schnutím disperze. Tento jev se nazývá koalescence. Vysycháním disperze ubývá voda v ní obsažená, částice polymeru se k sobě přiblíží a vlivem kapilárních sil se k sobě tlačí až dojde k vzájemnému prolnutí. Výsledkem je lepivý souvislý film polymeru, který je nerozpustný ve vodě. Ke koalescenci dochází při určité teplotě sušení, která je nad tzv. minimální filmotvornou teplotou. Při nižších teplotách nedojde ke spojení částic v souvislý film a vzniklá vrstva suchého polymeru je drobná. Minimální filmotvornou teplotu lze snížit přidáním změkčovadla – běžně se používá zdraví neškodný diisobutylftalát (DIBF). [25; 31]

### **Rozpouštědlová lepidla**

Do směsi organických rozpouštědel jsou přidány a rozpuštěny kaučuk a pryskyřice. Vytváří hustou kapalinu, která má vyšší viskozitu než disperzní lepidla při stejném množství sušiny (pevné částice v kapalině). Rozpouštědlová lepidla nemají minimální filmotvornou teplotu a nedochází u nich ke koalescenci. Po vypaření rozpouštědla zůstává na povrchu lepeného materiálu film polymeru, který díky adhezním vlastnostem působí jako lepidlo.

Rozpouštědlová lepidla se používají i jako kontaktní lepidla. Kontaktní lepidlo je nanášeno na oba lepené materiály, nechá se částečně zaschnout, kdy lepidlo působí na dotyk nelepivým dojmem. Po přitisknutí nalepených ploch k sobě (vznikne rozhraní lepidlo-lepidlo) dochází k prolnutí částečně zaschlého lepidla mezi sebou a dojde k vytvoření lepeného spoje. Výhodou kontaktních lepidel je počáteční lepivost, kdy lepidlo drží ihned po spojení ploch, což je výhodné, pokud je lepený spoj konstruován na svislé ploše. [31]

### **Kyanoakrylátová lepidla**

Kyanoakrylátová lepidla jsou typická rychlým vytvrzením po stlačení lepených ploch k sobě, proto se jim také říká vteřinová lepidla. Ethylkyanoakryláty ochotně reagují s vodou. Při reakci s vodou (vzdušnou vlhkostí) vznikají reaktivní místa na koncích řetězců molekul. Tyto reaktivní místa se navzájem propojují do husté sítě molekul, což se projevuje houstnutím lepidla až do jeho vytvrzení. U kapky kyanoakrylátu k této reakci dochází postupně a pozvolně, ale pokud je lepidlo rozprostřeno do velmi tenkého filmu, dojde k rychlé reakci vlhkosti s lepidlem a vytvrzení lepidla je velmi rychlé. Pomalé vytvrzení je tedy způsobeno buď nadměrnou tloušťkou lepidla, nebo odeřením přístupu vzdušné vlhkosti do místa lepeného spoje. Ideálních výsledků lepení je dosahováno při pokojové teplotě a relativní vlhkosti vzduchu mezi 40-60 %. Kyanoakrylátová lepidla se vyznačují vysokou pevností ve stříhu a tahu, odolností proti stárnutí a možností lepit téměř všechny materiály. Lepidla musí být skladována v suchém prostředí bez přístupu vzdušné vlhkosti k lepidlu, aby se zabránilo jejich tuhnutí. [25; 31]

### **Polyuretanová lepidla**

Polyuretanová lepidla se vyrábí jako dvousložková, nebo jako jednosložková. Dvousložková polyuretanová lepidla jsou založena na chemické reakci mezi vícesytnými alkoholy (polyoly) a vícefunkčními isokyanáty. Dochází k rychlé chemické reakci a vytvrzení lepidla v hustou polymerní síť, která drží lepený spoj pohromadě.



Jednosložková polyuretanová lepidla jsou vyrobena reakcí polyolu s nadbytkem isokyanátu, takže v pryskyřici zůstanou nezreagované isokyanátové skupiny, které stejně jako kyanoakryláty dobře reagují s vodou. Při reakci lepidla se vzdušnou vlhkostí dochází k rozpadu isokyanátových skupin a k vytvrzení lepidla. Jednosložková polyuretanová lepidla se musí stejně jako kyanoakryláty skladovat v suchém prostředí bez přístupu vzdušné vlhkosti k lepidlu. [31]

### **Tavná lepidla**

Tavná lepidla jsou před lepením v tuhém stavu. Do kapalného stavu se lepidlo dostane před lepením, kdy se ohřeje na pracovní teplotu a roztaví se. Ohřev a tavení lepidla se provádí v tavné komoře, odkud se vyhřívanou hadicí dopravuje roztavené lepidlo do aplikační pistole nebo do automatické nanášecí hlavy. Používají se také pneumatické pistole s tavnou komorou přímo v aplikační pistolí. Spojením lepených ploch a vychladnutím roztaveného lepidla dojde k vytvoření lepeného spoje. Tavná lepidla jsou vyráběna na bázi polyamidů (PA), polyuretanů (PU), ethylenvinylacetátového kopolymeru (EVA), reaktivních polyolefinů (RPO) a amorfního alfa polyolefinu (APAO). [31]

### **Anaerobně vytvrzovaná lepidla**

Tyto lepidla jsou vytvrzována anaerobní reakcí. Lepidlo v kapalném stavu netuhne díky přítomnosti vzdušného kyslíku. Spojením lepených ploch k sobě dojde k zamezení přístupu kyslíku k lepidlu a dojde k rychlému vytvrzení a vytvoření polymerních řetězců. Vytvrzování je podpořeno při lepení aktivních kovů, které působí jako katalyzátor. Na druhou stranu při lepení pasivních materiálů se k rychlému a úplnému vytvrzení využívají aktivátory. Anaerobně vytvrzovaná lepidla mají vysokou pevnost ve stříhu, odolnost proti teplotám a dobrou odolnost při dynamickém zatížení. [25]

### **Lepidla vytvrzovaná UV zářením**

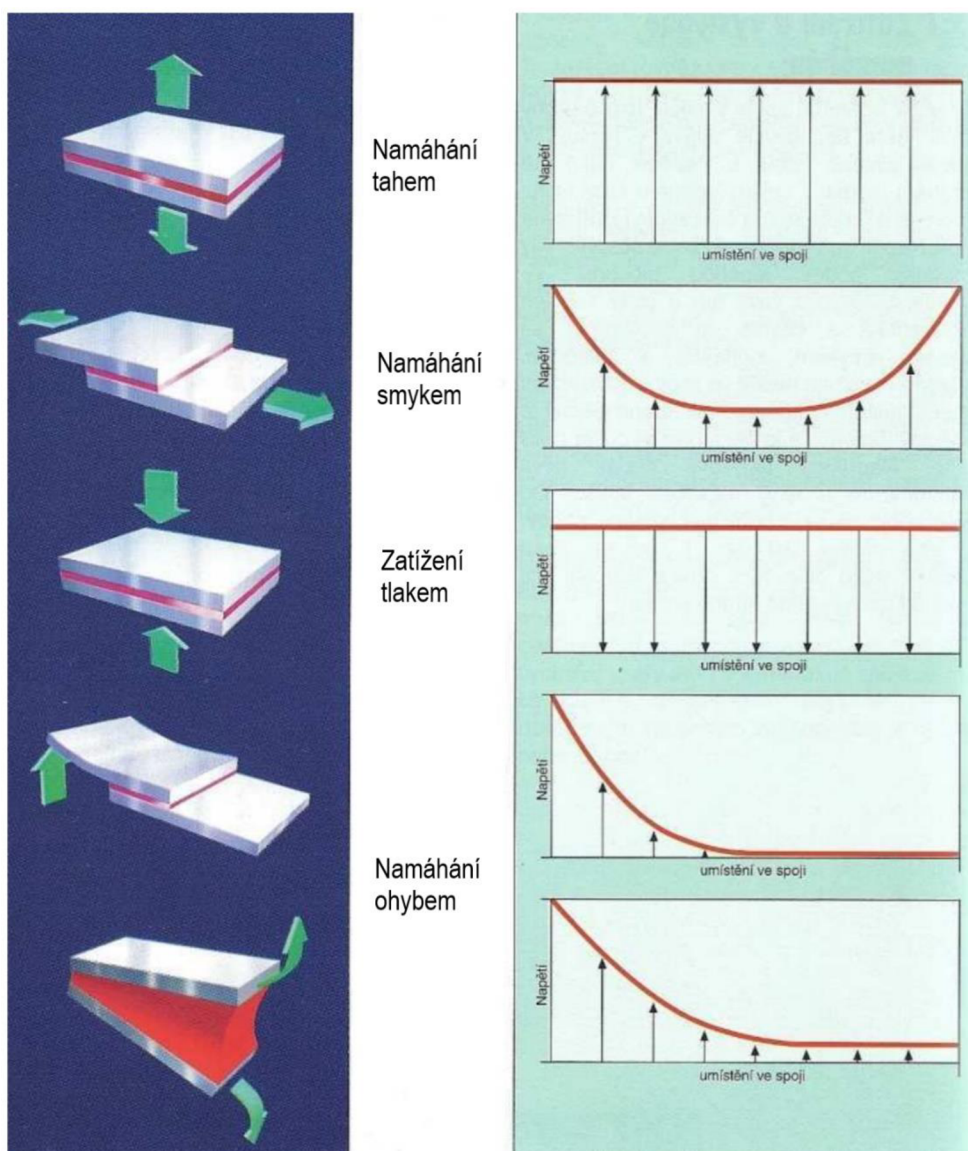
Lepidlo je nanášeno v kapalném stavu na lepený povrch, monomery a fotoaktivátory v lepidle nereagují dokud nejsou vystaveny UV záření. Fotoaktivátory se změni na volné radikály, které umožňují růst a zesílení polymerních řetězců a dojde tak k vytvrzení lepidla. Tato lepidla se musí chránit před UV zářením během skladování, aby nedocházelo k jejich vytvrzení. Rozlišuje se u nich hloubkové a povrchové vytvrzení. Lepidla vytvrzovaná UV zářením se vyznačují vysokou pevností, rychlým vytvrzením na manipulační pevnost a jsou schopny překlenout velké spáry.

Hloubkové vytvrzení je prováděno pomocí vlnové délky 300-400  $\mu\text{m}$ . Dosažitelná hloubka vytvrzení je až 6 mm.

Povrchové vytvrzení je prováděno pomocí vlnové délky pod 300 nm. Dochází k zabránění reakci lepidla s kyslíkem, která není žádoucí. Vytvrzená hmota je vhodná např. jako těsnění. [25]




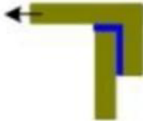


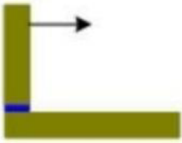
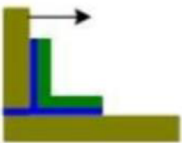

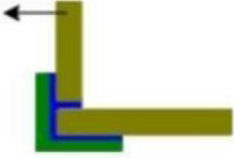


## 2.2 Konstrukce a namáhání lepených spojů

Konstrukce lepeného spoje by měla být navržena tak, aby napětí ve spoji bylo rozloženo co nejvíce rovnoměrně. Části konstrukce musí být vhodné k lepení a co nejméně složité, části s velkým a složitým zakřivením jsou pro lepení příliš komplikované. Lepené konstrukce namáhané ohybem jsou nevhodné, což vyplývá z obr. 2.4, kde jsou zobrazeny průběhy mechanického namáhání spoje. Z průběhů mechanického namáhání taktéž vyplývá, že je snaha navrhovat lepené spoje namáhané tahem, tlakem, nebo smykem, kde je dosaženo rovnoměrnějšího namáhání ve spoji oproti namáhání ohybem. [26]



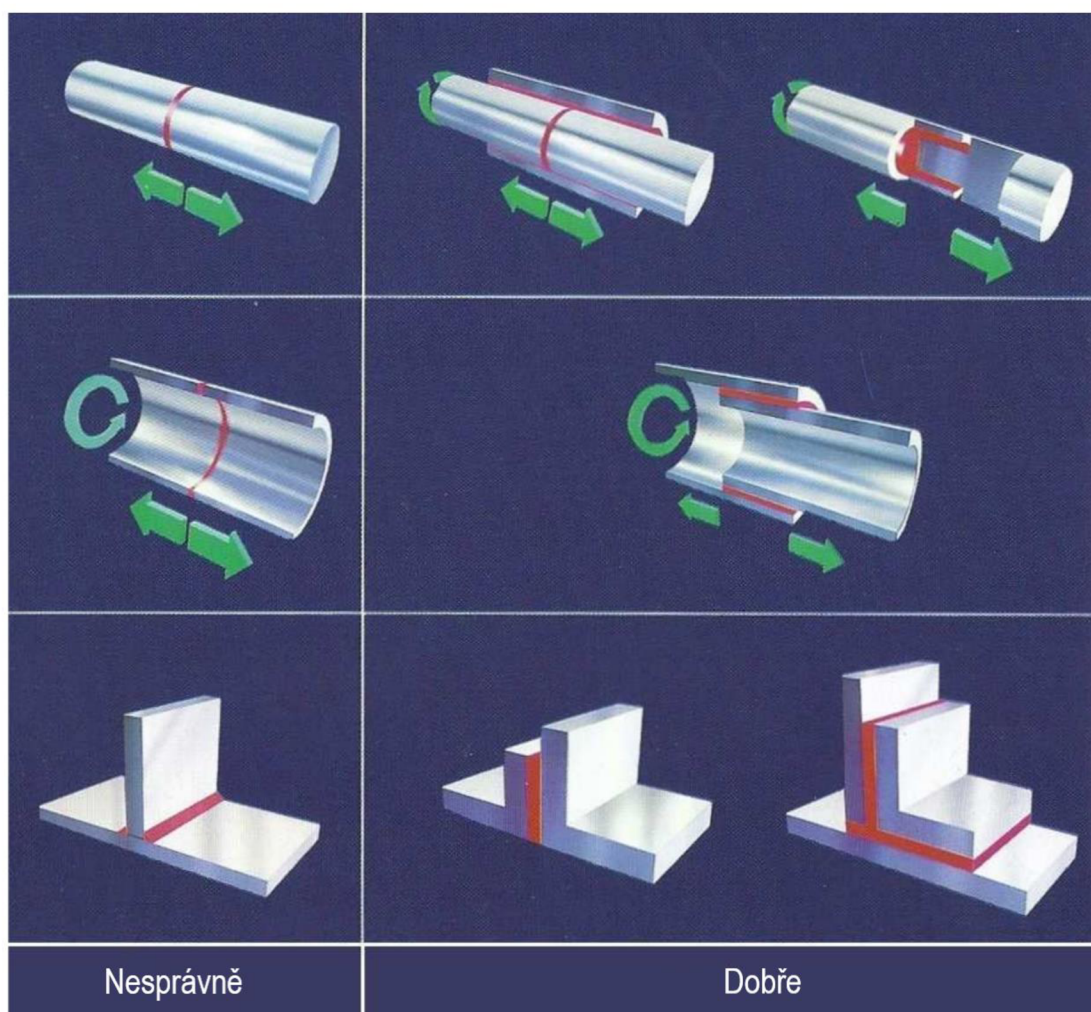
Obrázek 2.4 Průběh mechanického namáhání lepeného spoje – podle [32].

Konstrukci spoje namáhaného na ohyb je možné různými způsoby modifikovat, aby bylo dosaženo namáhání spoje rovnoměrnějším způsobem. Způsoby úpravy konstrukce, které vedou ke změně druhu namáhání, jsou znázorněny na obr. 2.5.

Návrh lepeného spoje	
Nesprávně	Dobře
	
	
	
	
	
	

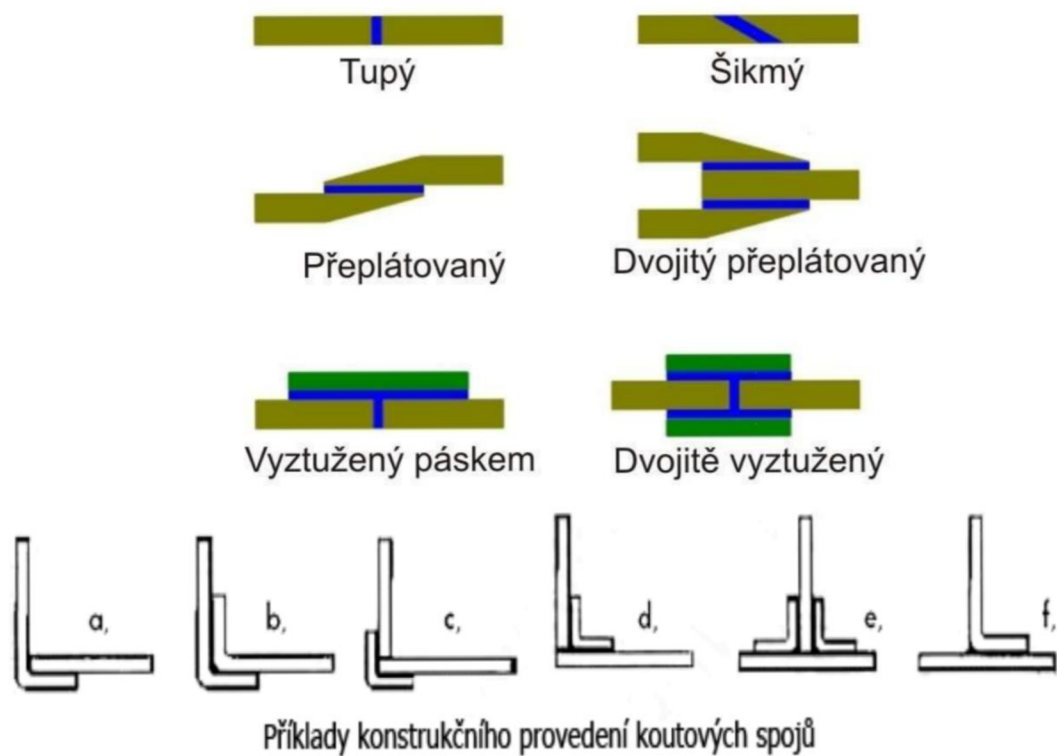
Obrázek 2.5 Změna konstrukce lepeného spoje – podle [33].

Pevnost lepeného spoje je možné zvýšit zvětšením velikosti lepené plochy. Větší lepená plocha dodává spoji vyšší tuhost což se projevuje i vyšší pevností spoje. Malá lepená plocha naopak má nižší tuhost a často v ní vzniká velké namáhání ohybem. Příklady, jak zlepšit pevnost lepeného spoje zvětšením jeho lepené plochy jsou znázorněny na obr. 2.6.



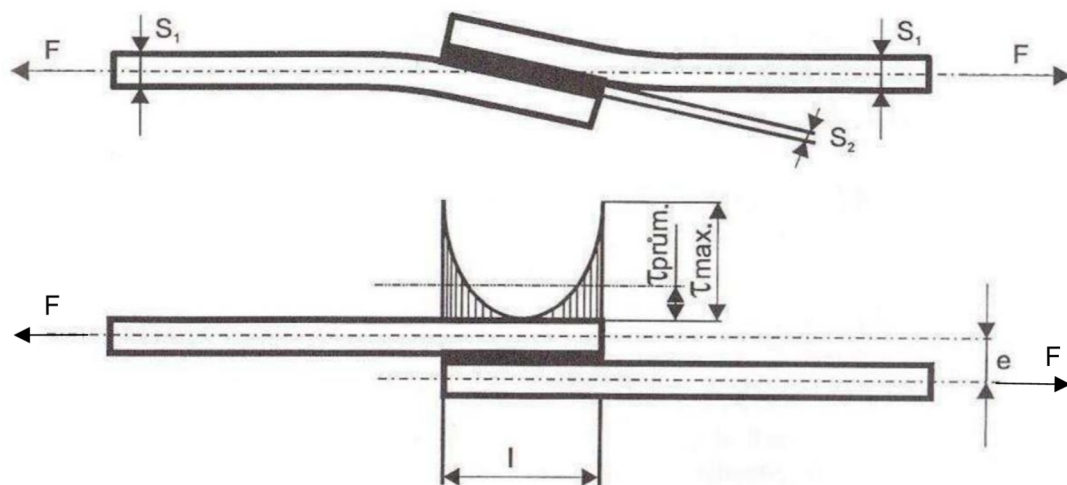
Obrázek 2.6 Zvětšení lepené plochy spoje pro zvýšení tuhosti spoje – podle [32].

Nejběžnějším typem lepeného spoje je spoj jednostranně přeplátovaný, ale existuje více typů lepených spojů (obr. 2.7). Jednostranně přeplátovaný lepený spoj nemá rovnoměrný průběh napětí ve spoji při jeho namáhání. Tahové napětí se koncentruje hlavně na obou koncích přeplátování, což způsobuje namáhání obou konců ohybem. Zvyšováním zatížení spoje dochází k nárůstu napětí v obou koncích přeplátování až do kritické hodnoty, kdy se spoj začne od konců směrem ke středu spáry porušovat. Excentrické namáhání spoje, kdy síly namáhající spoj nejsou v ose, vzniká tak namáhání ohybem, má také vliv na deformaci spoje (obr. 2.8). Tento vliv excentrického namáhání lze vhodnou úpravou konstrukce lepeného spoje eliminovat (obr. 2.9). [26]

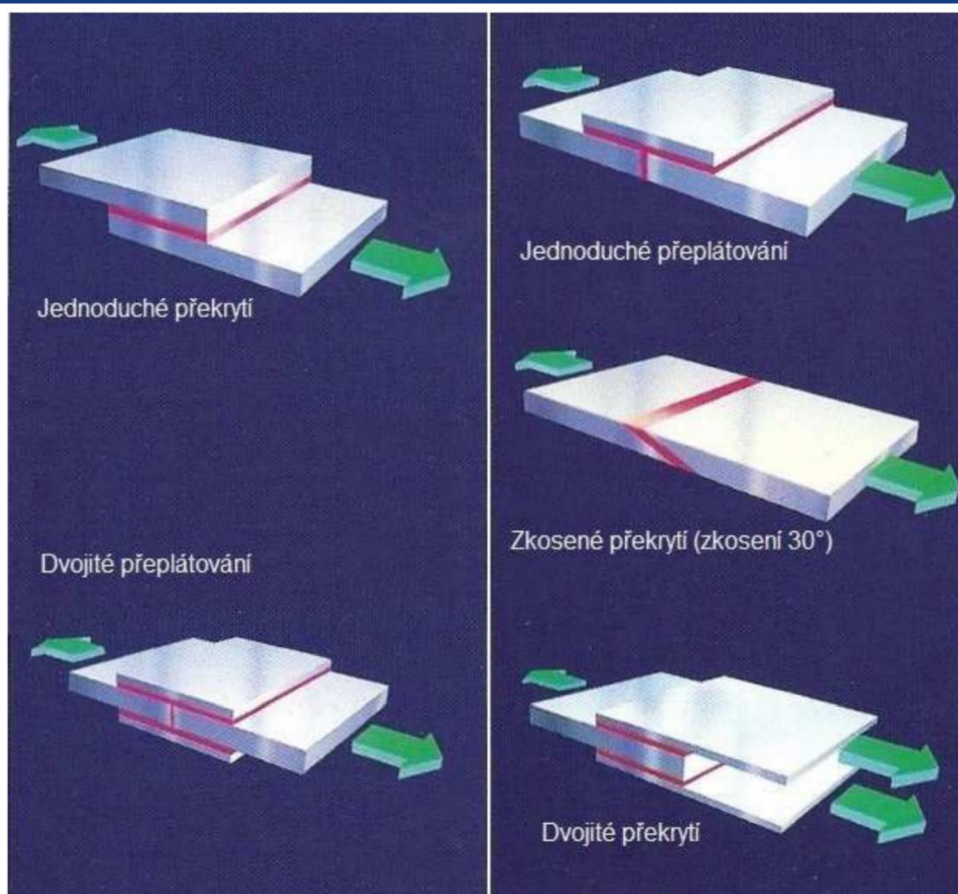


Příklady konstrukčního provedení koutových spojů

Obrázek 2.7 Příklady lepených spojů [34].



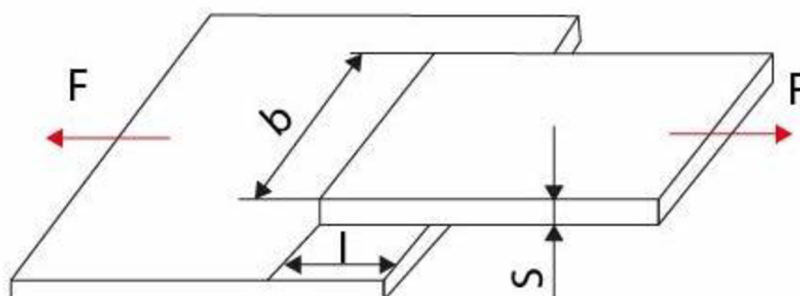
Obrázek 2.8 Namáhání spoje excentrickými silami [31].



Obrázek 2.9 Modifikace konstrukce přeplátovaného spoje a eliminace excentrického namáhání [32].

### Výpočet pevnosti lepeného spoje

Stejně jako u jiných technologií spojovaných konstrukcí, lze u technologie lepení vypočítat pevnost spoje. Podle vzorce (2.2) je vypočítáno maximální teoretické silové zatížení lepeného spoje namáhaného smykem. Výpočet vychází z pevnostní rovnice pro smyk (2.1). [35]



Obrázek 2.10 Výpočet přeplátovaného spoje [36].

$$\tau_K = \frac{F}{S} \leq \frac{R_{ms}}{k} \quad (2.1)$$

$$F = \frac{S \cdot R_{ms}}{k} \quad (2.2)$$

- kde: F [N] - axiální síla,  
 $\tau_K$  [MPa] - napětí ve smyku,  
 $R_{ms}$  [MPa] - pevnost lepidla ve smyku,  
k [-] - součinitel bezpečnosti (1,5-2,5),  
S [mm<sup>2</sup>] - lepená plocha (výpočet dle vzorce 2.3).

$$S = b \cdot l \quad (2.3)$$

- kde: b [mm] - šířka lepené plochy,  
l [mm] - délka lepené plochy.

### 3 KAUČUKY

Kaučuky jsou makromolekulární látky, obvykle amorfní, s nízkou teplotou skelného přechodu ( $T_g$ ), při této teplotě se stávají tvárnými a dochází k jejich měknutí, je to teplota přechodu mezi tuhým a kaučukovitým stavem. Jsou to nesíťované polymerní látky a síťováním (vulkanizací) vznikají elastomery (pryže). Kaučuky jsou, jak přírodní, tak i uměle vyrobené tzv. syntetické. Syntetické kaučuky jsou vyráběny nejčastěji polymerací butadienu a plně se vyrovnají vlastnostem přírodních kaučuků. Jedná se o měkké materiály, které mají velký podíl dvojných vazeb, což zapříčiňuje jejich špatnou odolnost proti ozonu, kyslíku, světlu a teple. Vulkanizací je dosaženo žádaných vlastností, jako jsou např. elasticita, pevnost v tahu, možnost vratné deformace, nepropustnost, odolnost proti oděru a nerozpustnost. Požadovaných vlastností je často lépe dosaženo použitím směsi dvou, nebo i více druhů kaučuků. Použití směsi kaučuků je široce využíváno, protože dochází ke kombinaci kladných a žádaných vlastností jednotlivých druhů kaučuků.

Většina syntetických kaučuků je získávána kopolymerací styrenu a butadienu, jedná se o chemický děj spojování monomerů a přeměnění na polymer. Nejčastějšími polymerizacemi jsou radikálová, emulzní, roztoková a kationtová. Kaučuky musí být dobře mísitelné, jinak by to ztěžovalo vulkanizaci kaučukové směsi. Vulkanizace probíhá při teplotách 140-200 °C vulkanizačním činidlem a je umožněna díky dvojným vazbám (reaktivním místům) v řetězci, které umožní síťování. Vulkanizace probíhá zahříváním směsi po danou dobu potřebnou k zesíťování.

Kaučukové směsi obsahují mnoho přísad, které zlepšují jejich vlastnosti a průběh vulkanizace. Vulkanizační směs je získána mísením kaučuku s vulkanizačním činidlem (síra, peroxidy), aktivátorem vulkanizace (metakryláty, akryláty, ZnO, PbO), urychlovače, změkčovadly, která zvyšují plasticitu a usnadňují deformaci (parafíny, minerální oleje, estery), retardéry hoření, které snižují hořlavost směsi (halogenované uhlovodíky), antioxidanty, antidegradanty, antiozonanty, pigmenty, které dodávají materiálu barevnost, plnivy, která ovlivňují zpracovatelnost, pevnost, tvrdost, tažnost, propustnost (saze, silika, jíl, uhličitán vápenatý) a nadouvadly, která se používají při výrobě lehčených pryží. [37]

#### 3.1 Druhy kaučuků

Vulkanizovaných kaučuků je mnoho druhů, např. přírodní, butadienový, butadien-styrenový, isoprenový, ethylen-propylenový, chloroprenový, silikonový aj. Rozebrány jsou jen vybrané druhy vulkanizovaných kaučuků.

##### **Přírodní kaučuk (NR – natural rubber)**

Přírodní kaučuk je získáván z tropických stromů na území Indonésie, Thajska a Malajsie ve formě mléčné mízy (latexu). Hlavními složkami latexu jsou cca 30 % kaučuku, a po 1 % lipidů, proteinů a uhlohydrátů. Koagulace latexu kyselinou mravenčí nebo octovou je nejčastějším postupem výroby NR. Vulkanizace NR je prováděna sírou v určitém množství, podle množství síry se rozdělují NR na měkké (1-4 % síry) a tvrdé (až 25 % síry) pryže. Výroba NR je finančně náročnější než výroba syntetických kaučuků. Přírodní kaučuk má vysokou mechanickou pevnost a elasticitu, špatně odolává pohonným hmotám a vlastnosti jako tvrdost, odolnost proti oděru



a modul pružnosti je třeba u NR zlepšovat. Odolnost proti opotřebení se zlepšuje přidáním plniv (hlavně saze, jíl, SiO<sub>3</sub>, nebo dřevěná moučka). Výrobky z přírodního kaučuku jsou použitelné v teplotním rozmezí od -55 °C do 82 °C a jsou to například hadice, pneumatiky, těsnění, pružiny, pásy aj. [37]

### **Butadienový kaučuk (*BR – butadiene-rubber*)**

Výroba butadienového kaučuku nejčastěji probíhá roztokovou polymerací za přítomnosti Ziegler-Natta katalyzátorů, ale lze jej vyrábět i v emulzi. BR je polybutadien, který se při výrobě z butadienu objevuje ve třech konfiguracích. Obsah vinylu v BR je možno zvýšit až na 90 % přidávkou polárního rozpouštědla do kapalného uhlovodíku při roztokové polymeraci. BR má z běžně používaných kaučuků nejnižší T<sub>g</sub>, která je zvyšována s rostoucím množstvím vinylu. Butadienový kaučuk se často kombinuje s NR, nebo SBR. Má výbornou odolnost proti oděru a oxidaci. Rozmezí teplotní odolnosti výrobků z BR je -100 až 93 °C. Výrobky z BR jsou například pneumatiky, dopravní pásy, obuv, těsnění aj. Se zvyšujícím se množstvím vinylu v BR se zvyšuje přilnavost pneumatik k vozovce a současně se ale snižuje elasticita a odolnost proti oděru. [37]

### **Butadien-styrenový kaučuk (*SBR – styrene-butadiene-rubber*)**

Butadien-styrenový kaučuk je vyráběn z ropy, je to kopolymer butadienu a styrenu, kde styren je zastoupen z 23-25 %. Vysoko-styrenové SBR obsahující 40-80 % styrenu jsou vyráběny roztokovou kopolymerací s alkyllithiovými katalyzátory. SBR je vulkanizován sírou. Teplota skelného přechodu roste s rostoucím množstvím vinylu a styrenu. Jedná se o univerzální kaučuk, který zastává až 60 % světové výroby syntetických kaučuků. SBR se používá na výrobu běhounů pneumatik, hadiček do hydraulických systémů, těsnění, úchytky proti vibracím a tzv. technickou pryž. Teplotní využití SBR je od -50 až do 82 °C. [37]

## **3.2 Lepení pryže**

Pryž je široce používána v technické praxi, například jako těsnící prvky, anti-vibrační prvky, objímky aj., pro své použití je často nutné pryž lepit ke kovovému podkladu. Pryž je možné lepit také s jinými materiály (plasty, jiné druhy kovů) než je běžně ve strojírenství používaná ocel.

Na lepený spoj pryže a kovového materiálu jsou kladeny následující nároky:

- pevnost spoje je stejná nebo vyšší než pevnost pryže,
- spoj je odolný proti mechanickému opotřebení,
- spoj je odolný proti chemikáliím,
- spoj nezatěžuje životní prostředí,
- spoj je odolný proti tepelnému namáhání a UV záření.

Pevnost lepeného spoje se odvíjí od provedené předúpravy lepených materiálů, dodržení podmínek lepicího procesu pro zvolené lepidlo a také závisí na složení lepené pryže. Vliv jednotlivých složek pryže na proveditelnost spoje je následující [38; 30]:

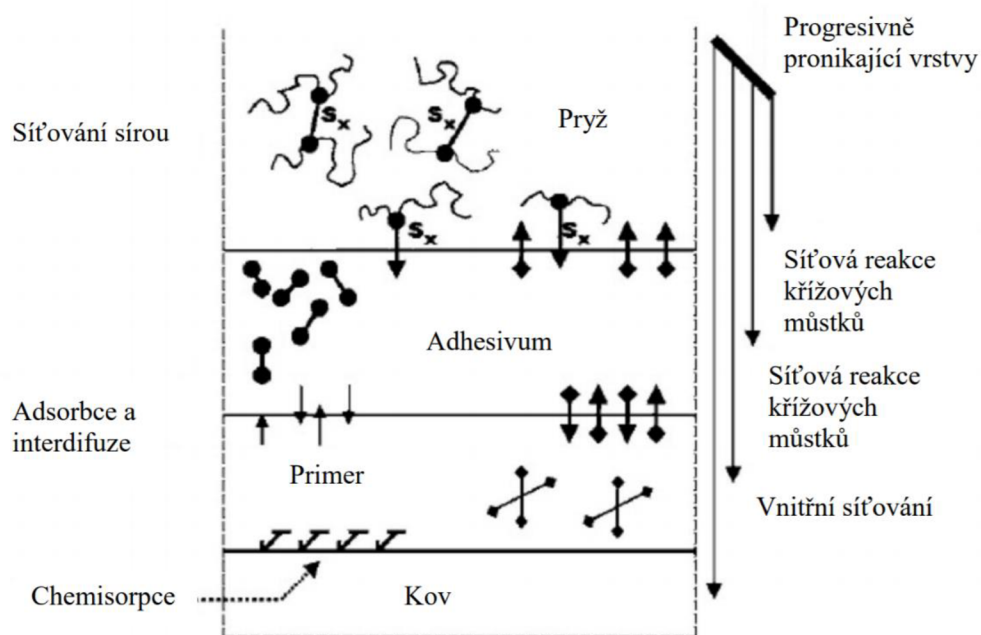
- množství síry – množství síry v pryži má zásadní dopad na lepení. Pryž s obsahem síry 1 nebo více tzv. *phr* (*Parts per Hundred Rubber* – v češtině

používáno jako „počet dílů přísady na sto dílů kaučuku“ a označováno jako dsk) má příznivý vliv na lepení. Malé množství síry způsobuje horší lepicí schopnost kaučuku,

- urychlovače – běžně používané urychlovače (MBT) neomezují lepení, ale rychlé urychlovače (TMTD) lepitelnost zhoršují,
- plniva – záleží na množství a typu plniva. Použití sazí v množství od 40 do 80 phr zlepšuje lepitelnost pryže, naopak nižší množství sazí ji zhoršuje. Plniva jako jíl nebo silika také zlepšují lepitelnost,
- vosky a oleje – vosky a oleje v kaučuku migrují na povrch a vytváří film na povrchu, který znemožňuje lepení. Vosky je možné odstranit z povrchu zpět do kaučuku pomocí temperování pryže danou teplotou po určitou dobu, vosky se vrátí zpět do struktury materiálu a tento stav vydrží cca týden až dva, než opět prorazí na povrch,
- antiozonanty a antioxidanty – velké množství těchto látek ubírá schopnost lepení pryže.

### Vulkanizační proces spojení pryže s kovovým materiálem

Vulkanizační proces je komplexní a probíhá v relativně krátkém čase a obsahuje mnoho chemických reakcí (obr 3.1). *Primer* (nátěrová hmota na kovovém povrchu), lepidlo (adhesivum) a pryž prostupuje do sousední vrstvy. Kovalentní vazby vznikají mezi *primerem* a kovem reakcí pryskyřice s oxidy kovů na povrchu kovu. Tato reakce je nazývána chemisorpce, která je odolnější v porovnání s fyzikální absorpcí. Reakce mezi adhesivem a *primerem* probíhá migrací nebo vzlínáním reakčního činidla, které je obsaženo v lepidlu, je vytvořena chemická vazba mezi vrstvami. Reakční činidlo v lepidle reaguje rovněž s pryží při vulkanizaci na druhé straně a dochází k vytvoření chemické vazby mezi nimi. Tyto vazby jsou nazývané jako příčné můstky. Nezreagovaná síra z pryže se dostává do vrstvy lepidla a rovněž vytváří příčné můstky. [39]



Obrázek 3.1 Schéma chemických reakcí při vulkanizačním procesu spojení pryž-kov [39].

Lepení pryže je možné provést pomocí dvouvrstvých (primer/cover), nebo jednovrstvých systémů. *Primer* (volně přeloženo – lepicí podklad) obsahuje látky, které především tvoří vazby s kovem, *cover* (volně přeloženo – krycí vrstva lepidla) obsahuje látky, které především vytváří vazby s pryží. Oba systémy mají své výhody i nevýhody. Dvouvrstvý systém je odolnější, ale dražší. Jednovrstvý systém je levnější, ale není tak účinný. [39]

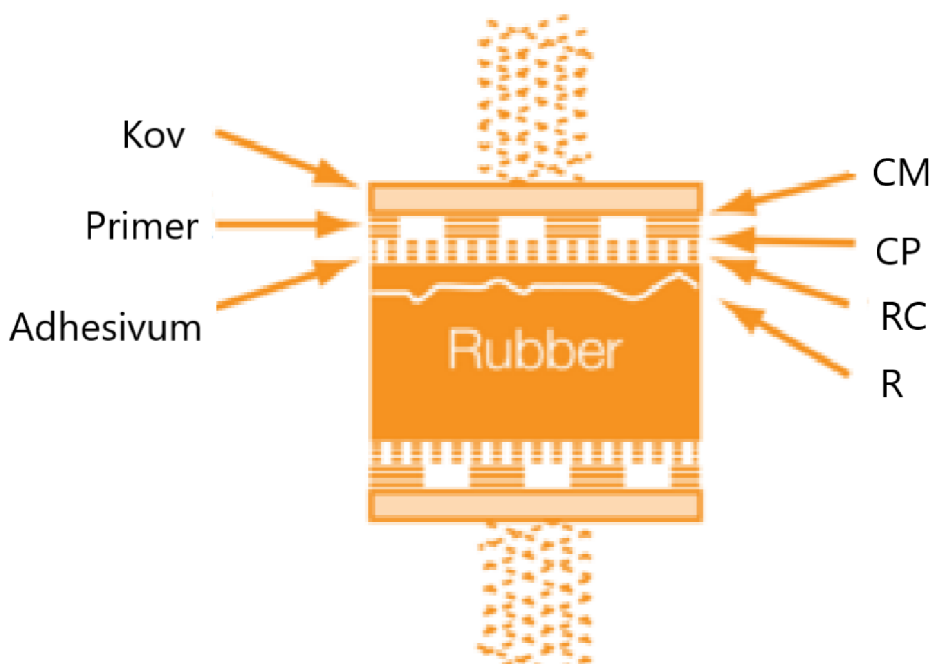
### Post-vulkanizační spojení pryže s kovovým materiálem

Post-vulkanizace je speciální proces spojování pryže s kovem. Adhesivum se nanáší stejným způsobem jako u vulkanizačního procesu, ale pryž má v tomto případě již finální tvar a je částečně z vulkanizována. Vulkanizovaná pryž musí být povrchově očištěna před lepením (chemicky nebo mechanicky). Povrchově očištěná pryž pokrytá adhesivem je lepena s kovem za působení tlaku a zvýšené teploty. Výhodou post-vulkanizace je, že není potřeba složitých forem pro výrobu pryžové komponenty a tento proces je prováděn při nižších teplotách. [39]

### Vady spoje

Spoj je zajištěn díky příčným vazbám. Pokud dojde k výskytu vady ve spoji, je toto místo nejslabším článkem spoje. Pro testování soudržnosti mezi kovem a pryží je vypracována norma ASTM D429. Touto normou jsou popisovány jednotlivé vady [30; 39]:

- R (*rubber failure*) – vada pryže,
- RC (*rubber-cement interface failure*) – vada mezi pryží a adhesivem,
- CP (*cement-primer interface failure*) – vada mezi adhesivem a primerem,
- CM (*cement-metal interface failure*) – vada mezi primerem a kovem.



Obrázek 3.2 Typy vad spojů kov-pryž – podle [39].

Vada pryže (R) není vadou spoje. Tato vada je způsobena porušením vnitřní soudržnosti pryže. Spoj je tedy pevnější než samotná pryž, což je jedním z požadavků na spoj pryž-kov. [30; 39]

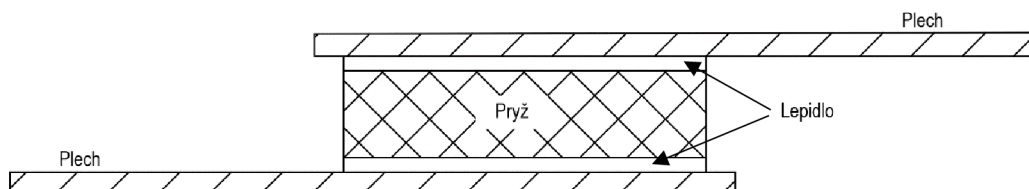
Vada mezi adhesivem a pryží (RC) je charakteristická hladkým povrchem a velmi malou, nebo žádnou přítomností pryže. K této vadě může dojít špatnou volbou spojovacího systému, nedostatečným zaschnutím adhesiva, nebo jeho rozmícháním, částečným navulkanizováním systému před spojení s pryží, nebo nedostatečným tlakovým působením při lepení. [30; 39]

Vada mezi primerem a adhesivem (CP) se vyznačuje výskytem primeru na povrchu kovu a adhesiva na povrchu pryže. Tato vada je způsobena znečištěním primeru před nanášením adhesiva, neslučitelností primeru s adhesivem, nebo nedostatečným zaschnutím primeru před nanášením adhesiva. [30; 39]

Vada mezi primerem a kovem (CM) poukazuje na nesprávnou úpravu kovu před nanášením primeru, nebo při nanášení primeru na kov. Čistý kovový povrch bez stop po nanášení primeru je charakteristický pro tuto vadu. Vliv na tuto vadu může mít vliv prostředí, nedostatečné zaschnutí, promíchání nebo znečištění primeru. [30; 39]

## 4 EXPERIMENT

Cílem experimentu je zjistit, jaký dopad má technologie vytvrzování práškového laku na kvalitu lepeného spoje. Koncept experimentu je převzat z již zavedeného způsobu zkoušení lepených vzorků ve firmě. Odlišné je však použité lepidlo a liší se technologie vytvrzení práškového laku. Vzorky se skládají ze dvou plechů a pryže slepených pomocí termoreaktivního lepidla (obr. 4.1).



Obrázek 4.1 Lepený vzorek.

### 4.1 Lakování plechů

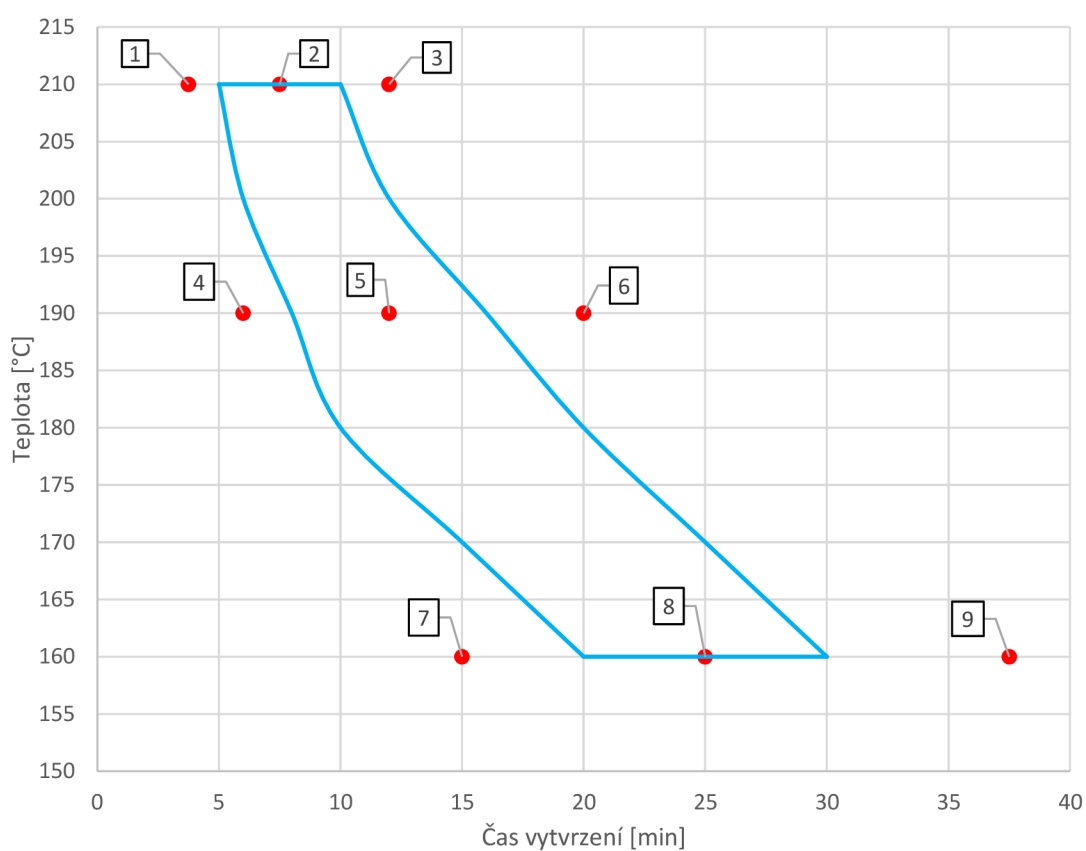
Na základě technického listu (Příloha 1) práškového laku obsahujícího doporučené vytvrzovací teploty a tomu odpovídající časy (zpracováno formou tab. 4.1) bylo navrženo 9 nastavení pro vytvrzení laku (viz tab. 4.2 + obr. 4.2). Nastavení byla zvolena tři pro každou zvolenou teplotu a navržené časy vytvrzení bylo provedeno dle tab. 4.3. V každém nastavení bylo nalakováno a vytvrzeno 8 plechů, celkem tedy bylo nalakováno a vytvrzeno 72 plechů. Nastavení 1, 4 a 7 byla zvolena tak, aby lak nebyl řádně vytvrzen a byl nevytvrzený. Nastavení 2, 5 a 8 byla zvolena tak, aby byl lak vytvrzen optimálně a nastavení 3, 6 a 9 byla zvolena tak, aby byl lak vytvrzován delší dobu, než je předepsáno.

Tab. 4.1 Doporučené teploty a časy vytvrzení laku od výrobce.

Teplota [°C]	Čas vytvrzení [min]	
	MIN	MAX
210	5	10
200	6	12
190	8	16
180	10	20
170	15	25
160	20	30

Tab. 4.2 Zvolená nastavení pro vytvrzování laku.

Nastavení	Teplota [°C]	Čas [min]
1	210	3,75
2		7,5
3		12
4	190	6
5		12
6		20
7	160	15
8		25
9		37,5



Obrázek 4.2 Přehled zvolených nastavení pro vytvrzovací proces (modré „okno“ odpovídá hodnotám z tab. 4.1).

Tab. 4.3 Způsob volby doby vytvrzení laku pro danou teplotu.

Od výrobce	Zvoleno
MIN [min]	MIN - 25 % [min]
MAX [min]	$\frac{MIN+MAX}{2}$ [min]
	MAX + 25 % [min]

Ocelové plechy (obr. 4.3) byly dodány dodavatelem, který firmu těmito plechy zásobuje, a plechy jsou používány na zkoušky lepených spojů. Rozměry plechu jsou: šířka 40 mm, výška 50 mm, tloušťka 1,5 mm.



Obrázek 4.3 Plech dodaný od dodavatele.

Plech byly před nanesením práškového laku upraveny standardní úpravou povrchu, kterou firma používá na své výrobky. Předúprava (obr. 4.4 a 4.5) se skládá z odmaštění, oplachu, aktivace povrchu, fosfátování, oplachu, pasivace povrchu, oplachu, oplachu a sušení v sušičce při 90 °C.



Obrázek 4.4 Navěšení plechů na předúpravu.



Obrázek 4.5 Výjezd plechů ze sušičky.

Takto předupravené plechy byly dopraveny dopravníkem do průběžné lakovací kabiny, kde dochází k nanesení práškového laku na plechy (obr. 4.6). Tloušťka naneseného laku je přibližně 150  $\mu\text{m}$ .



Obrázek 4.6 Nanášení prášku v lakovací kabině.

Plechý s naneseným práškovým lakem byly dopraveny do pece, kde byly vytvrzeny podle určeného nastavení. Pro vytvrzení laku byla použita horkovzdušná komorová pec firmy Linn High Therm GmbH model KKU-260/170 (obr. 4.7). Pec si zadanou teplotu regulovala sama, ale pro kontrolu teploty byl použit digitální teploměr PL-120-T1. Teplota v peci odpovídala požadované teplotě s odchylkou  $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



Obrázek 4.7 Pec Linn High Therm GmbH (KKU-260/170).



Technické parametry pece:

- model – K KU-260/170,
- napětí – 400 V/3/N/50 Hz,
- proud – 25 A,
- topný výkon – 18 kW,
- vnitřní prostor pece – 500 x 560 x 620 mm (šířka x výška x hloubka),
- vnější rozměry – 910 x 1800 x 620 mm (šířka x výška x hloubka),
- hmotnost – cca 450 kg,
- maximální teplota – 580 °C.

V peci byl použit stojan (obr. 4.8) pro zavěšení vytvrzovaných plechů. Po vychladnutí byly plechy svěšeny ze stojanu a uloženy do krabice, kde byly skladovány až do následného lepení.



Obrázek 4.8 Stojan se zavěšenými vytvrzenými plechy.

## 4.2 Nanesení lepidla

Přez použitá pro experiment byla dodána dodavatelem ve formě plátů, ze kterých byly jednotlivé čtverce pryže nastříhány. Pryžový čtverec o straně 25 mm a tloušťce  $6,2 \pm 0,3$  mm s tvrdostí 75 ShA byl následně očištěn čistícím přípravkem, připravené pryžové čtverce viz obr 4.9. Před nástřikem lepidla na pryž byly pryžové čtverce temperovány v temperovací peci, aby z povrchu byly odstraněny nežádoucí vosky, které by zabraňovaly správnému přilnutí lepidla a vytvoření lepeného spoje. V temperovací peci (obr. 4.10) byly pryže temperovány po dobu dvou hodin při teplotě 100 °C.



Obrázek 4.9 Pryžové čtverce připravené na nanesení lepidla.



Obrázek 4.10 Temperovací pec LAC.

Pryž byla temperována společně s běžnými pryžovými výrobky ve výrobě firmy. Pryž je temperací zbavena vosků z jejího povrchu, což je možné vidět na obr. 4.11. Z temperovací pece byla pryž přendána do předehřívací pece (obr. 4.12), kde byly vzorky předehřátý na teplotu 60 °C a následně byly přemístěny k nástřiku lepidla.



Obrázek 4.11 Pryžová pouzdra: před temperací (vlevo) a po temperaci (vpravo).



Obrázek 4.12 Předehřívací pec.

Pomocí nanášecí trysky bylo nanášeno termoreaktivní lepidlo Chemitac 80DG (technický list – Příloha 2) na obě strany pryžových čtverců. Nanášené lepidlo je

připraveno smícháním s Xylenem v daném poměru dle pokynů výrobce (obr. 4.13). Lepidlo bylo nanášeno z obou stran pryžových čtverců viz obr. 4.14.



Obrázek 4.13 Místnost na přípravu směsi lepidla Chemitac 80DG.



Obrázek 4.14 Nástřik lepidla na pryžové díly.

Lepidlo je nanášeno ve formě primeru a coveru v předepsaném rozmezí tloušťky (primer 5-15  $\mu\text{m}$ , cover 15-25  $\mu\text{m}$ ). Také další parametry jsou kontrolovány jako například viskozita lepidla, teplota předehřevu pryžových výrobků, vizuální kontrola povrchu po nástřiku.

### 4.3 Lepení vzorků

K vytvrzení termoreaktivního lepidla je nutné, aby lepený spoj byl zahřátý na pracovní teplotu lepidla (130-200  $^{\circ}\text{C}$ ) a byl vystaven tlakovému zatížení. Zahřátí a tlakové zatížení bylo provedeno pomocí dvou ocelových desek s otvory pro šrouby, které byly nahřáty na teplotu 280  $^{\circ}\text{C}$  v peci Linn – model KKU-260/170. Nahřátím desek na teplotu 280  $^{\circ}\text{C}$  bylo simulováno nahřátí ocelového dílu ve výrobě. Nalakované plechy byly před lepením upraveny pomocí smirkového papíru se zrnitostí 180 (simulace procesu ve výrobě, kde tuto operaci provádí robot). Spodní deska byla vyjmuta z pece, byl na ní sestaven lepený spoj a byla přidána vrchní deska, která byla pomocí šroubů přišroubována ke spodní desce. Takto bylo zajištěno zahřátí spoje a jeho stlačení (obr. 4.15) po dobu čtyř minut (simulace procesu ve výrobě).



Obrázek 4.15 Stlačení lepeného spoje a jeho vytvrzení.

Míra stlačení lepeného spoje byla kontrolována vizuálně u každého vzorku po utažení šroubů, ukázka stlačení viz obr. 4.16, pryž byla stlačována o cca 25 % její tloušťky (cca 1,58 mm).



Obrázek 4.16 Míra stlačení lepeného spoje ocelovými deskami.

Při lepení vzorků z nastavení 1 (nedostatečně vytvrzené plechy) došlo k opětovnému roztečení laku a plechy byly přichyceny k ocelovým deskám, plechy bylo nutné oddělit od desek a lepený spoj byl porušen (obr. 4.17). Zbytek vzorků z nastavení 1 bylo podloženo recyklovaným papírem, který vydržel teplotu a zabránil přichycení plechu na ocelové desky. Opětovné roztečení laku způsobilo prolnutí vrstev se zahřátým termoreaktivním lepidlem a lepidlo tak nedrželo na pryži (obr. 4.17).



Obrázek 4.17 Vada při lepení nevytvrzených plechů.

Další plechy napříč všemi nastaveními byly před lepením kontrolovány na stav vytvrzení pomocí MEK (Methylethylketon). U správně vytvrzeného povlaku dojde k zmazování povrchu povlaku v místě potření. U špatně vytvrzeného povlaku dojde

k zabarvení vatové tyčinky a porušení povrchu povlaku. Zkoušené plechy prošly zkouškou vytvrzení povlaku touto metodou, ale i přes tuto zkoušku, kdy nastavení 4 a 7 (nedostatečně vytvrzené plechy) zkouškou prošly (obr. 4.18), došlo k přilnutí plechů k ocelovým deskám a bylo nutné plechy při lepení podložit a přilnuté vzorky bylo nutné porušit.



Obrázek 4.18 Zkouška vytvrzení povlaku pomocí MEK.

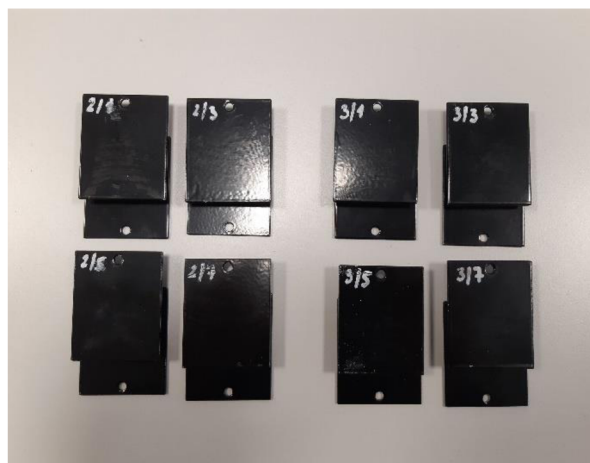
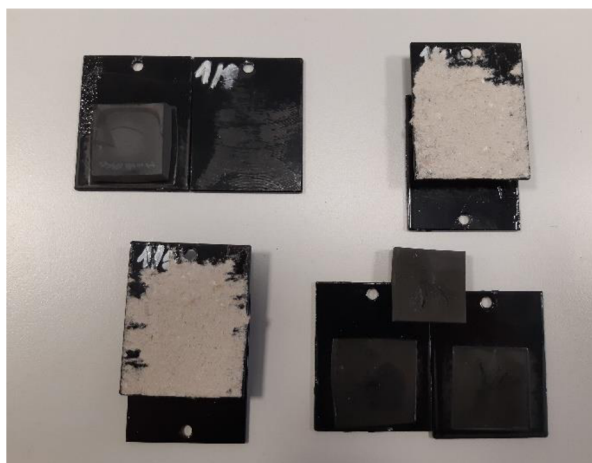
Díky těmto problémům s lepením bylo slepeno 28 vzorků z předpokládaných 36. Seznam vzorků a jejich označení je shrnuto v tabulkách 4.4-6.

Tab. 4.4 Označení lepených vzorků pro nastavení 1-3 (X – vzorek neslepen) – 1. část.

Číslo nastavení	Označení plechu	Označení vzorku
1	1/1	X
	1/2	X
	1/3	1/B
	1/4	1/A
	1/5	1/B
	1/6	X
	1/7	X
	1/8	1/A
2	2/1	2/A
	2/2	
	2/3	2/B
	2/4	
	2/5	2/C
	2/6	
	2/7	2/D
	2/8	

Tab. 4.4 Označení lepených vzorků pro nastavení 1-3 (X – vzorek neslepen) – 2. část.

Číslo nastavení	Označení plechu	Označení vzorku
3	3/1	3/A
	3/2	
	3/3	3/B
	3/4	
	3/5	3/C
	3/6	
	3/7	3/D
	3/8	



Obrázek 4.19 Lepené vzorky - nastavení 1. Obrázek 4.20 Lepené vzorky - nastavení 2 a 3.

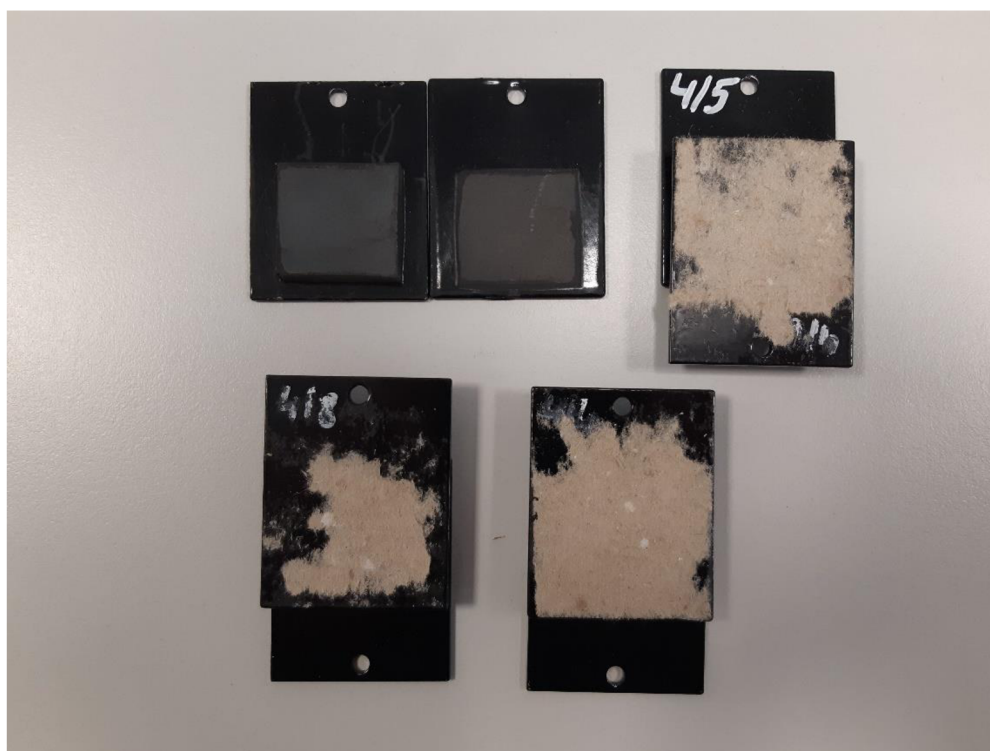
Tab. 4.5 Označení lepených vzorků pro nastavení 4-6 (X – vzorek neslepen) – 1. část.

Číslo nastavení	Označení plechu	Označení vzorku
4	4/1	X
	4/2	
	4/3	4/A
	4/4	
	4/5	4/B
	4/6	
	4/7	4/C
	4/8	
5	5/1	5/A
	5/2	
	5/3	5/B
	5/4	
	5/5	5/C
	5/6	
	5/7	5/D
	5/8	



Tab. 4.5 Označení lepených vzorků pro nastavení 4-6 (X – vzorek neslepen) – 2. část.

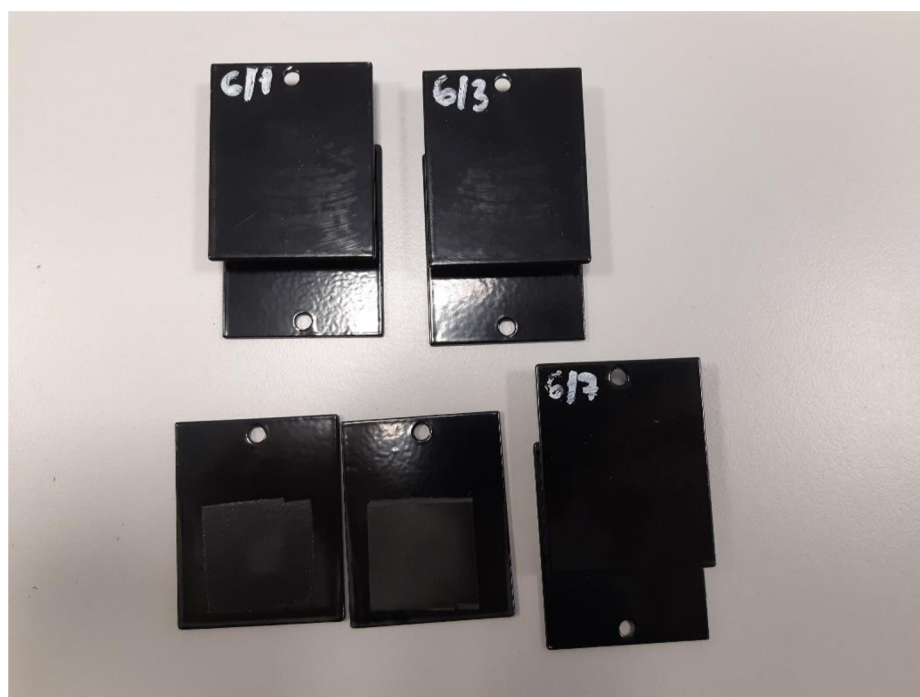
Číslo nastavení	Označení plechu	Označení vzorku
6	6/1	6/A
	6/2	
	6/3	6/B
	6/4	
	6/5	X
	6/6	
	6/7	6/C
	6/8	



Obrázek 4.21 Lepené vzorky - nastavení 4.



Obrázek 4.22 Lepené vzorky - nastavení 5.



Obrázek 4.23 Lepené vzorky - nastavení 6.

Tab. 4.6 Označení lepených vzorků pro nastavení 7-9 (X – vzorek neslepen).

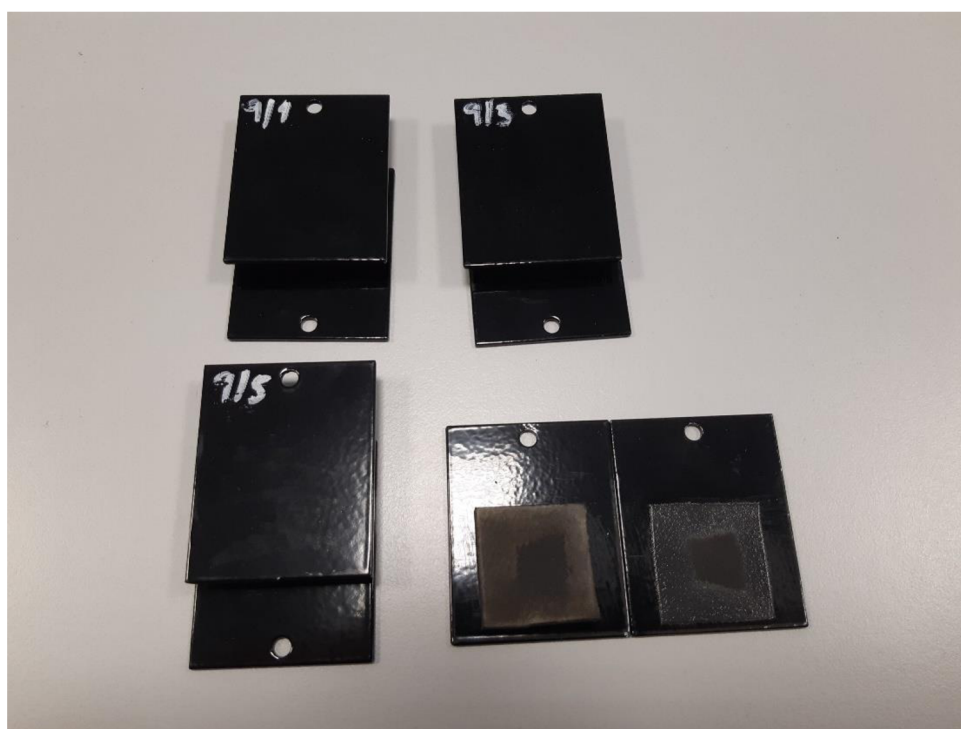
Číslo nastavení	Označení plechu	Označení vzorku
7	7/1	7/A
	7/2	
	7/3	7/B
	7/4	
	7/5	7/C
	7/6	
	7/7	X
	7/8	
8	8/1	X
	8/2	
	8/3	X
	8/4	
	8/5	8/A
	8/6	
	8/7	8/B
	8/8	
9	9/1	9/A
	9/2	
	9/3	9/B
	9/4	
	9/5	9/C
	9/6	
	9/7	X
	9/8	



Obrázek 4.24 Lepené vzorky - nastavení 7.



Obrázek 4.25 Lepené vzorky - nastavení 8.



Obrázek 4.26 Lepené vzorky - nastavení 9.

#### 4.4 Smluvní tahová zkouška smykem

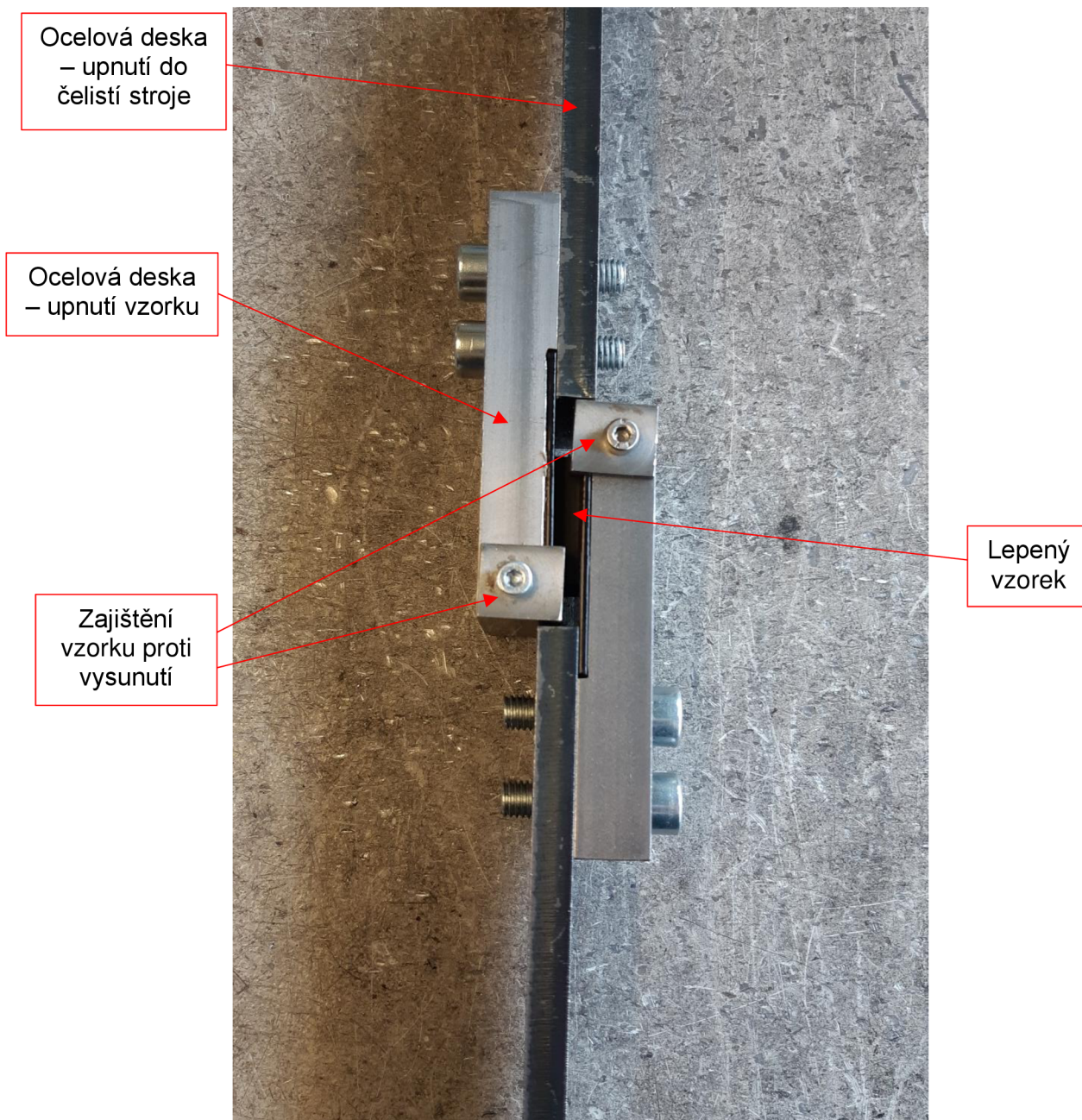
Smluvní tahová zkouška smykem byla provedena na trhacím stroji WPM UPC 1200 (obr. 4.27). Tahová zkouška smykem byla provedena podle smluvních podmínek platných ve firmě. Přípravek (obr. 4.28), ve kterém byl upnut lepený vzorek, byl přes čelisti upnut do trhacího stoje (obr. 4.39). Tahová zkouška smykem všech

vzorků byla provedena za stálé rychlosti čelistí (0,35 mm/s), sledovanou hodnotou byla maximální síla, při které došlo k přetržení vzorku. Výstupem zkoušky jsou grafické závislosti síly na prodloužení vzorku. Data byla zaznamenávána a grafické závislosti byly vykreslovány, pokud maximální síla přesáhla hodnotu 1 kN.

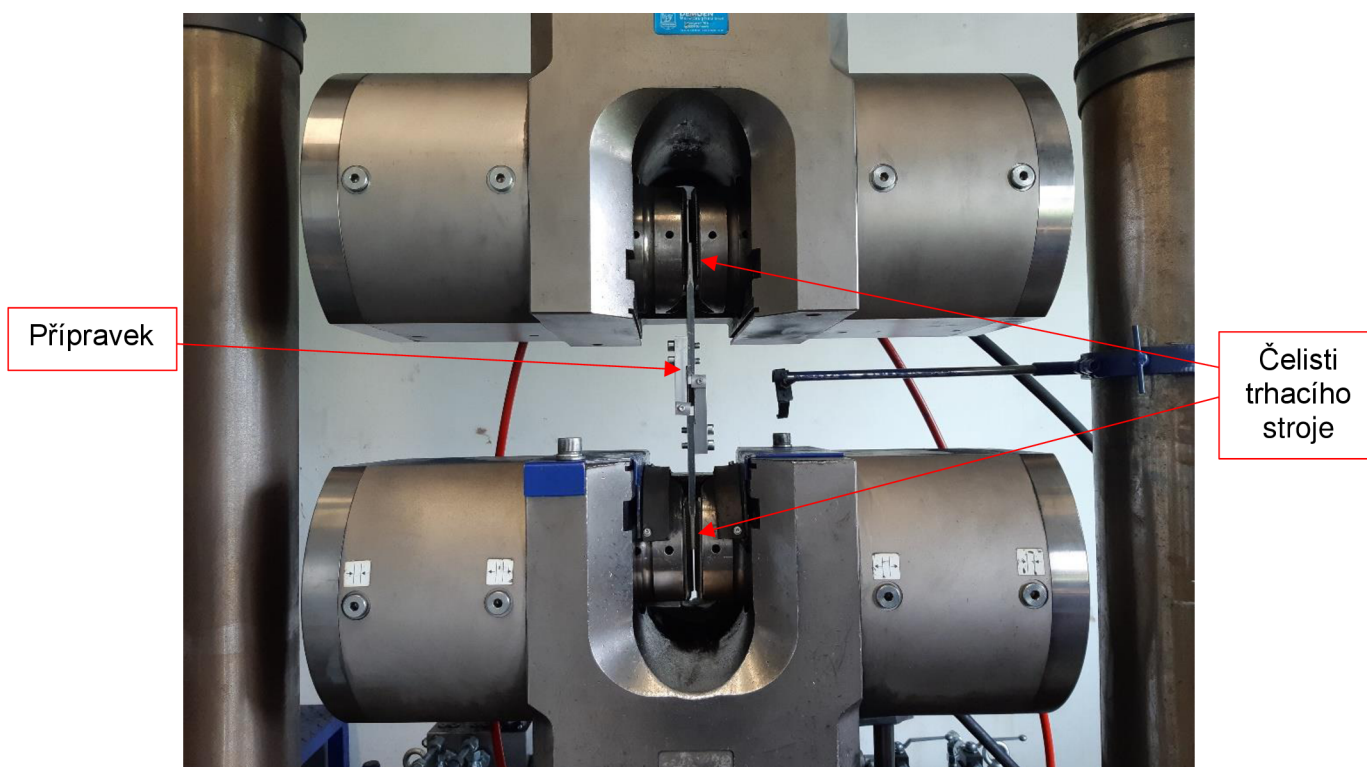


Obrázek 4.27 Trhací stroj WPM UPC 1200.

Přípravek je navržen, aby do něj pasovaly nalakované plechy. Po stranách jsou plechy zajištěny podložkou a šroubem proti vysunutí z přípravku. Plochy pro upnutí do čelistí trhacího stroje jsou přišroubovány tak, aby zajišťovaly působení sil v ose spoje a primárně namáhaná část je pryž v lepeném spoji a je namáhána smykem.



Obrázek 4.28 Přípravek pro upnutí vzorku do čelistí trhacího stroje.



Obrázek 4.29 Přípravek upnutý v trhacím stroji.

## 4.5 Výsledky a diskuse

Výsledky ze smluvní tahové zkoušky smykem byly zpracovány do tabulky 4.7, kde je u každého z 28 vzorků maximální síla, při které došlo k jeho přetržení. Některé vzorky byly porušeny během manipulace, nebo byly přetrženy tak malou silou, že trhací stroj žádnou nezaznamenal, mají v tabulce v poli pro maximální sílu označení X. Tato skutečnost nastala, protože došlo ke špatné soudržnosti lepidla s pryží a plechem, nebo jedním z nich.

U vzorků, kde maximální síla potřebná k jejich přetržení byla vyšší než 1 kN, byl trhacím strojem vyhodnocen průběh zatěžující síly. Vzorky, u kterých maximální síla byla nižší než 1 kN, nemají grafické závislosti zatěžující síly na prodloužení.

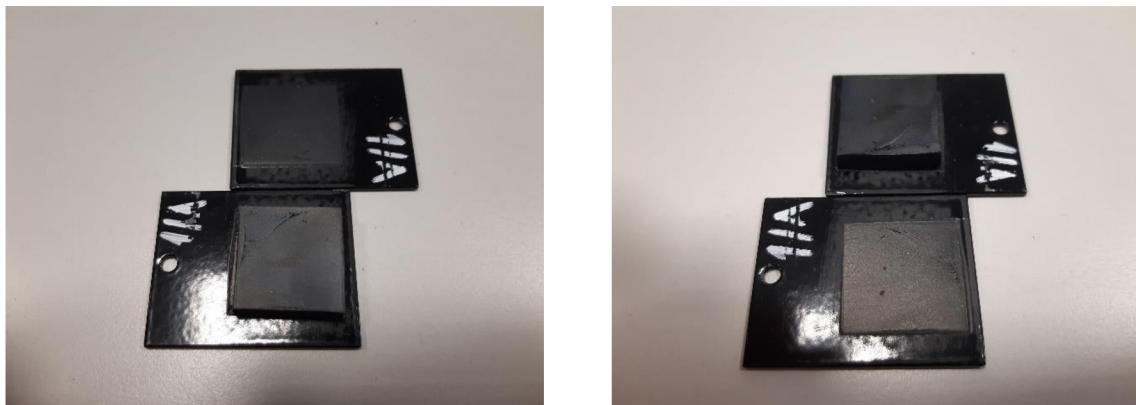
Dalším sledovaným aspektem po přetržení vzorků byla vzniklá vada ve spoji. Žádoucím výsledkem byla vada v pryži (R), ale u většiny vzorků (92,9 %) byla vada na rozhraní pryž-lepidlo (RC), nebo plech-lepidlo (CM) a měla nadpoloviční podíl na lepené ploše. Vada RC měla nadpoloviční podíl na ploše spoje u 8 vzorků (28,6 %), CM vada měla nadpoloviční podíl na ploše spoje u 14 vzorků (50 %) a pouze 2 vzorky měly vadu v pryži (7,1 %). Čtyři vzorky (14,3 %) byly vyhodnoceny s 50% podílem CM a RC na lepené ploše.

Tab. 4.7 Výsledky z tahové zkoušky smykem.

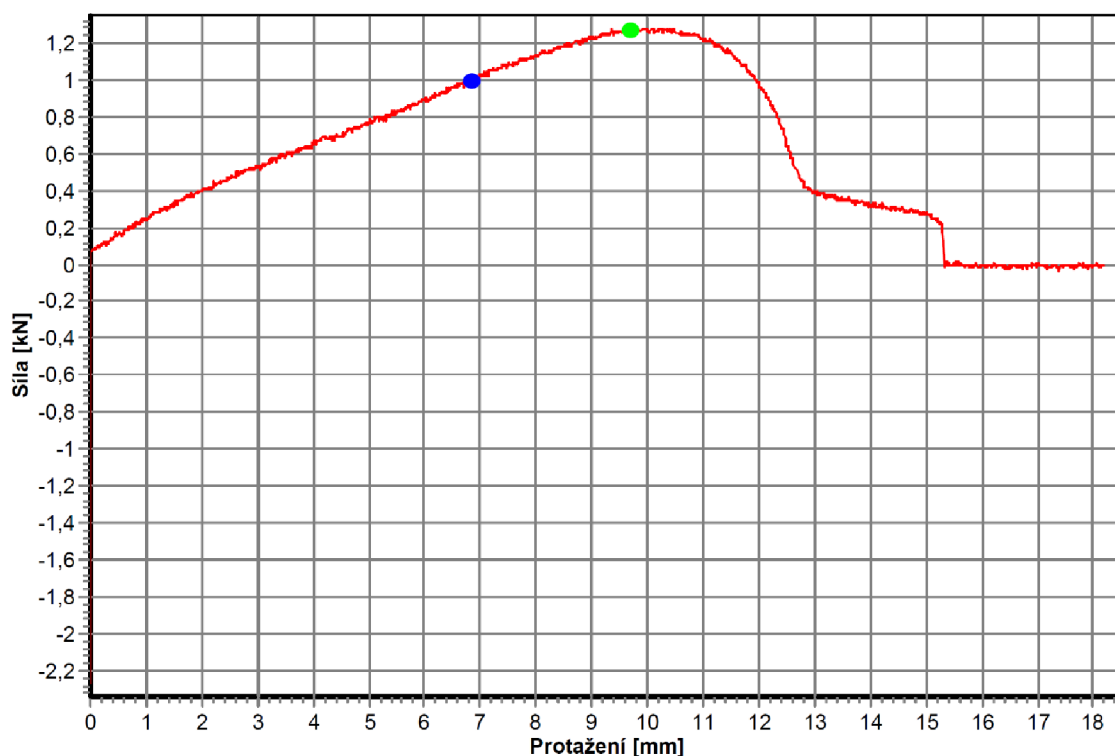
Označení vzorku	Maximální síla [kN]	Vada			
		R [%]	RC [%]	CM [%]	M [%]
1/A	1,28		100		
1/B	2,21		60		40
2/A	1,23	5		95	
2/B	0,28	10		90	
2/C	X		50	50	
2/D	0,81	10		90	
3/A	0,65	10		90	
3/B	0,21	5		95	
3/C	0,75	5		95	
3/D	X		85	15	
4/A	2,33	10	90		
4/B	2,76		50	50	
4/C	X		100		
5/A	0,10		10	90	
5/B	0,31		5	95	
5/C	1,56	60		40	
5/D	2,47	100			
6/A	X		40	60	
6/B	X		30	70	
6/C	X		100		
7/A	X		50	50	
7/B	0,67		20	80	
7/C	0,20		50	50	
8/A	X		90	10	
8/B	X		85	15	
9/A	X	5		95	
9/B	X		25	75	
9/C	0,36	5		95	

Dále jsou zobrazeny nejprve roztržené vzorky s maximální silou vyšší než 1 kN společně s grafickými závislostmi generovanými trhacím strojem (modrá tečka v grafu znázorňuje místo překročení hodnoty 1 kN zatěžující síly, zelená tečka znázorňuje maximální sílu, při které došlo k přetržení vzorku), poté ostatní vzorky bez grafických závislostí po skupinách podle převažující vady ve spoji.



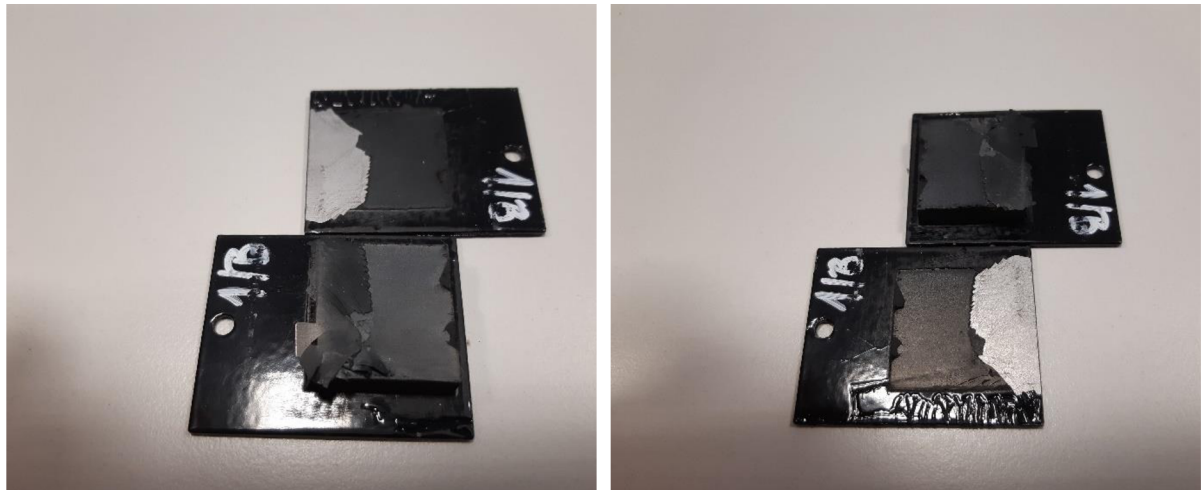


Obrázek 4.30 Vzorek 1/A po tahové zkoušce smykem.

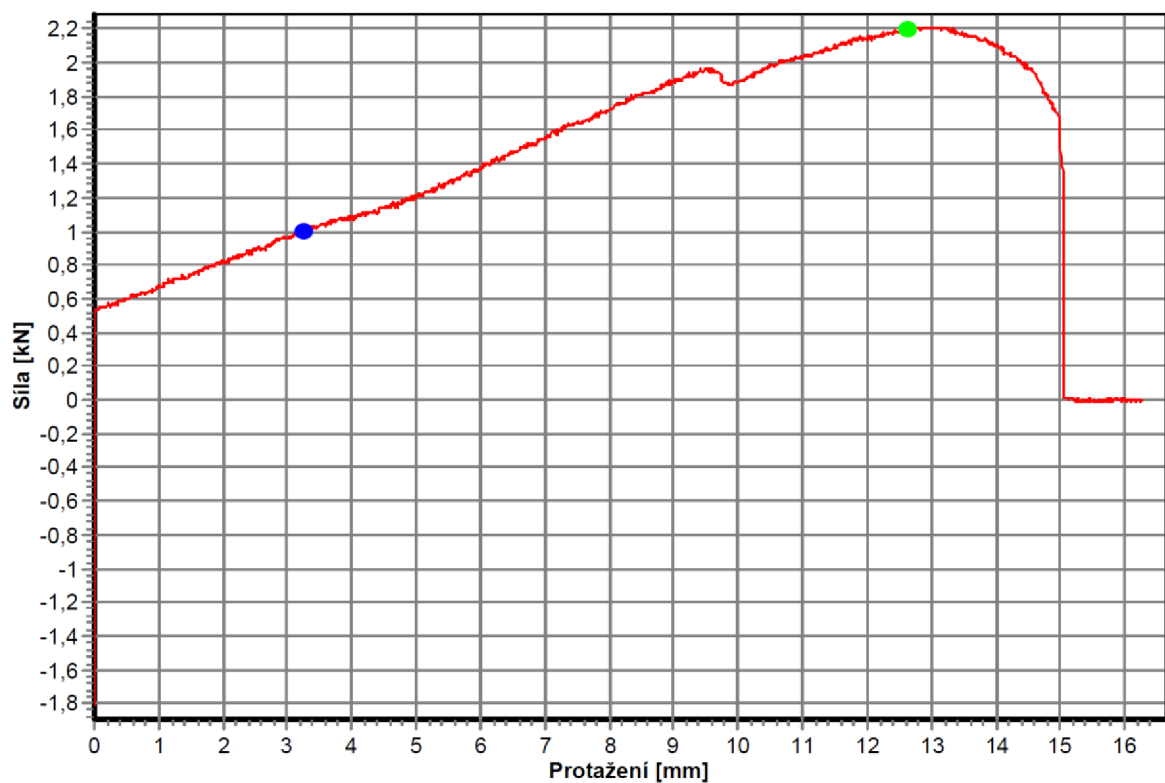


Obrázek 4.31 Grafická závislost zatěžující síly na prodloužení vzorku 1/A (max. síla 1,28 kN).

Povrch pryže u vzorku 1/A je tmavý a lesklý. Na pryži nejsou patrné stopy lepidla, lepidlo bylo absorbováno roztečeným lakem a došlo k prolnutí vrstev lepidla a povlaku, tudíž lepidlo nemělo požadovanou přilnavost k pryži (RC). Tato vada je způsobena nedostatečným vytvrzením laku.

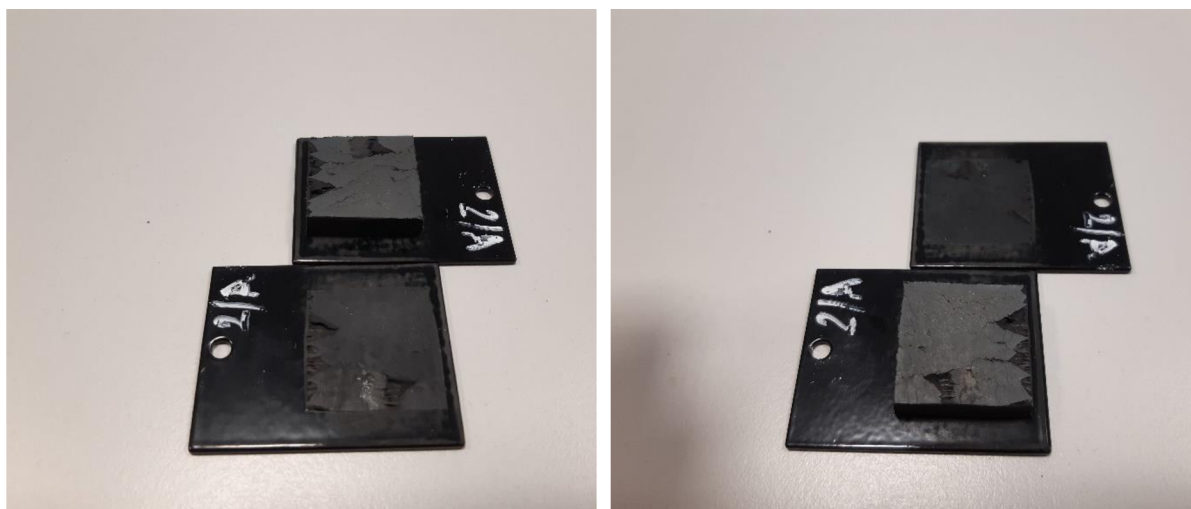


Obrázek 4.32 Vzorek 1/B po tahové zkoušce smykem.

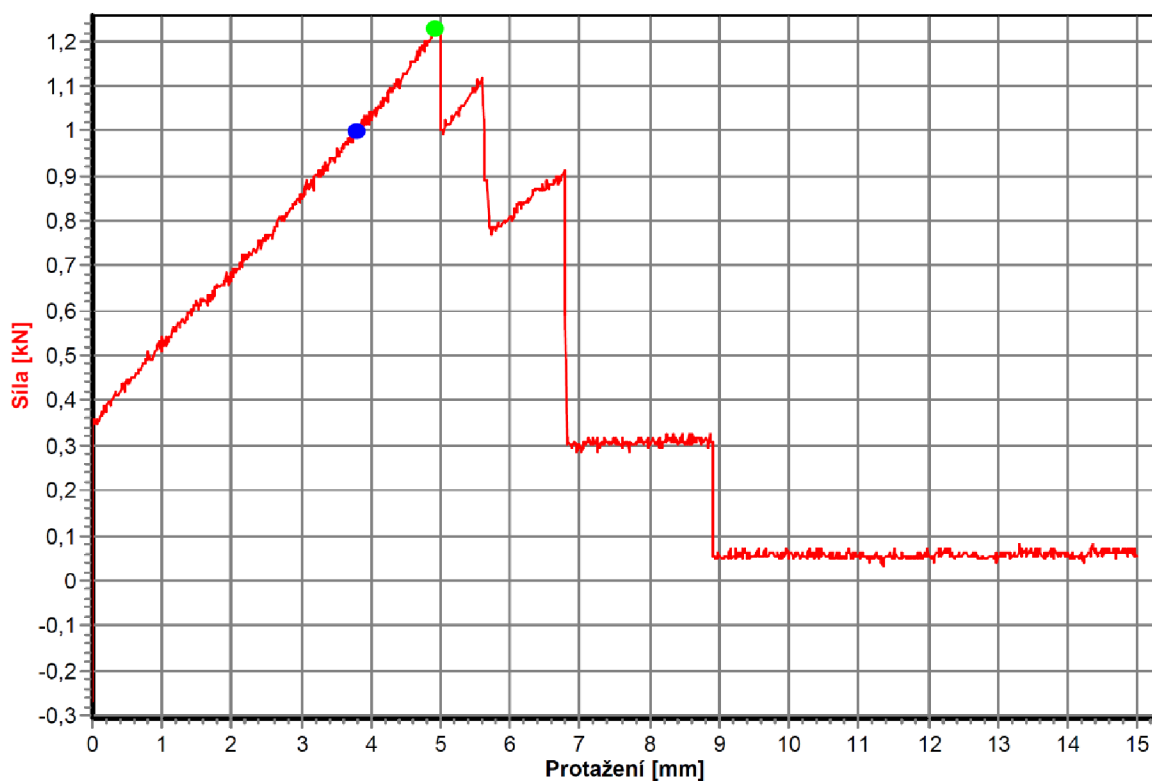


Obrázek 4.33 Grafická závislost zatěžující síly na prodloužení vzorku 1/B (max. síla 2,21 kN).

U vzorku 1/B, který má opět nedostatečně vytvrzený lak na plechu, došlo k porušení části povlaku a jeho odtržení od podkladu. Většinou vadou ale byla určena vada RC (cca 60 % povrchu spoje), kdy povrch pryže je tmavý a lesklý bez stop lepidla. V malé míře došlo také k porušení pryže.

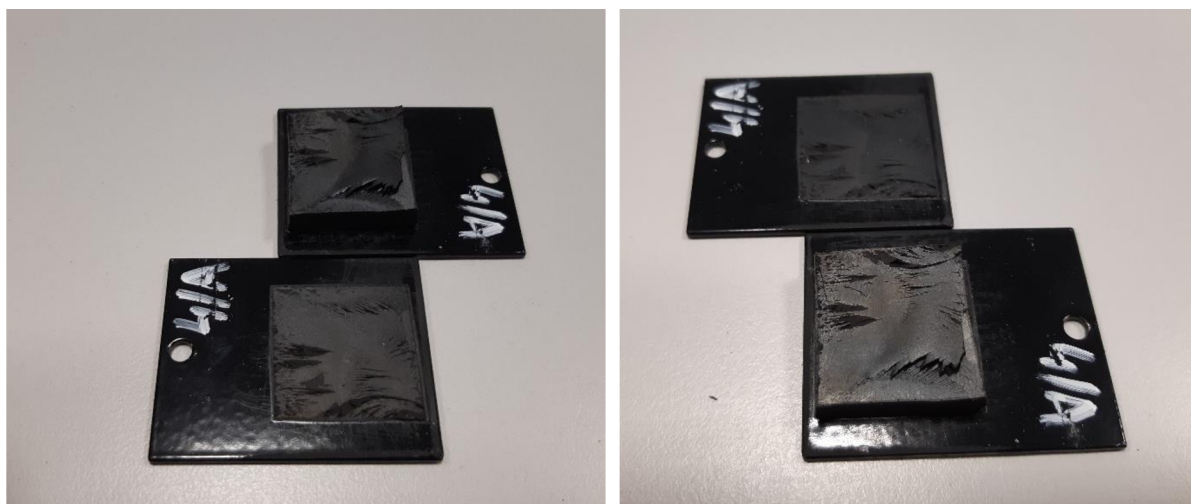


Obrázek 4.34 Vzorek 2/A po tahové zkoušce smykem.

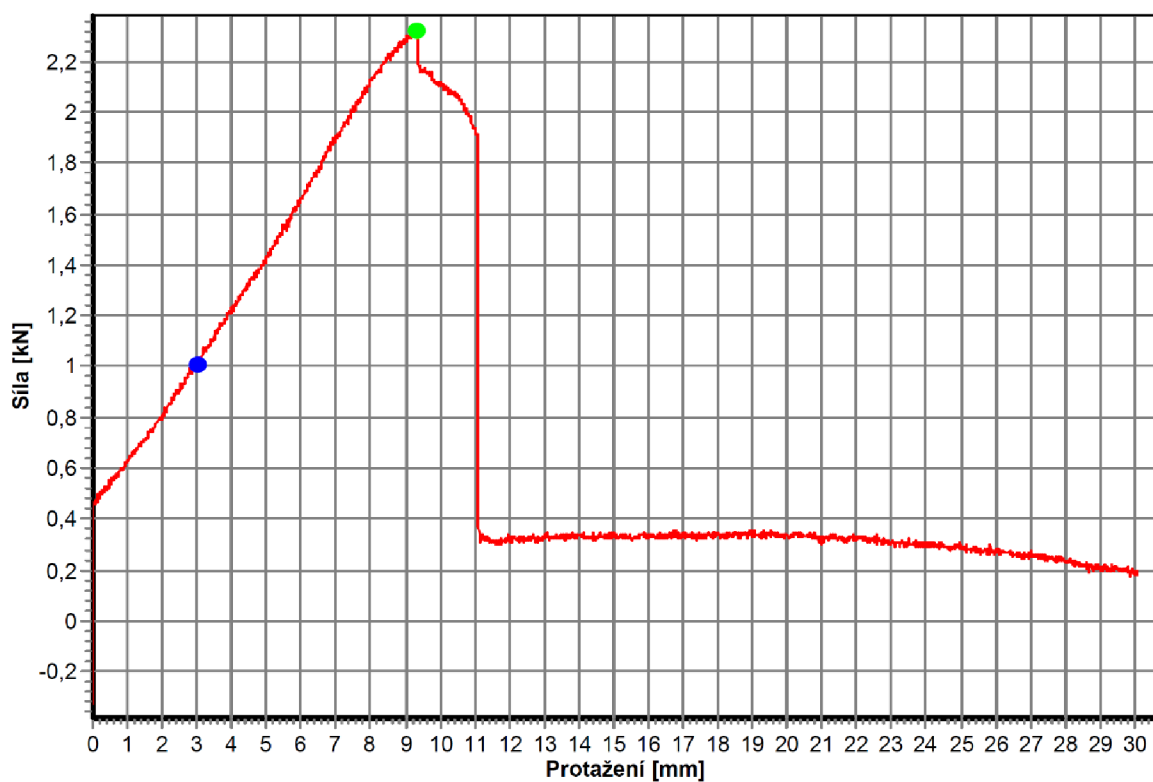


Obrázek 4.35 Grafická závislost zatěžující síly na prodloužení vzorku 2/A (max. síla 1,23 kN).

U vzorku 2/A byla majoritní vada CM, kdy povrch pryže je šedý, což odpovídá barvě lepidla. Došlo také k porušení pryže na cca 5 % plochy spoje.



Obrázek 4.36 Vzorek 4/A po tahové zkoušce smykem.

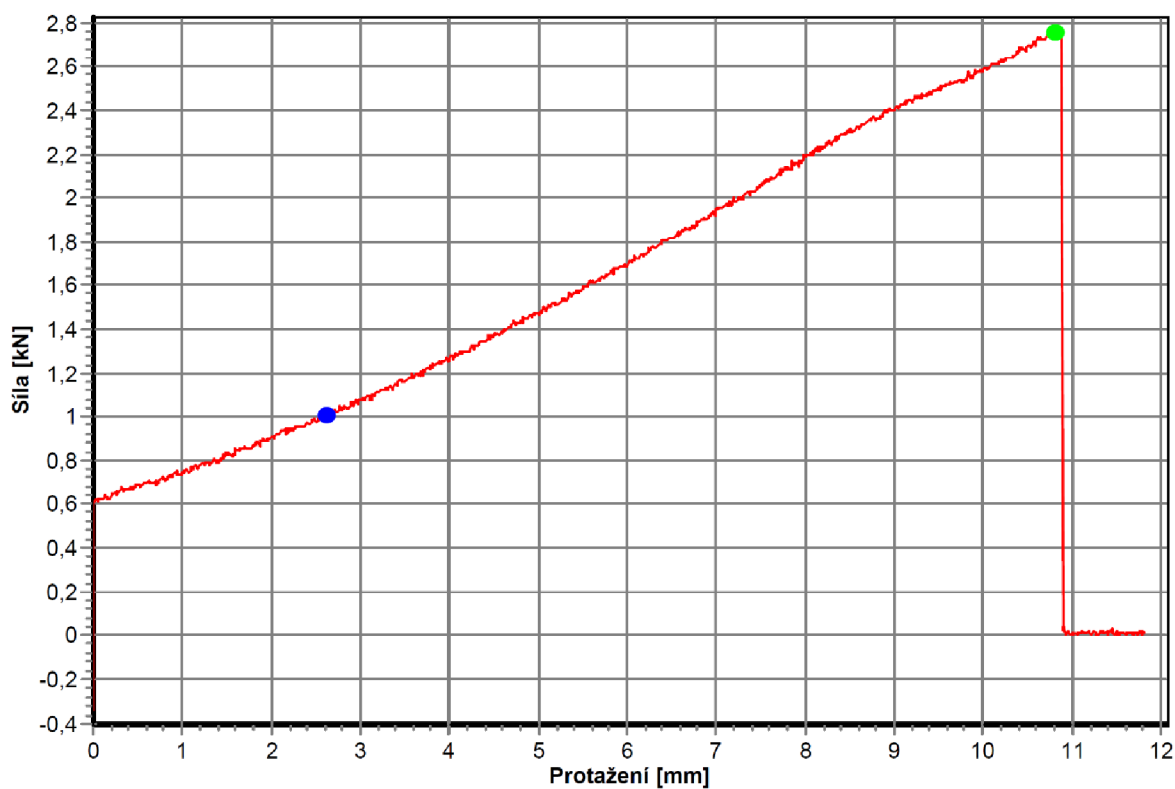


Obrázek 4.37 Grafická závislost zatěžující síly na prodloužení vzorku 4/A (max. síla 2,33 kN).

Povrch pryže u vzorku 4/A je tmavý a neobsahuje stopy po lepidle (RC). Vada RC je kombinována s vadou pryže (R), která je na cca 10 % plochy spoje.



Obrázek 4.38 Vzorek 4/B po tahové zkoušce smykem.

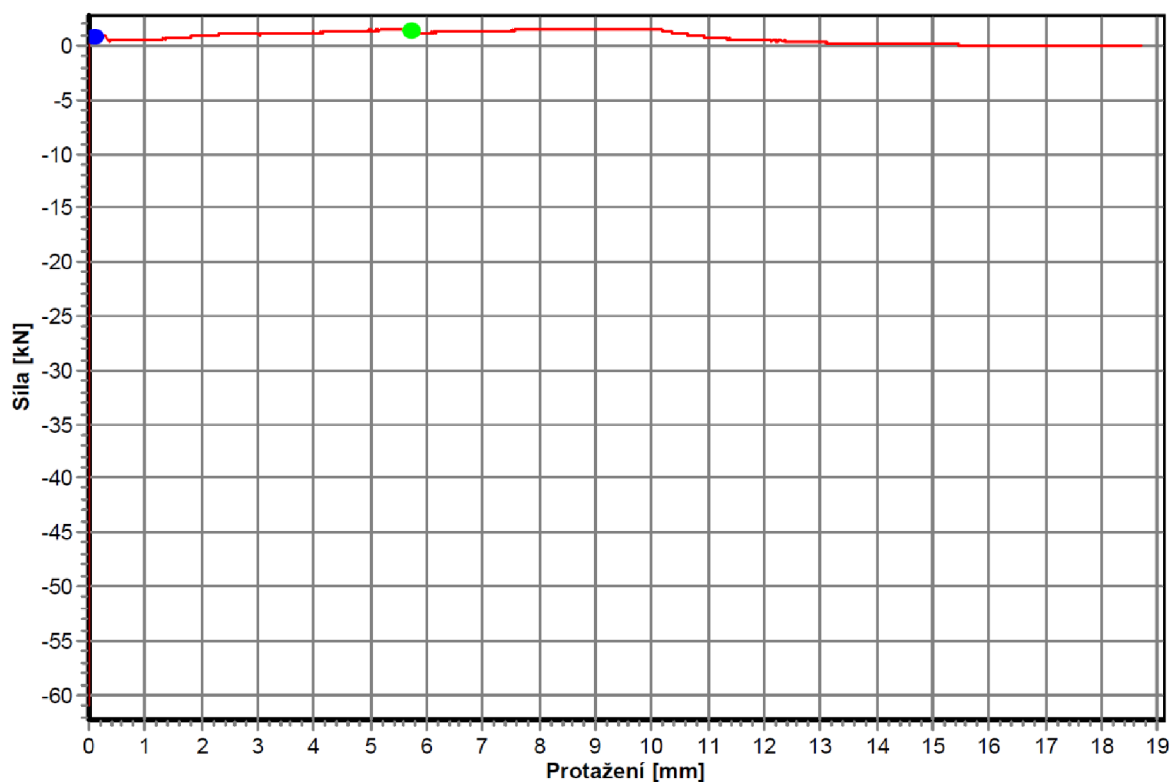


Obrázek 4.39 Grafická závislost zatěžující síly na prodloužení vzorku 4/B (max. síla 2,76 kN).

Vzorek 4/B má cca 50% podíl CM a RC vady na ploše spoje. U tohoto vzorku bylo dosaženo nejvyšší hodnoty maximální síly potřebné k přetržení vzorku.

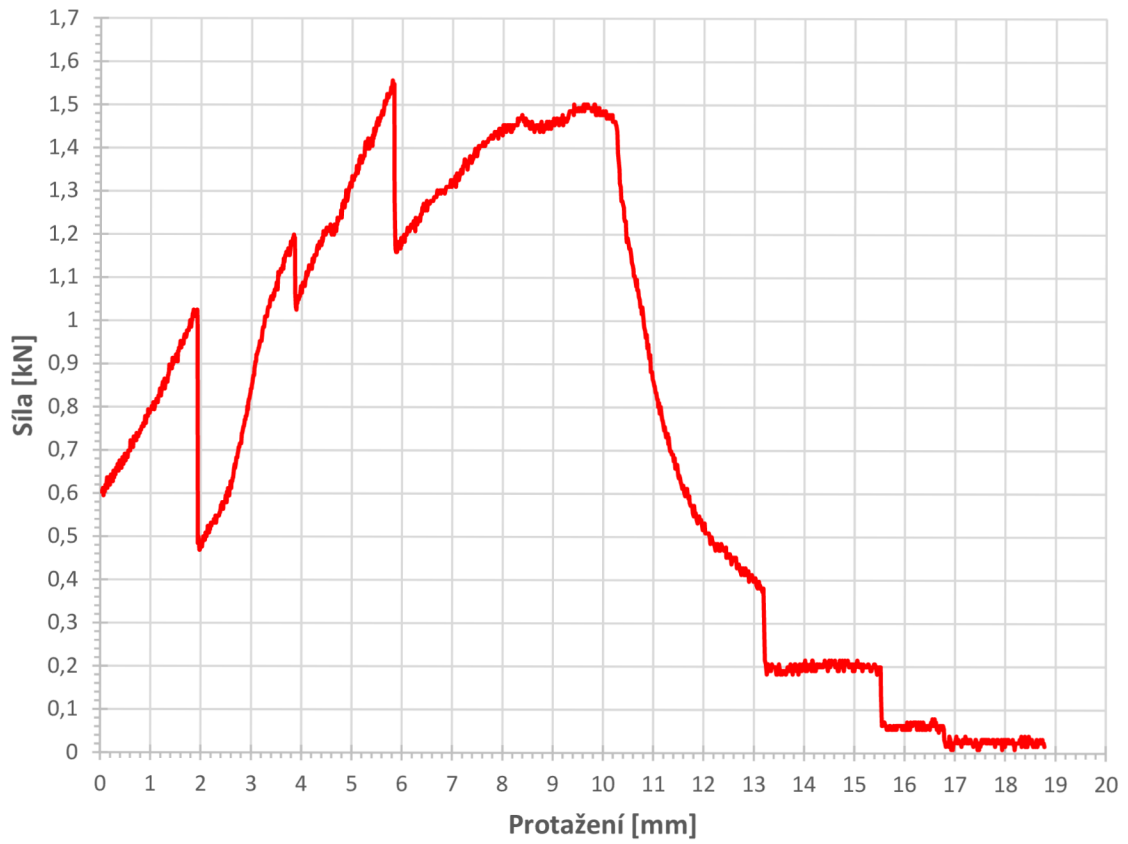


Obrázek 4.40 Vzorek 5/C po tahové zkoušce smykem.

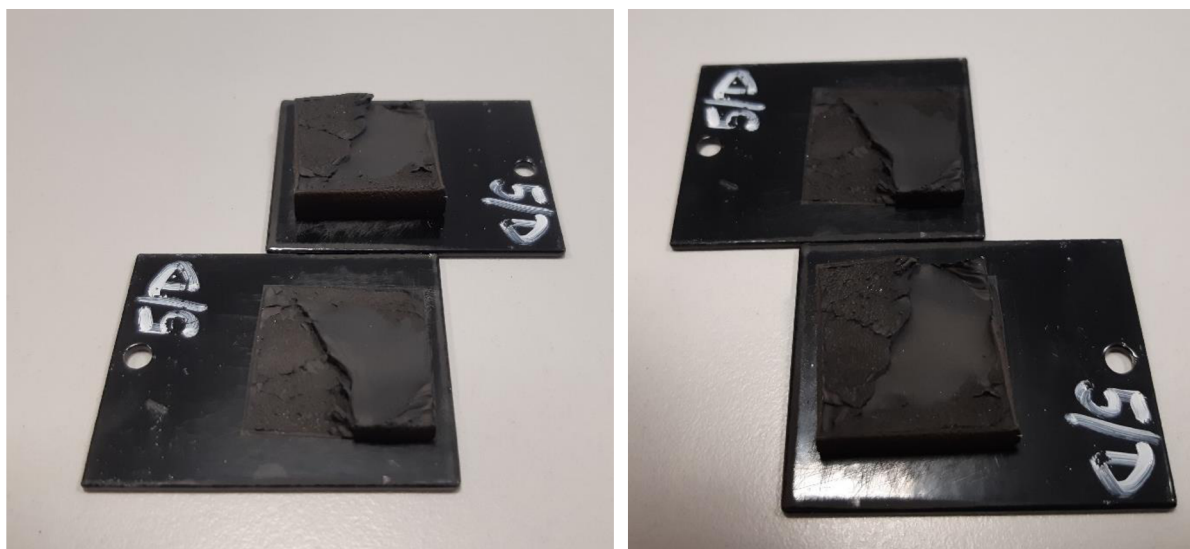


Obrázek 4.41 Grafická závislost zatěžující síly na prodloužení vzorku 5/C (max. síla 1,56 kN).

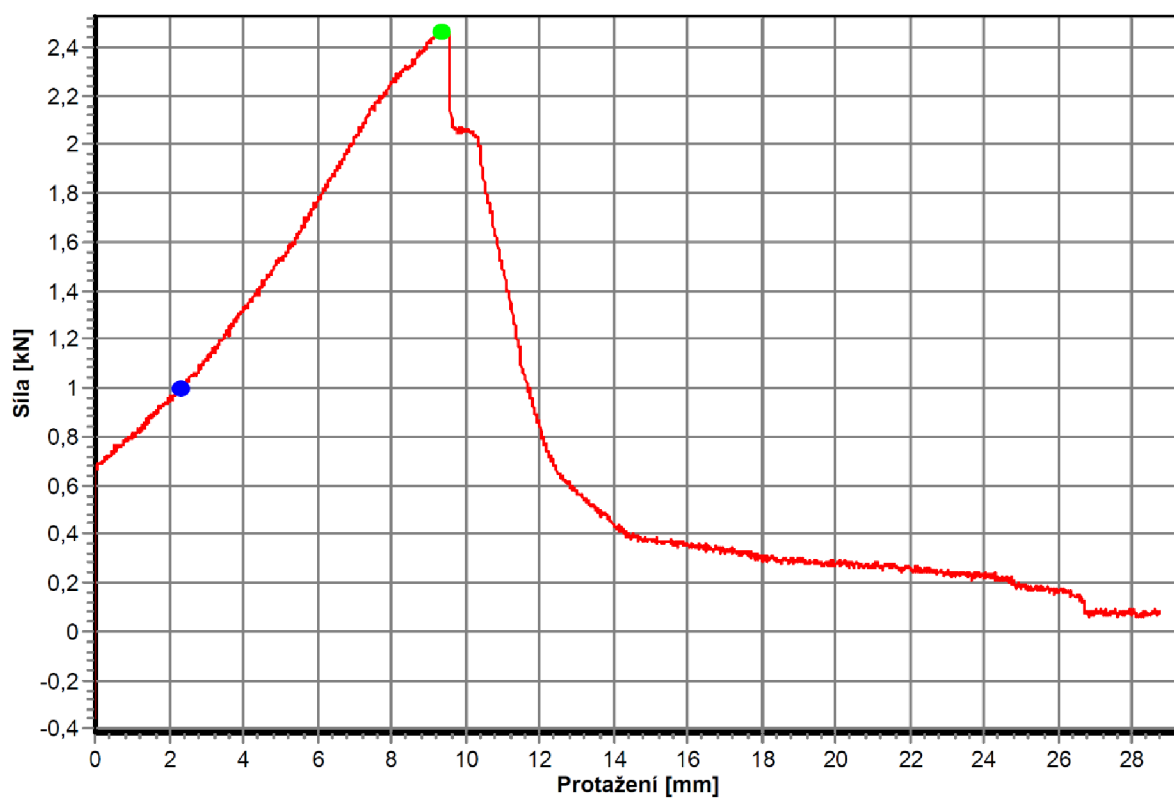
U vzorku 5/C došlo k utržení v pryži (R) a menším podílem je zde i vada CM. Grafická závislost vytvořená trhacím strojem je zkreslená, grafická závislost byla přepracována podle dat z trhacího stroje (obr. 4.42).



Obrázek 4.42 Grafická závislost síly na prodloužení vzorku 5/C - vytvořeno z dat trhacího stroje.



Obrázek 4.43 Vzorek 5/D po tahové zkoušce smykem.



Obrázek 4.44 Grafická závislost zatěžující síly na prodloužení vzorku 5/D (max. síla 2,47 kN).

U vzorku 5/D došlo k vadě pryže na celé ploše spoje. Hladká plocha na pryži značí, že pryž měla vnitřní vadu pravděpodobně způsobenou při procesu lisování a vulkanizace.



Vzorky bez grafické závislosti zatěžující síly na prodloužení s většinovou vadou CM na ploše spoje:



Obrázek 4.45 Vzorek 2/B.



Obrázek 4.46 Vzorek 2/D.



Obrázek 4.47 Vzorek 3/A.



Obrázek 4.48 Vzorek 3/B.



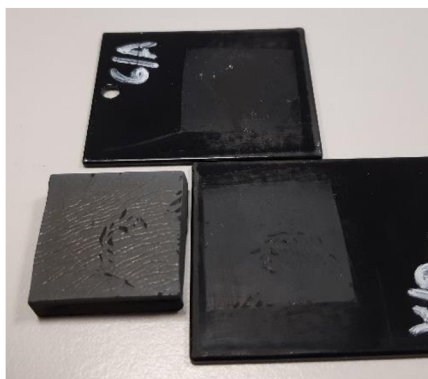
Obrázek 4.49 Vzorek 3/C.



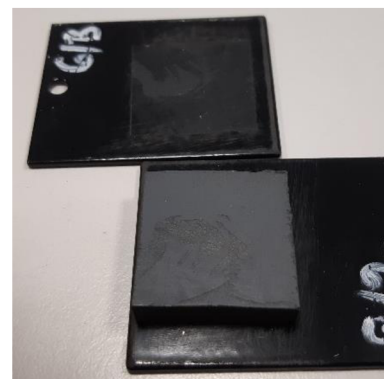
Obrázek 4.50 Vzorek 5/A.



Obrázek 4.51 Vzorek 5/B.



Obrázek 4.52 Vzorek 6/A.



Obrázek 4.53 Vzorek 6/B.



Obrázek 4.54 Vzorek 7/B.



Obrázek 4.55 Vzorek 9/A.

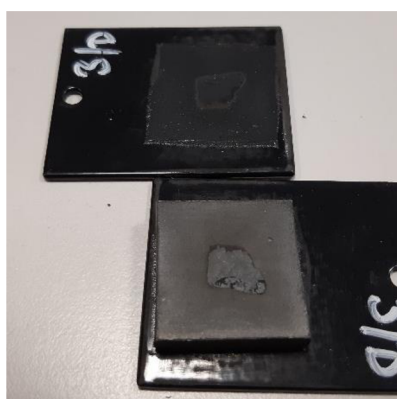


Obrázek 4.56 Vzorek 9/B.



Obrázek 4.57 Vzorek 9/C.

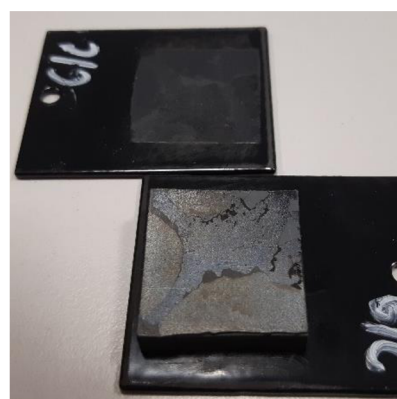
Vzorky bez grafické závislosti zatěžující síly na prodloužení s většinou vadou RC na ploše spoje:



Obrázek 4.58 Vzorek 3/D.



Obrázek 4.59 Vzorek 4/C.



Obrázek 4.60 Vzorek 6/C.

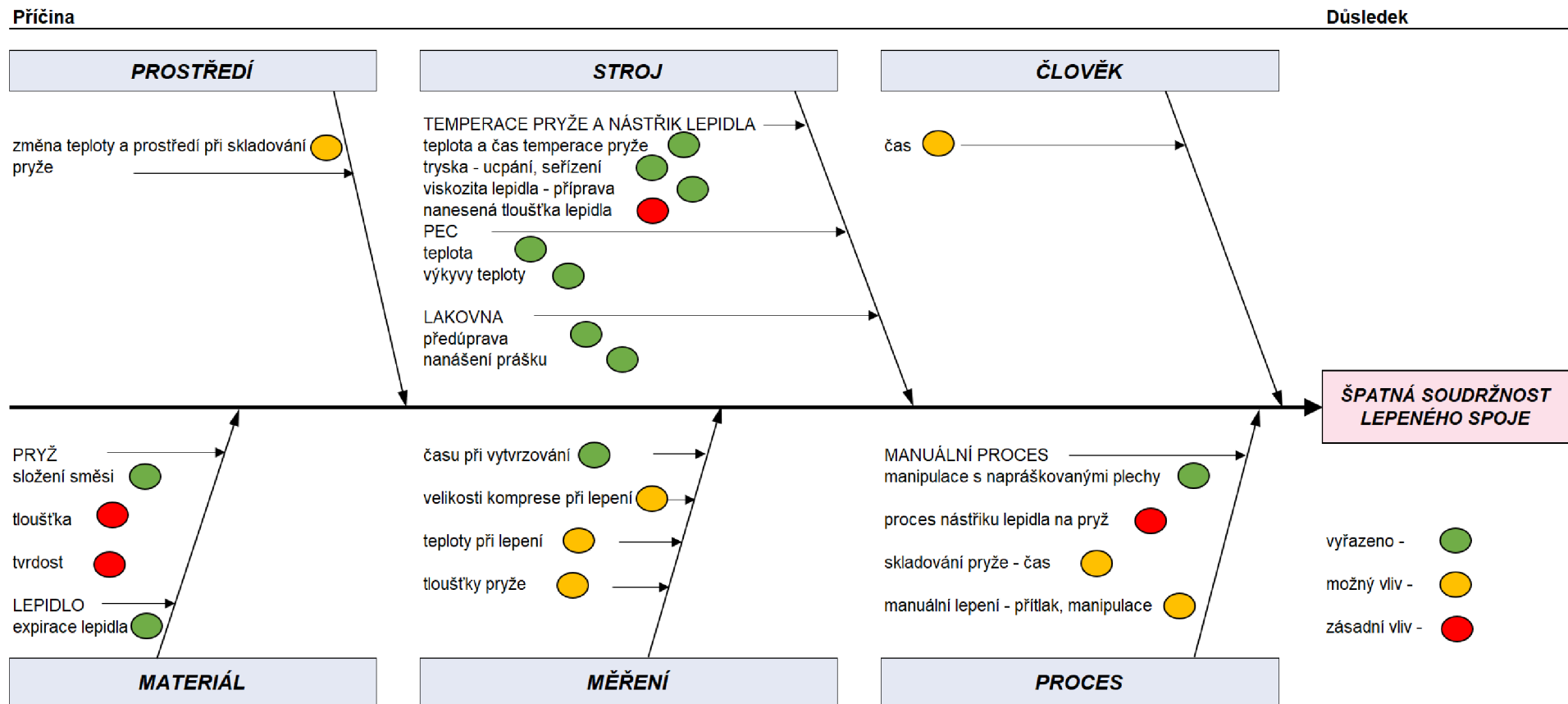


Obrázek 4.61 Vzorek 8/A.



Obrázek 4.62 Vzorek 8/B.

Výsledky nedopadly podle očekávání a nelze z nich spolehlivě vyhodnotit vliv technologie vytvrzení laku na kvalitu spoje. Ve výsledcích není žádný jasný trend, který by jasně naznačoval vliv technologie vytvrzení laku na konečnou soudržnost lepeného spoje. V reakci na tyto výsledky byl vypracován diagram Ishikawa, což je diagram příčin a následků, cílem tohoto diagramu bylo nalézt nejpravděpodobnější příčiny, které vedly ke špatné soudržnosti a pevnosti lepeného spoje. Výstupem této úvahy je návrh zlepšení pro budoucí práci.



Obrázek 4.63 Ishikawa diagram.

## PROSTŘEDÍ

- **Změna teploty a prostředí při skladování pryže** – při skladování pryžových dílů v krabici došlo k jejich krátkodobému skladování při vyšší teplotě než je teplota pokojová (cca 35-38 °C) a zároveň v prašném prostředí. Možný vliv na špatnou soudržnost lepeného spoje nelze vyloučit.

## STROJ

### Temperace pryže a nástřik lepidla

- **Teplota a čas temperace pryže** – temperace pryže proběhla v souladu s procesem výroby a byly dodrženy předepsané časové i teplotní intervaly temperace. Příčina byla vyřazena z možných vlivů.
- **Nanášecí tryska** – lepidlo bylo nanášeno nanášecí tryskou, kterou je nanášeno lepidlo ve výrobě a která je pravidelně kontrolována obsluhou stroje pro nanášení lepidla na pryžové díly. Příčina byla vyřazena z možných vlivů.
- **Viskozita lepidla** – lepidlo bylo mícháno standardním způsobem, lze tedy vyloučit nedostatečné promíchání lepidla.
- **Nanesená tloušťka lepidla** – tloušťka lepidla byla nanášena správně podle požadavků ve výrobě, tloušťka lepidla se pohybuje v rozmezí od 20 až do 40  $\mu\text{m}$ . Běžně lepené vzorky pro tahovou zkoušku smykem ve firmě jsou lepeny dvousložkovým lepidlem, které je nanášeno v tloušťce 0,3 až 0,5 mm. Pryžové pásy jsou dodávány s velkou tolerancí tloušťky  $6,2 \pm 0,3$  mm. Termoreaktivní lepidlo v tenké vrstvě tak nemusí být schopno vyrovnat výkyvy tloušťky pryže tak jako dvousložkové lepidlo nanášené ve větší vrstvě. Velikost tloušťky naneseného termoreaktivního lepidla bylo zahrnuto do příčin se zásadním vlivem na špatnou soudržnost spoje.

### Pec

- **Teplota** – teplota v peci byla regulována samotnou pecí a kontrolována pomocí digitálního teploměru PL-120-T1. Příčina vyřazena.
- **Výkyvy teploty** – výkyvy teplot v peci byly způsobeny otevíráním dveří při vkládání a vyjímání předmětů z pece. Pokles teploty byl do 5 °C a teplota byla regulována zpět na požadovanou teplotu. Příčina vyřazena.

### Lakovna

- **Předúprava** – plechy prošly standardním procesem úpravy povrchu před nanesením práškového laku. Příčina vyřazena.
- **Nanášení prášku** – plechy byly práškovány v práškovacích kabinách stejně jako ostatní výrobky firmy a prošly tak standardním procesem výroby. Příčina vyřazena.

## ČLOVĚK

- **Čas** – vzhledem ke zpožděným dodávkám materiálů (zejména zkušební lakované plechy a přípravek do trhacího stroje) byly testy provedeny ve velmi krátkém časovém úseku. Pro splnění termínu nebylo možné testy upravit a opakovat.

## MATERIÁL

### Pryž

- **Složení směsi** – složení směsi pryže bylo standardní a je běžně používáno pro tyto lepené vzorky. Příčina vyřazena.
- **Tloušťka** – pryž je dodávána s tloušťkou  $6 \pm 0,3$  mm, což způsobuje proměnlivou tloušťku spáry mezi plechem a pryží. V kombinaci s termoreaktivním lepidlem, které je nanášeno v malých vrstvách (zmíněno výše u „Nanesená tloušťka lepidla“). Výrobky v praxi mají větší tloušťku (do 3 cm), než byla tloušťka použité pryže v experimentu. Příčina má zásadní vliv na špatnou soudržnost spoje.
- **Tvrdoost** – tvrdost použité pryže v experimentu je 75 ShA, běžně používaná pryž ve výrobě má tvrdost 55 ShA. Měkčí pryž je výhodnější pro lepení, u nižší tvrdosti pryže je zajištěn lepší kontakt lepených ploch. Příčina má zásadní vliv na špatnou soudržnost spoje.

### Lepidlo

- **Expírace** – termoreaktivní lepidlo bylo použito v průběhu procesu výroby a bylo použito i na díly ve výrobě. Lepidlo nebylo prošlé. Příčina vyřazena.

### MĚŘENÍ

- **Čas při vytvrzování** – čas vytvrzování povlaku v peci byl měřen pomocí stopky s maximální úchylkou 5-10 sekund. Příčina vyřazena.
- **Velikost komprese při lepení** – komprese pryže při lepení byla kontrolována vizuálně a nebylo zajištěno objektivní měření pomocí přístroje, ale jen subjektivní názor obsluhy. Lze uvažovat možný vliv na špatnou soudržnost spoje.
- **Teplota při lepení** – teplota při lepení byla měřena digitálním teploměrem PL-120-T1 u náhodně vybraných kusů a byl dodržen teplotní rozsah pracovní teploty termoreaktivního lepidla. Příčina má možný vliv na špatnou soudržnost spoje.
- **Tloušťka pryže** – tloušťka pryže před lepením nebyla měřena. Příčina může mít vliv na špatnou soudržnost spoje.

### PROCES

#### Manuální proces

- **Manipulace s napráškovými plechy** – manipulace s plechy a vkládání do pece. Příčina vyřazena.
- **Proces nástřiku lepidla na pryž** – lepidlo bylo nanášeno z obou stran pryžového čtverce, standardně ve výrobě je na pryžové dílce nanášeno lepidlo z jedné strany. Před otočením a nanášením lepidla na druhou stranu pryžového čtverce nebyla dodržena v plném rozsahu předepsaná doba pro zaschnutí lepidla. Příčina má zásadní vliv na špatnou soudržnost lepidla.
- **Skladování pryže** – pryž s naneseným lepidlem byla skladována v krabici při pokojové teplotě po dobu 4-5 dní od nástřiku. Během testování byly vzorky krátkodobě ve výrobě, kde je teplota cca 30 °C po dobu cca 2 x 8 hodin. Možný vliv na špatnou soudržnost spoje nelze vyloučit.
- **Manuální lepení** – při dotahování ocelových desek u procesu lepení nebylo zaručeno stejného přtlaku pro každý vzorek. Přesnost ustavení lepeného spoje byla proměnná. Možný vliv nelze vyloučit.

## Návrh zlepšení pro možnou budoucí práci

Při zachování stejného konceptu experimentu byla navržena následující zlepšení:

- navrhnout nový přípravek na lepení vzorků – zajištění stejné velikosti stlačení pryže, jednodušší manipulaci a montáž, vodicí kolíky pro přesné ustavení,
- použít pryž s větší tloušťkou (tl. > 10 mm) a nižší tvrdostí (50-60 ShA),
- možnost provést dvojitý nástřik termoreaktivního lepidla pro zvýšení jeho vrstvy,
- vyvarovat se nedodržení doby schnutí lepidla před nástřikem druhé strany pryžového čtverce,
- zajistit neproměnné skladovací podmínky pro pryžové díly.

Změna koncepce experimentu:

Provést experiment vlivu technologie vytvrzování laku na kvalitu spoje přímo na reálných součástech vyráběných ve firmě. Pryžové díly mají větší tloušťku (cca 3 cm) a vulkanizovaná pryž má tvrdost od 50 do 55 ShA. Pryžové díly jsou vyrobeny vstřikováním do formy a je zajištěna přesnost povrchu určeného pro lepení. Pryžové díly mají zakřivenou lepenou plochu, která zlepšuje přilnutí přesně k lepenému kovovému materiálu kruhového příčného průřezu. Odchytkou od standardního procesu výroby by byla technologie vytvrzení povlaku na kovových součástech a cílem by bylo vyhodnotit tento vliv na výslednou kvalitu spoje.

### ZÁVĚR

Shrnutí dosažených výsledků práce:

- byl navržen experiment s různými vytvrzovacími parametry práškového laku, zahrnující 9 kombinací teplot a časů vytvrzení laku,
- bylo nalakováno 8 plechů pro každé nastavení, celkem tedy bylo nalakováno 72 plechů,
- bylo vyrobeno a otestováno 28 vzorků pro tahovou zkoušku smykem,
- z výsledků tahové zkoušky smykem nelze spolehlivě vyhodnotit vliv technologie vytvrzení laku na kvalitu spoje,
- na základě výsledků byly zjištěny nejpravděpodobnější příčiny nízké soudržnosti lepeného spoje pomocí Ishikawa diagramu a bylo navrženo zlepšení experimentálních zkoušek pro budoucí práci.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] TULKA, Jaromír. *Povrchové úpravy materiálů*. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemické, 2005, 135 s. ISBN 80-214-3062-1.
- [2] MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB, 1995, 151 s. : il. ISBN 80-7078-267-6.
- [3] KUBÍČEK, Jaroslav. Moření a leštění. In: *Odbor technologie svařování a povrchových úprav* [online]. Brno: © ÚST o. TSPÚ, 2018 [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hpu\\_renovace\\_a\\_povrchove\\_upravy\\_moreni\\_a\\_lesteni\\_2018\\_kubicek.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hpu_renovace_a_povrchove_upravy_moreni_a_lesteni_2018_kubicek.pdf)
- [5] Technolak, s.r.o. *Technolak, s.r.o.* [online]. Praha: Technolak, s.r.o., 2009 [cit. 2021-03-26]. Dostupné z: <http://www.webright.cz/demo/technolak/technologie.html>
- [6] *JEVAN* [online]. [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://www.jevan.cz/cs/>
- [7] KUBÍČEK, Jaroslav. Nátěrové hmoty. In: *Odbor technologie svařování a povrchových úprav* [online]. Brno, 2018 [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hpu\\_renovace\\_a\\_povrchove\\_upravy\\_naterove\\_hmoty\\_2018\\_kubicek.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hpu_renovace_a_povrchove_upravy_naterove_hmoty_2018_kubicek.pdf)
- [8] Elektrostatika. In: *Technolak* [obrázek]. Praha: Technolak, s.r.o., © 2009-2021 [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <http://www.webright.cz/demo/technolak/pics/elektrostatika.png>
- [9] *JOTUN* [online]. Copyright Jotun [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: [https://www.jotun.com/cz/cs/b2b/news/Faraday\\_cage.aspx](https://www.jotun.com/cz/cs/b2b/news/Faraday_cage.aspx)
- [10] Tribo. In: *Technolak* [obrázek]. Praha: Technolak, s.r.o., © 2009-2021 [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <http://www.webright.cz/demo/technolak/pics/tribo.png>
- [11] BILLER, Kevin. A Glimpse into the Manufacturing Process. In: *PCI* [online]. BNP Media, 2021 [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://www.pcmag.com/articles/94198-a-glimpse-into-the-manufacturing-process>
- [12] ANDREAS, Adam a Mike VENTURINI. Color and Effect Pigments in Powder Coatings. In: *PCI* [online]. BNP Media, 2021 [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://www.pcmag.com/articles/103987-color-and-effect-pigments-in-powder-coatings>
- [13] KUBÍČEK, Jaroslav. RENOVAČE A POVRCHOVÉ ÚPRAVY. In: *Odbor technologie svařování a povrchových úprav* [online]. Brno, 2006 [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hrp\\_renovace\\_a\\_povrchove\\_upravy\\_kubicek.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hrp_renovace_a_povrchove_upravy_kubicek.pdf)
- [14] *IFS Coatings* [online]. IFS Coatings, 2021 [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://www.ifscoatings.com/news/guides/the-different-types-of-powder-coatings/>
- [15] *Products Finishing* [online]. Cincinnati: Products Finishing, 2021 [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://www.pfonline.com/>
- [16] Infračervená pec. In: *AABO-IDEAL* [obrázek]. AABO-IDEAL [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: [https://aabo-ideal.com/wp-content/uploads/2019/04/IR-ovnl\\_galleri\\_847x482px.png](https://aabo-ideal.com/wp-content/uploads/2019/04/IR-ovnl_galleri_847x482px.png)
- [17] *Keyland Polymer* [online]. Cleveland: Keyland Polymer, 2021 [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://www.kpuvpowder.com/powder-coating/uv-benefits/>



- [18] UV curing. In: *Keyland Polymer* [obrázek]. Cleveland: Keyland Polymer, 2021 [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://www.kpupvpowder.com/wp-content/uploads/2015/10/Figure1-2.jpg>
- [19] Komorová pec. In: *Elsklo spol. s r. o.* [obrázek]. Elsklo, 2009-2021 [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <http://www.elsklo.cz/soubory/katalog/cs/rsv-otevorena-ii-t6.jpg>
- [20] Průběžná sušárna. In: *LAC, s.r.o.* [obrázek]. LAC, 2014 [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: [http://lacasia.net/cz/produkty/prubezne-pece-susarny-zakazkove-projekty/prubezna-susarna-sp-5700-02/ATYP\\_KOMPOZIT\\_SP\\_5700.jpg](http://lacasia.net/cz/produkty/prubezne-pece-susarny-zakazkove-projekty/prubezna-susarna-sp-5700-02/ATYP_KOMPOZIT_SP_5700.jpg)
- [21] Nátěrové hmoty - Mřížková zkouška. *Normy.Cz* [online]. 2010 [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <http://normy.cz/Detailnormy.aspx?k=93516>
- [22] Nátěrové hmoty - Zkoušky rychlou deformací (odolnost proti úderu) - Část 1: Zkouška padajícím závažím, velká plocha úderníku. *Normy.Cz* [online]. 2010 [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <http://normy.cz/Detailnormy.aspx?k=90055>
- [23] Nátěrové hmoty - Zkoušky rychlou deformací (odolnost proti úderu) - Část 2: Zkouška padajícím závažím, malá plocha úderníku. *Normy.Cz* [online]. 2010 [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <http://normy.cz/Detailnormy.aspx?k=90056>
- [24] Nevodivé povlaky na nemagnetických elektricky vodivých podkladech - Měření tloušťky povlaku - Metoda vířivých proudů využívající změny amplitudy. *Normy.Cz* [online]. 2010 [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <http://www.normy.cz/>
- [25] KUBÍČEK, Jaroslav. Lepení. In: *Odbor technologie svařování a povrchových úprav* [online]. Brno: © ÚST o. TSPÚ, 2018 [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hpu\\_renovace\\_a\\_povrchove\\_upravy\\_lepeni\\_2018\\_kubicek.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hpu_renovace_a_povrchove_upravy_lepeni_2018_kubicek.pdf)
- [26] MRŇA, Libor. Lepení materiálů. In: *Odbor technologie svařování a povrchových úprav* [online]. Brno: © ÚST o. TSPÚ [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv\\_specialni\\_metody\\_svarovani\\_lepeni\\_materialu\\_mrna.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv_specialni_metody_svarovani_lepeni_materialu_mrna.pdf)
- [27] MRŇA, Libor. Struktura lepeného spoje. In: *Odbor technologie svařování a povrchových úprav* [obrázek]. Brno: © ÚST o. TSPÚ [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv\\_specialni\\_metody\\_svarovani\\_lepeni\\_materialu\\_mrna.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv_specialni_metody_svarovani_lepeni_materialu_mrna.pdf)
- [28] KOTULA, Ondřej. Basic type of fracture. In: *Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně* [obrázek]. Zlín: © 2021 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2017 [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: [https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/40815/kotula\\_2017\\_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/40815/kotula_2017_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [29] MRŇA, Libor. Smáčivost. In: *Odbor technologie svařování a povrchových úprav* [obrázek]. Brno: © ÚST o. TSPÚ [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv\\_specialni\\_metody\\_svarovani\\_lepeni\\_materialu\\_mrna.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv_specialni_metody_svarovani_lepeni_materialu_mrna.pdf)
- [30] Elastomer (Rubber) Bonding Principles. *Parker LORD* [online]. © Parker Hannifin Corp 2020 [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: <https://www.lord.com/products-and-solutions/adhesives/rubber-bonding/elastomer-bonding-principles>
- [31] ZÁKLADY TEORIE LEPENÍ. In: *LEAR, a. s.* [online]. Praha: LEAR [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: [http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/lepeni/Teorie\\_lepeni%20\\_%20LEAR.pdf](http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/lepeni/Teorie_lepeni%20_%20LEAR.pdf)
- [32] KOLEKTIV AUTORŮ. *Loctite, Worldwide Design Handbook*. 2. vyd. Mainz: Erasmudruck GmbH, 1998. ISBN 0-9645590-0-5.

- [33] MRŇA, Libor. Návrh lepeného spoje. In: *Odbor technologie svařování a povrchových úprav* [obrázek]. Brno: © ÚST o. TSPÚ [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv\\_specialni\\_metody\\_svarovani\\_lepeni\\_materialu\\_mrna.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv_specialni_metody_svarovani_lepeni_materialu_mrna.pdf)
- [34] MRŇA, Libor. Typy spojů. In: *Odbor technologie svařování a povrchových úprav* [obrázek]. Brno: © ÚST o. TSPÚ [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv\\_specialni\\_metody\\_svarovani\\_lepeni\\_materialu\\_mrna.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv_specialni_metody_svarovani_lepeni_materialu_mrna.pdf)
- [35] HARTL, Martin. Konstruování strojů - strojní součásti. In: *VUT v Brně* [online]. Brno: Copyright © 2021 VUT [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: [https://moodle.vutbr.cz/pluginfile.php/249316/mod\\_resource/content/2/5KS\\_Prednaska\\_7\\_nahled.pdf](https://moodle.vutbr.cz/pluginfile.php/249316/mod_resource/content/2/5KS_Prednaska_7_nahled.pdf)
- [36] Namáhání lepeného spoje smykem. In: *Publi* [obrázek]. Code Creator, s.r.o. [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: [https://publi.cz/books/208/images/pics/2/2\\_38.jpg](https://publi.cz/books/208/images/pics/2/2_38.jpg)
- [37] JANČAŘÍKOVÁ, Marie. *Testování pryžových těsnících prvků podrobených různým vnějším vlivům* [online]. Brno, 2016 [cit. 2021-05-04]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/58309>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta chemická. Ústav chemie materiálů. Vedoucí práce Radka Bálková.
- [38] CROWTHER, Bryan. *Handbook of Rubber Bonding*. United Kingdom: Rapra Technology Limited, 2001. ISBN ISBN 1-85957-394-0.
- [39] ŠKÝVARA, Jindřich. *Hodnocení kvality spoje kov - pryž* [online]. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2016, 106 s. [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10563/37932>. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce Sedlačík, Michal.

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
APAO	-	Alfa polyolefin
BR	-	<i>Butadiene-rubber</i> – butadienový kaučuk
CM	-	<i>Cement-metal interface failure</i> – vada mezi adhesivem a kovem
CP	-	<i>Cement-primer interface failure</i> – vada mezi adhesivem a primerem
DIBF	-	Diisobutylftalát
EVA	-	Ethylenvinylacetát
F	[N]	Axiální síla
IR	-	<i>Infra Red</i> – infračervené
MBT	-	2-merkaptobenzothiazol – urychlovač
MEK	-	Methylethylketon
NR	-	<i>Natural rubber</i> – přírodní kaučuk
PA	-	Polyamid
PbO	-	Oxid olovnatý
PU	-	Polyuretan
R	-	<i>Rubber failure</i> – vada pryže
RC	-	<i>Rubber-cement interface failure</i> – vada mezi pryží a adhesivem
$R_{ms}$	[MPa]	Pevnost lepidla ve smyku
RPO	-	Reaktivní polyolefin
S	[mm <sup>2</sup> ]	Lepená plocha
SBR	-	<i>Styrene-butadiene-rubber</i>
ShA	-	Shore A
$T_g$	[°C]	Teplota skelného přechodu
TMTD	-	Tetramethylthiuramdisulfid – urychlovač
UV	-	<i>Ultra-violet</i> – ultrafialové záření
ZnO	-	Oxid zinečnatý
b	[mm]	Šířka lepené plochy
k	[-]	Součinitel bezpečnosti
l	[mm]	Délka lepené plochy
phr	-	Parts per Hundred Rubber, počet dílů přísady na sto dílů kaučuku - dsk
$\tau_k$	[MPa]	Smykové napětí

---

**SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha 1 Technický list práškového laku Guard Shield CS8 X  
Příloha 2 Technický list termoreaktivního lepidla CHEMITAC 80DG



## Guard Shield CS8 X

### POPIS VÝROBKU

Toto je výrobková řada vyvinuta tak, aby poskytla dobrou odolnost vůči korozi a odletujícím kamínkům, s dobrými mechanickými a chemickými vlastnostmi.

Má ověřenou stálost kvality i aplikace na lakovací lince, doložena technickou odborností.

### Oblasti použití

Tato výrobková řada je navržena tak, aby splnila požadavky OEM. Pro více informací kontaktujte prosím obchodního nebo technického zástupce společnosti Jotun.

Primární oblasti aplikace:  
Standardní automobilové vinuté pružiny  
Standardní automobilové stabilizační tyče

### VLASTNOSTI PRÁŠKU

#### Skladování

Uchovávejte na suchém, chladném místě. Maximální teplota 25 °C. Maximální relativní vlhkost 60 %. Skladovatelnost by neměla přesahovat 12 měsíců za výše uvedených podmínek.

### APLIKACE

#### Předúprava

Celková kvalita nátěrové hmoty závisí do značné míry na typu a kvalitě předúpravy. Povrch musí být očištěn od oleje, mastnoty, rzi a zbytků po otryskání.

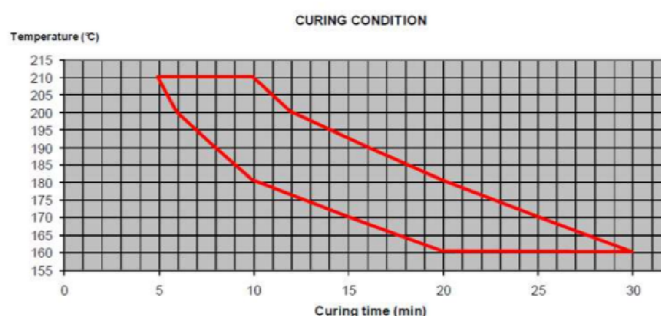
Při vyšších požadavcích doporučujeme vhodnou mechanickou a/nebo chemickou předúpravu (např. otryskání, fosfátování). Podrobnější pokyny vyhledejte u Vašeho dodavatele předúpravy.

#### Aplikace prášku

Vytvzovací podmínky	Teplota objektu	Čas
	180 °C	10 minuty

Doporučená tloušťka filmu (µm): Typical 50-90, maximální 250  
Nedoporučuje se znovu přelakovávat, příp. jen do tloušťky max. 250 µm a s otestováním vlastností výrobku.

#### Vytvrzení



Bližší možnosti vytvrzení mohou být vypracovány po technickém schválení, kdy se vezme v úvahu daná technologie a technické parametry.

### Aplikační zařízení

Vhodné pro ruční nebo automatizované stříkací pistole Corona i Tribo. Doporučené nabíjecí napětí je 40-90 kV.

### VZHLED

<b>Barva</b>	Černá, nebo dle požadavku zákazníka	
<b>Lesk</b>	EN ISO 2813 (60°)	75-95
<b>Povrch</b>	Hladký	

Je-li povrch aplikace příliš malý nebo nevhodný ke změření lesku pomocí leskoměru, je třeba lesk porovnat vizuálně s referenčním vzorkem (ze stejného úhlu pohledu).

### TECHNICKÉ PARAMETRY

Veškeré testy byly provedeny na kovových vinutých pružinách či panelech dle specifikace nátěru. Práškový nátěr byl nalakován na otryskané vinuté pružiny s předúpravou fosfátem zinečnatým. Tloušťka filmu (µm) 60-65

Vlastnosti	Norma	Výsledek
<b>Přilnavost</b>	ISO 2409	Hodnocení mřížkové zkoušky Gt0 (100 % přilnavost)
<b>Zkouška tvrdosti tužkami</b>	ISO 15184	> H1
<b>Zkouška hloubením</b>	ISO 1520	≥ 5 mm
<b>Pružnost, válcový trn</b>	ISO 1519	≤ 6 mm
<b>Odolnost proti rázu</b>	ASTM D2794 (5/8 " ball)	> 60 palce-libry bez popraskání nátěrové vrstvy
<b>Odolnost vůči oprýskání kamínky</b>	ISO 20567-1, Metoda B, -30 °C	Minimální Hodnocení 1
<b>Tepelný cyklus</b>	Zahřátí na 90 °C po dobu 240 h, odstátí vzorku při pokojové teplotě, poté zchlazení na 24 h při -40 °C (vyhodnocení proveďte až po jedné hodině při pokojové teplotě).	Beze změny vzhledu

<b>Ponoření ve vodě</b>	Vzorek ponořen na 24 h do 60°C demineralizované vody (vzorek usušte a počkejte 2 h před testem adheze při pokojové teplotě).	Minimální Hodnocení 1
<b>Vystavení vlhkosti</b>	ISO 6270-2, 240 h	Žádné zpuchýřkování, bez koroze a ztráty adheze
<b>Zkouška odolnosti proti solnému postřiku</b>	ASTM B117, 1000 h	Max. 3 mm podkorodování od zářezu
<b>Cyklická korozní zkouška</b>	10 cyklů 1 cyklus = 24 h (ISO 9227 NSS) + 96 h (ISO 6270-2 stálá vlhkost + 48 h (při pokojové tepl.); podkorodování vyhodnoceno dle ISO 4628-8	Max 2 mm ; žádné zpuchýřkování, bez koroze
<b>Chemická odolnost (Do chemického roztoku ponořit asi 2/3 testovaného vzorku.)</b>	Motorový olej, 24 h na 100±2 °C	Bez vzniku puchýřků (vyhodnoťte po zchlazení na pokojovou teplotu)
<b>Chemická odolnost (Do chemického roztoku ponořit asi 2/3 testovaného vzorku.)</b>	Palivo (bezolovnatý premium benzín a nafta), 7 h na 20±5 °C	Bez vzniku puchýřků
<b>Chemická odolnost (Do chemického roztoku ponořit asi 2/3 testovaného vzorku.)</b>	Chladicí kapalina (50% etylenglykol, 50% demineralizovaná voda) 1 h na 70±2 °C	Bez vzniku puchýřků (vzorky vyhodnoťte po opláchnutí a usušení)
<b>Chemická odolnost (Do chemického roztoku ponořit asi 2/3 testovaného vzorku.)</b>	Zásady (0.1N NaOH), 7 h při 20±5 °C	Bez vzniku puchýřků (vzorky vyhodnoťte po opláchnutí a usušení)
<b>Chemická odolnost (Do chemického roztoku ponořit asi 2/3 testovaného vzorku.)</b>	Kyselina (0.1N H2SO4), 7 h při 20±5 °C	Bez vzniku puchýřků (vzorky vyhodnoťte po opláchnutí a usušení)

*Poznámka:  
Uvedené výsledky se zakládají na mechanických a chemických testech, které byly vykonány (není-li uvedeno jinak) v laboratorních podmínkách a jsou určeny pouze jako vodítko.  
Skutečné vlastnosti výrobku budou záviset na podmínkách, za kterých bude výrobek použit.*

## Vyloučení odpovědnosti

Informace v tomto dokumentu jsou uvedeny podle nejlepších znalostí a vědomostí společnosti Jotun, na základě laboratorních zkoušek a praktických zkušeností. Výrobky společnosti Jotun jsou považovány za polotovary a jako takové jsou tyto výrobky často používány za podmínek mimo kontrolu společnosti Jotun. Jotun poskytuje záruku pouze na kvalitu samotného výrobku. Pro splnění místních předpisů lze provést drobné obměny výrobku. Jotun si vyhrazuje právo měnit uvedené informace bez dalšího upozornění.

Doporučujeme uživatelům, aby vždy kontaktovali Jotun ohledně poskytnutí konkrétních doporučení týkajících se všeobecné vhodnosti tohoto výrobku pro své potřeby a konkrétních aplikačních postupů.

V případě jakýchkoliv nesrovnalostí mezi různými jazykovými verzemi tohoto dokumentu platí verze v anglickém jazyce (Velká Británie).

## CHEMITAC 80DG

### DESCRIPTION

Chemitac 80DG is a thermoreactive adhesive used with primer Chemitac 11 for bonding NR, SBR, BR, CR, NBR, HNBR, IIR, CIIR, BIIR, CSM and EPDM to rigid substrates. It can also be used as a one-coat adhesive for bonding NR, SBR, BR, CR, NBR, CIIR, BIIR and CSM to KTL-treated substrates as well as to RFL-treated fibers or in conjunction with Chemitac 50 or Chemitac 94 for bonding untreated fibers.

### TYPICAL PROPERTIES

<b>Appearance</b>	Dark Gray liquid
<b>Nonvolatile solids content (1h @ 105°C)</b>	25-28%
<b>Specific gravity @ 25°C</b>	0.980-1.020 g/cm <sup>3</sup>
<b>Viscosity, Brookfield @ 25°C</b>	200-300 cps - Spindle 2, 30 rpm
<b>Viscosity, Ford Cup No.4 @ 25°C</b>	40-100 s
<b>Solvents</b>	Xylene/Toluene
<b>Bonding Temperature Range</b>	130-200°C
<b>Shelf life</b>	1 year (unopened container below 25°C)
<b>Dry film density</b>	1.7 g/cm <sup>3</sup> (calculated)

### CHEMICAL COMPOSITION

Polymers and fillers stabilized in aromatic solvents.

### SUBSTRATE PREPARATION

#### RIGID SURFACES

Surface preparation comprises two steps:



1. **Cleaning** – Solvent degreasing or alkaline cleaning methods should be used to remove oils, greases and dirt. Cleaning solutions should be kept free from contamination and replaced when necessary.
2. **Surface treatment** – In order to achieve good adhesion results, the surface must be either mechanically or chemically treated before the application of the adhesive.
  - **Chemical treatment** – Phosphatizing, anodizing and KTL coatings are the most commonly used methods.
  - **Mechanical treatment** – We recommend grit blasting the surface to a roughness (Rz) greater than 15 microns. Steel grit should be used for ferrous metals such as steel and iron; for other nonferrous metals, the use of aluminum oxide is recommended. Care should be taken to maintain grits clean. Blasting residues should be removed before the application of the adhesive. Layover time between blasting and adhesive application should be kept to a minimum in order to avoid oxidation.

### TEXTILE FIBERS

Chemitac 80DG can be directly applied to RFL-treated fibers. For untreated fibers, we recommend applying Chemitac 50 or Chemitac 94 prior to Chemitac 80DG.

### ADHESIVE APPLICATION

**Agitation** – We recommend stirring Chemitac 11 before the application to avoid settling.

**Dilution** – We recommend the dilution be always made with Xylene or Toluene. Dilution of the product depends upon the type of application.

- **Dip** – 20-50% v/v.
- **Brush/Roll** – 20-50% v/v.
- **Spray** – 50-100% v/v.

**Application Layer** – If Chemitac 80DG is being used as a one-coat adhesive, it is recommended a layer from 20 to 25 microns. If used as a covercoat adhesive, then the primer layer thickness should be 3-8 microns and the adhesive layer thickness should be 15- 25 microns.

**Drying** – Drying time is usually 30-45 minutes at room temperature. If it is necessary to reduce drying time, we recommend using circulating air at 70°C for 15 minutes maximum. These values are only an estimated guideline and can vary. Check the purity of drying air to avoid contamination. The adhesive film should be completely dry before the application of the covercoat adhesive and/or vulcanization.

The application layer and drying time values are to be used as reference. They may deviate based on processing conditions. For more details and guidance, please contact us at [tech.support@chemitac.com](mailto:tech.support@chemitac.com).

**Storage of coated parts** – Coated parts can be stored for 30 days before vulcanization in a clean and moisture-free condition.

### **CAUTIONARY INFORMATION**

Before using this product, please refer to the Safety Data Sheet for safe use and handling instructions.

### **STORAGE**

Keep the container tightly closed and away from heat sources. Maximum temperature storage is 25°C.

### **ADDITIONAL INFORMATION**

For more information on this and other products, please contact us:

[tech.support@chemitac.com](mailto:tech.support@chemitac.com)