



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**KYANOAKRYLÁTOVÉ LEPIDLO V
PRŮMYSLU**

CYANOACRYLATE ADHESIVES IN INDUSTRY

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Libor Novák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaroslav Kubíček

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Libor Novák**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Jaroslav Kubíček**
Akademický rok: 2015/16

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 diplomové práce:

Kyanoakrylátové lepidlo v průmyslu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rozvoj lepení v oblasti strojní výroby má významný růst. Kyanoakrylátová - sekundová lepidla se v současnosti využívají ve zpracovatelském a elektrotechnickém průmyslu i domácnostech. Je snaha o jejich rozšíření do strojírenského a automobilního průmyslu.

Cíle diplomové práce:

1. Provést literární studii procesu průmyslového lepení.
2. Navrhnout typy spojů a lepidel pro experiment.
3. Ověřit vlastnosti spojů provedených pomocí kyanoakrylátového lepidla na různorodých základních materiálech. Jako základní materiály zvolit uhlíkovou a korozivzdornou ocel, hliník, plast typu ABS a sklo.
4. Vyhodnotit experimentální zkoušky.

Seznam literatury:

Kolektiv autorů. (1998): Loctite Worldwide Design Handbook. Erasmusdruck GmbH.
Osten,M. (1996): Práce s lepidly a tmely. Grada Publishing s.r.o Praha.
Loctite - Průmyslová lepidla a tmely, [http:// www.loctite.cz](http://www.loctite.cz), přístup 22.listopadu 2015
Sika CZ, produkty a řešení , [http:// www.cze.sika.com](http://www.cze.sika.com), přístup 22.listopadu 2015

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

NOVÁK, Libor: Kyanoakrylátové lepidlo v průmyslu.

Diplomová práce je zpracována jako experiment, který má popsat a ověřit vlastnosti kyanoakrylátových lepidel značky Loctice a Sika Lock. Dále porovnává vlastnosti zmíněných lepidel, a to na deseti různých materiálech. Ty byly následně slepeny do přeplátovaného spoje. Po slepení byla část vzorků ponechána běžným podmínkám a druhá část se vložila do kataplasmy, kde byly vystaveny extrémním podmínkám (zvýšená vlhkost a teplota). Následovala zkouška na smykové namáhání spoje vzorku. Změřené hodnoty zatížení se zaznamenaly do grafů, a to pro každý slepený materiál zvlášť.

Klíčová slova: kyanoakrylát lepení kataplasma loctice sika

ABSTRACT

NOVÁK, Libor: Cyanoacrylate adhesives in industry.

The diploma thesis is processed as an experimental verification of properties of cyanoacrylate adhesives Loctite and SikaLock. The experiment compares properties of mentioned adhesives on ten different materials. These Materials were glued to the overlap joint. After bonding one part of samples were left usual conditions and the second part was put into the kataplasma, where the samples were exposed extreme conditions (high wetness and temperature). The next step was a test for shear stress. Measured values were recorded in graphs, for each pasted material.

Keywords: cyanoacrylate bonding kataplasma loctite sika

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

NOVÁK, Libor. *Kyanoakrylátové lepidlo v průmyslu*. Brno, 2016. 73s, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie svařování a povrchových úprav. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Kubíček.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V dne 27. 5. 2016

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Jaroslavovi Kubíčkovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce a firmě Sika CZ, s.r.o. za poskytnutí materiálů a zázemí. Dále bych chtěl poděkovat své přítelkyni za podporu a věcné rady a své rodině za možnost studia.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

	Str.
ÚVOD	9
1 PUŽITÍ LEPIDEL V PRŮMYSLU	10
1.1 Typy lepených spojů	10
2 TEORIE LEPENÍ	12
2.1 Rozdělení lepidel	12
2.2 Adheze, koheze	13
2.3 Smáčivost	14
2.4 Odmaštění	16
2.5 Mechanická úprava lepených povrchů	17
2.6 Aktivátory, primery	19
2.7 Nanesení lepidla	19
2.8 Poruchy lepeného spoje	20
2.7 Namáhání spojů	21
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	23
3.1 Princip kyanoakrylátových lepidel	24
3.2 Materiály	25
3.3 Prostředek na odmaštění	26
3.4 Primery	27
3.5 Kyanoakrylátová lepidla	29
3.5.1 Sika Lock 2020 PR	30
3.5.2 Sika Lock 2300 RT B	31
3.5.3 Loctite 406	32
3.5.4 Loctite 480	33
3.6 Typy strojů	35
3.7 Smykové zatížení	36
4 TECHNICKÉ HODNOCENÍ	65
5 ZÁVĚRY	67

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam obrázků

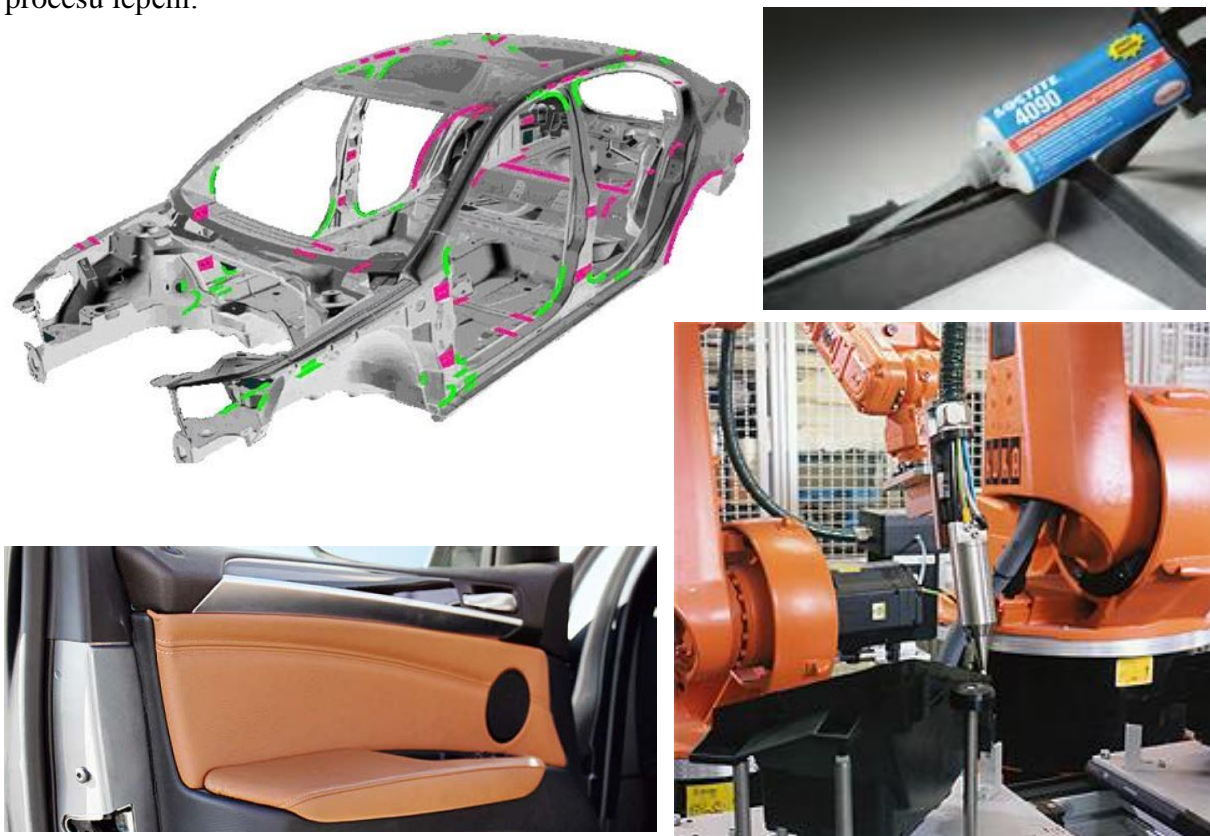
Seznam tabulek

ÚVOD [17], [18], [19], [27]

Zvyšování technické úrovně konstrukcí v oblasti spojování klasických i novodobých materiálů vedlo ke značnému rozšíření výroby syntetických lepidel, pojiv a tmelů a souběžně s tím i k vývoji technologií umožňujících jejich vhodné použití. Díky tomu se stalo lepení jednou ze základních technologií ve spojování kovů, plastů i kombinovaných systémů materiálů téměř ve všech průmyslových odvětvích. Lepení umožňuje nové kombinační možnosti spojování materiálů oproti klasickým metodám, jako jsou například nýtování, svařování, stloukání, šroubování nebo sešívání. Slepění materiálů dovoluje získat spoje takových tvarů a vlastností, které nejsou dosažitelné jinými způsoby. Navíc oproti ostatním technologiím není při lepení téměř nikdy ovlivněn základní materiál lepeného spoje, což je výhoda oproti například svařování.

Důležité parametry technologie lepení jsou také ekonomičnost a efektivnost, které se projevují hlavně v automobilovém a leteckém průmyslu. Lepení dovoluje jak pevné, tak i pružné spoje a dokonce umožňuje i vrstvení materiálů na sebe. Tímto způsobem můžeme spojit téměř všechny materiály mezi sebou navzájem nebo dokonce i s jinými materiály. Díky tomu se lepení velmi rozšířilo nejen v individuálních pracích, ale i v průmyslových oborech, neboť lepidla umožňují spojování bez velkých nároků na vybavení dílny. Nemůže se však předpokládat, že každé lepidlo poskytne pevné spoje na všech druzích materiálů, přestože některá lepidla se mohou použít k lepení široké řady materiálů. Jen s určitými druhy lepidel, na konkrétních materiálech a za určitých pracovních podmínek lze získat spoje s optimálními vlastnostmi v určitém směru.

Proto základní úlohou konstruktéra je volba vhodného typu lepidla pro spojení daného typu materiálu a současně zohlednit všechny další potřeby této technologie, jako jsou úprava lepeného povrchu, způsob nanášení lepidla, procesy aplikace, nebo chování lepidla během procesu lepení.



Obr. 1 Použití lepidel v průmyslu [1], [2], [4], [20]

1 POUŽITÍ LEPIDEL V PRŮMYSLU [18], [19], [22], [27]

Lepidla mají čím dál tím větší zastoupení v hromadné výrobě, a proto jsou na ně kladeny velké požadavky ohledně pevnosti nebo životnosti spoje. Z tohoto důvodu je potřeba vybrat co nejvhodnější lepidla, která zajistí co nejlepší výsledky a zajistí požadovanou pevnost spoje po celou dobu fungování výrobku. To otvírá nové možnosti se uplatnit na trhu se spojovacími materiály a obzvláště automobilový průmysl je velice pestrou oblastí.

Sika je celosvětově působící společnost v oboru speciálních chemikálií s vedoucím postavením ve vývoji a výrobě systémů pro lepení, těsnění, tlumení, zesilování a ochranu ve stavebnictví a automobilovém průmyslu. Sika má zastoupení v 84 zemích po celém světě a vyrábí ve více než 160 výrobních závodech. Aktivita se zaměřují na 7 cílových trhů: Přísady pro výrobu betonu, hydroizolace, izolace střeš, podlahy, tmelení a lepení, sanace a ochrana betonu, průmyslová lepidla a tmely. Dceřiná společnost Sika CZ, s.r.o. působí na našem trhu od roku 1993 a patří k předním dodavatelům tmelů a lepidel v České republice. Ta dodává na náš trh několik typů lepidel a chtěla by paletu rozšířit o nový produkt.



Obr. 2 Lepení autoskla [22]

Pro průmyslová lepidla je při výrobě dopravních prostředků, zařízení a stavebních prvků stále více požadováno používání lehkých a energeticky efektivních spojů a metod. Mezi nejvíce využívané oblasti v průmyslu patří:

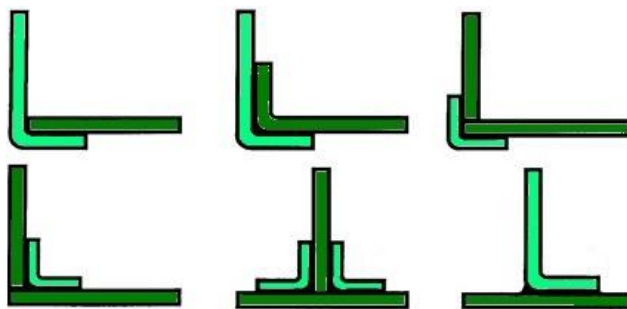
- automobilní (strukturální lepení, přímé zasklívání, akustické systémy)
- druhotná výroba (výměna auto skel, opravy karoserií)
- užitková vozidla a vozy hromadné dopravy
- námořní zařízení a komponenty
- spotřebiče a komponenty
- obnovitelné zdroje (solární a větrné)
- stavebnictví (strukturální zasklení, utěsnění izolačních skel),

Nové technologie umožňují také nárůstu odolné slepení pro zvýšení bezpečnosti. Nová řešení pro lepení odlišných materiálů, jako jsou například hliník a karbon, umožňují lehčí a úspornější vozidla. Výrobci také hledají řešení pro minimalizaci produkčního času a nákladů.

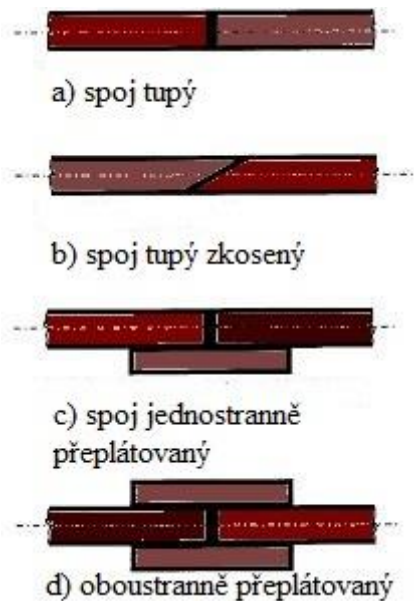
1.1 Typy lepených spojů [3], [8], [11], [18], [19], [27], [29]

Existuje celá řada možností, jak lepidlem spojit dva materiály. Ty nejzákladnější se rozdělují na čtyři typy: spojení čelních ploch, násuvné spoje, koutové spoje (obr. 3) a přeplátované spoje.

Spoje jednostranně přeplátované (obr. 4c) se využívají zejména při lepení tenkých materiálů. V těchto případech lze zanedbat vliv ohybového momentu vznikajícího následkem excentricky zatíženého spoje usouborů tlustších materiálů. U jednostranně přeplátovaných spojů se soustřeďuje tahové napětí především na obou koncích přeplátování a působí zde jako síla podporující odlupování. Při zvyšujícím se zatížení se na obou koncích



Obr. 3 Koutové spoje [10]



Obr. 4 Přelátované spoje [11]

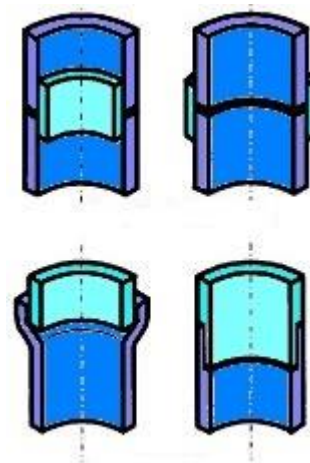
U přelátovaných spojů je nutné počítat s rizikem, že se některé okrajové plochy budou odlupovat. Stává se to hlavně při nalepování plechů, tkanin, laminátů apod. na kompaktní podklad. Odlupování se zabrání buď vhodným zalemováním, zalištováním, vyvážením tuhosti spojovaných dílců, zvětšením stykové plochy, anebo úpravou lepeného spoje na spoj kombinovaný, například spoj lepený a současně nýtovaný.

Spoje čelních ploch (obr. 4a) jsou použitelné jen pro dostatečně tlusté materiály, kde dolní limit je 30 až 50 mm. Při spojování tenčích materiálů musí být spoje vhodně upraveny zvětšením povrchu buď úkosy, anebo různě tvarovanými drážkami.

Násuvné spoje (obr. 5) jsou obdobou přelátovaných plochých spojů a spojů s příložkami. Osvědčují se zejména při spojování trubek z lehkých kovů a plastů. Při lepení trubek se určuje minimální hloubka zasunutí podle vztahu 1.1:

$$h = 0,6 \cdot d + 6, \quad (1.1)$$

kde: h – hloubka zasunutí [mm]
d – vnější průměr trubky [mm]



Obr. 5 Násuvné spoje [11]

přelátování zvětšuje napětí až do kritického momentu, kdy se spoj směrem od konců přelátování ke středu spáry naruší a roztrhne. Spoj se roztrhne tím dříve, čím větší je deformace lepených částí. Délka přelátování záleží na druhu materiálů a tloušťce lepených dílců. Přelátování má být nejméně pětinašobek jejich tloušťky.

To samé platí i pro spoje s příložkami, jelikož jsou jen jinou formou přelátování. Spoji oboustranně přelátovanými (obr. 4d) a spoji s oboustrannými příložkami se čelí vlivu excentricnosti. Dvojitě a symetricky přelátované spoje jsou co do smykové pevnosti asi o třicet procent odolnější, než jednoduše přelátované asymetrické spoje.

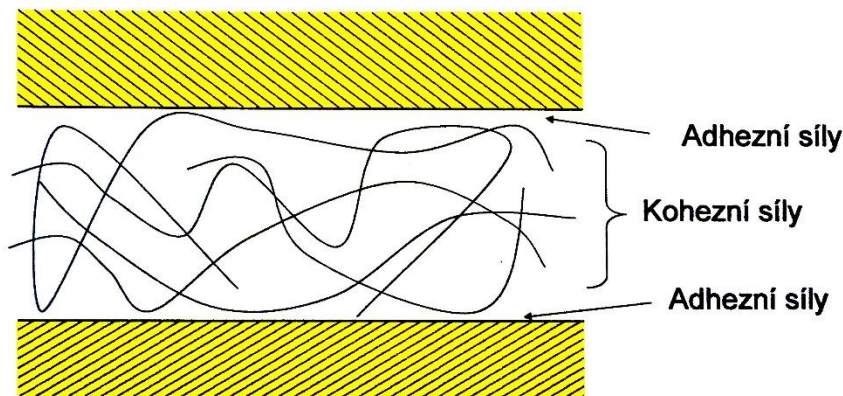
U přelátovaných spojů je nutné počítat s rizikem, že se některé okrajové plochy budou odlupovat. Stává se to hlavně při nalepování plechů, tkanin, laminátů apod. na

2 TEORIE LEPENÍ [3], [8], [11], [18], [19], [27], [29]

Pojem lepení znamená spojení dvou a více ploch skrze lepidla, které má dobrou přilnavost k lepeným plochám. Dokonalé přilnutí k povrchům lepeného materiálu je zajištěno tím, že každé lepidlo je v okamžiku lepení v tekutém stavu. Pevnost slepeného spoje je závislá na čtyřech parametrech:

- na přilnavosti lepidla k lepenému povrchu (adheze)
- na soudržnosti hmoty lepidla, neboli na vnitřní pevnosti (koheze)
- na smáčivosti lepeného povrchu
- na pevnosti lepeného materiálu

Síly vyvolávající přilnavost lepidla k lepenému materiálu označujeme jako adhezi (přilnavost) a kohezi (soudržnost). Působení těchto sil je zobrazeno na obrázku č. 6. Pro pevnost



lepeného spoje má význam nejen adheze lepidla k lepenému materiálu, ale i soudržnost filmu lepidla po ztuhnutí nebo vytvrzení. Vzájemná soudržnost částic téhož materiálu se označuje jako koheze. Z toho vyplývá, že pokud je adheze lepeného spoje větší než koheze spojovaných materiálů, dojde při mechanickém namáhání

Obr. 6 Síly uvnitř lepeného spoje [8]

k porušení materiálu mimo lepený spoj. Je-li naopak koheze větší jak adheze, dojde k porušení lepeného spoje.

Aby vznikl pevný spoj, je třeba, aby lepený materiál a lepidlo prošly třemi základními fázemi. Prvně musí být lepidlo nanášeno na obě stykové plochy a musí je v tekutém stavu smáčet. Následně by měli vzniknout podmínky k tomu, aby se ve spáře vytvořil stejnoměrný film lepidla. Nakonec musí lepidla ve spáře ztuhnout a vázat povrchy obou dílů.

2.1 Rozdělení lepidel [3], [8], [11], [18], [19], [27], [29]

Podle způsobu tuhnutí lepidla ve spoji rozeznáváme: lepidla tuhnoucí vlivem vsáknutí a odtékání rozpouštědel, tavná, stále lepivá a reaktivní. Reaktivní lepidla, do kterých patří i kyanoakryláty, tuhnou vlivem chemických změn v průběhu vytvrzování. Reaktivní lepidla dělíme dále na jednosložková a vícesložková.

Základní dělení lepidel:

Lepidla kapalná:

- ❖ Reaktivní dvousložková, která se vytvrzují chemickou reakcí dvou složek (např. epoxidy)
- ❖ Reaktivní jednosložková, která se vytvrzují vulkanizací vzdušnou vlhkostí (např. kyanoakryláty).
- ❖ Rozpouštědlová, která se vytvrzují odpařením rozpouštědel (např. kaučuková).
- ❖ Vodná roztoková, která se vytvrzují odpařením vody (např. škrobová).
- ❖ Vodná disperzní, která se vytvrzují odpařením vody a spojením jednotlivých částíček polymeru do souvislého filmu.

Lepidla pevná:

- Tavná, která se do lepivého stavu přivedou roztavením a vytvrzují se ochlazením.
- Redispergovatelné prášky, u kterých rozmícháním ve vodě vznikne disperze, která vytvrzuje odpařením vody a spojením částic polymerů za vzniku souvislého filmu.

Z toho vyplývá, že i pevná lepidla musí být před lepením uvedena do kapalného stavu, aby bylo umožněno smáčení povrchů.

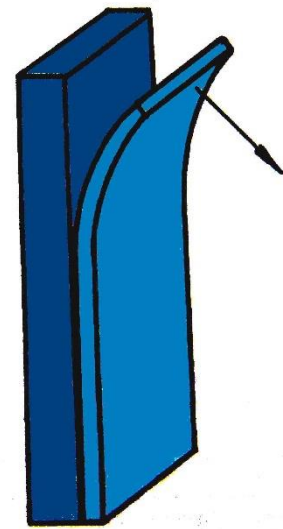
Jednosložková reaktivní lepidla vytvrzují chemickou reakcí vyvolanou vnějšími vlivy, jako je teplota, vzdušná vlhkost, styk s materiálem atd. U vícesložkových lepidel jsou jednotlivé složky dodávány odděleně a směšují se těsně před použitím. Spoje provedené reaktivními lepidly se obecně vyznačují dobrou tepelnou odolností, odolností vůči rozpouštědlům, vodě a povětrnosti.

Stejně jako u jiných technologií, tak i lepení je vyznačováno mnoha výhodami, ale i nevýhodami či limitujícími činiteli, jako jsou větší nároky na čistotu a přesnost práce. Proto je důležité uvážit klady a zápory ve srovnání s ostatními způsoby spojování. Přednosti lepení jsou následující:

- Dovoluje spojovat stejné nebo různé materiály bez vlivu na jejich tloušťku.
- Aplikací lepidel není narušena celistvost spojovaných dílců.
- Je možné připravit spoje vodotěsné a plynotěsné.
- Není narušený profil ani estetický vzhled lepeného souboru.
- Lepený spoj tlumí vibrace v konstrukci a zvyšuje tuhost i vzpěrnou pevnost souboru.
- Zabraňuje vzniku elektrolytické koroze kovových dílců.
- Nezvyšuje se hmotnost spojené součásti.
- Spoje mohou být průhledné nebo barevně přizpůsobené.
- Dosažení vysoké pevnosti spojů, zejména při namáhání ve smyku a rázové houževnatosti.

Na druhou stranu má tato technologie i spoustu nevýhod:

- Jsou kladeny vysoké požadavky na rovnost a čistotu povrchu lepených dílců.
- Nutné speciální úpravy povrchu při spojování materiálů se špatnými adhezními vlastnostmi.
- Spoje jsou nerozebíratelné.
- Většina lepených spojů jsou citlivá vůči namáhání v odlupování (obr. 7).
- Maximální pevnost spoje dosažena až po určité době.
- Omezená životnost u reaktivních lepících směsích.
- Omezená odolnost vůči vyšším teplotám
- Časově omezená skladovatelnost většiny lepidel.
- Lepení nelze provádět při nízkých teplotách.

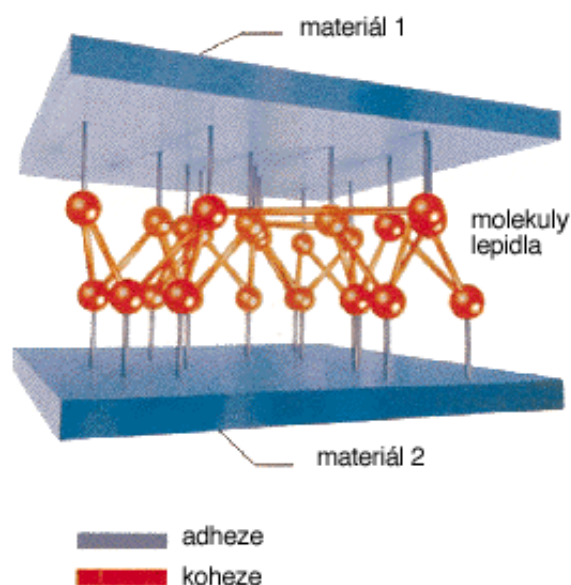


Obr. 7 Odlupování spoje [11]

2.2 Adheze, koheze [3], [8], [11], [18], [19], [27], [29]

Adheze je základní předpoklad úspěšného lepení (obr. 8). Pokud lepidlo nepřilne dostatečně pevně k materiálu, spoj nedrží a dochází k rozlepení na rozhraní lepidlo – lepený materiál. To znamená, že vnitřní soudržnost lepidla (koheze) a vlastní pevnost materiálu je vyšší než přilnavost (adheze). Pro vysvětlení adhezní síly jsou dva teoretické modely vazby mezi

lepidlem a lepeným povrchem: mechanická vazba a chemická vazba, nazývaná také jako specifická.



Obr. 8 Detail lepeného spoje [29]

lepidlem a povrchem za vzniku kovalentní vazby. Proto se dobře lepí oxidované povrchy, jako jsou kovy nebo oxidované plasty, nebo povrchy přírodních polymerů, jako jsou dřevo nebo papír. Proto správně vybrané lepidlo musí obsahovat volné skupiny, schopné reakce s povrchem lepeného materiálu.

Koheze je vlastní pevnost vrstvy lepidla. To znamená, že pokud se lepený spoj roztrhne ve vrstvě lepidla, tak adheze i pevnost lepeného materiálu je vyšší než koheze. Kohezní pevnost závisí na charakteru lepidla a na tepelném namáhání spoje.

Mechanická vazba (obr. 9) se uplatňuje jen u členitých nebo porézních povrchů. Lepidlo zatéká do pórů a prohlubní a po ztuhnutí se utvoří pevný zámek mezi hmotou lepidla a materiálem. Tato vazba je důležitá při lepení materiálů, jako jsou keramika, pěnové plasty, dřevo nebo papír. Pro lepení leštěných hladkých ploch je tato vazba nevýznamná.

Chemická vazba se uplatňuje u porézních i hladkých povrchů. Teorie je založena na působení slabých van der Waalových elektrických přitažlivých sil mezi molekulami lepidla a materiálu, ale zejména na přímém chemickém působení lepidla na lepený povrch. Z tohoto důvodu se lépe spojují spoje, u kterých má materiál reaktivní povrch, nebo chemicky upravený tak, že proběhne chemická reakce mezi



Obr. 9 Mechanická vazba [8]

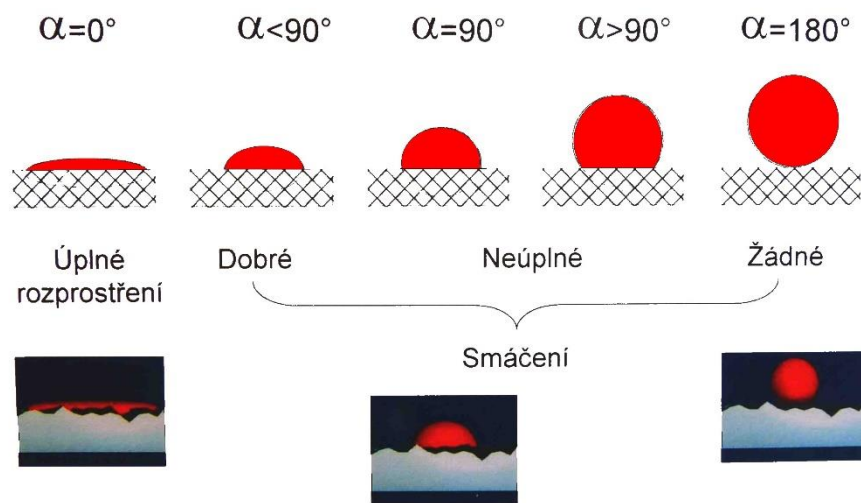
2.3 Smáčivost [3], [8], [11], [18], [19], [27], [29]

Mimo mechanické a chemické vazby je také velmi podstatná smáčivost lepeného povrchu daným lepidlem, která je daná úhlem smáčivosti α (obr. 10). Pokud není lepidlo schopné se rovnoměrně rozprostřít po lepeném povrchu,

Polární látky	Povrchové napětí
celulóza	> 70 mN/m
železo	60 mN/m
PVC	40-45 mN.m
Nepolární látky	
PE (polyetylen)	24-29 mN/m
PP (polypropylen)	28-34 mN/m
Silikon	< 20 mN/m
Teflon	< 20 mN/m
Příklady povrchových napětí kapalin	
Voda	73 mN/m
Ethanol	23 mN/m
Voda + saponát	24 - 40 mN/m

povrchy mají mnohé plasty nebo syntetické textilie.

Polarita povrchu je příčinou vzniku takzvané povrchové energie, která se vyjadřuje veličinou povrchové napětí. U povrchového napětí platí, že čím je vyšší jeho hodnota, tím je pevný povrch nebo kapalina polárnější. Je-li povrchové napětí kapaliny nižší než povrchové napětí pevného materiálu, dojde k rozlití kapaliny po povrchu



Obr. 10 Hodnocení smáčení podle úhlu smáčení α [8]

(smočení). Je-li naopak povrchové napětí kapaliny vyšší než napětí povrchu, kapalina se nerozlije a kapka kapaliny na povrchu drží jako kulička. Nesmáčí-li lepidlo lepený povrch, adheze bude slabá a lepený spoj se rozpadne. Pro vyjádření povrchového napětí se používá jednotka mN/m. Příklady materiálů a jejich povrchového napětí je uvedeno v tabulce 1.

Povrchová energie (obr. 8) se vypočítá pomocí Youngovy rovnice:

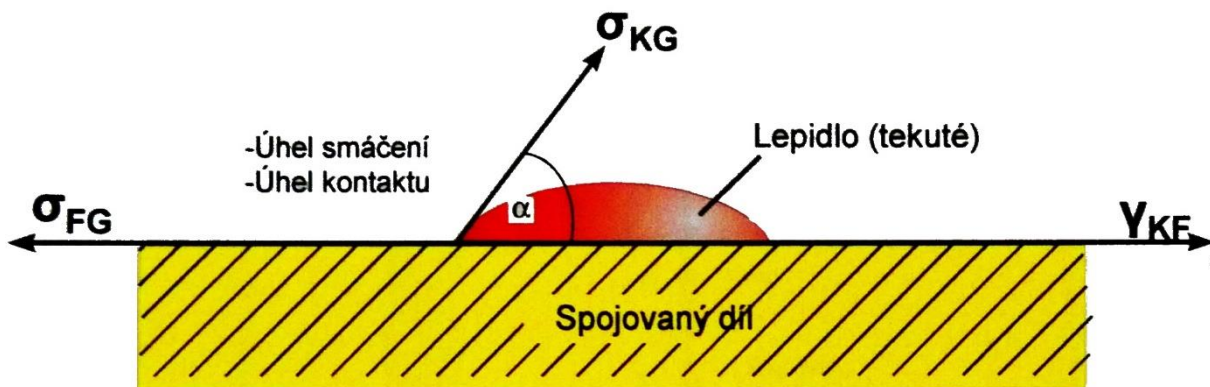
$$\cos \alpha = \frac{\sigma_{FG} - \gamma_{KF}}{\sigma_{KG}}$$

kde: σ_{FG} – povrchová energie spojovaného dílu [N/m]

γ_{KF} – napětí na styčné ploše mezi povrchem spojovaného dílu a lepidlem [N/m]

σ_{KG} – povrchové napětí tekutého lepidla [N/m]

α – úhel smáčení [°].

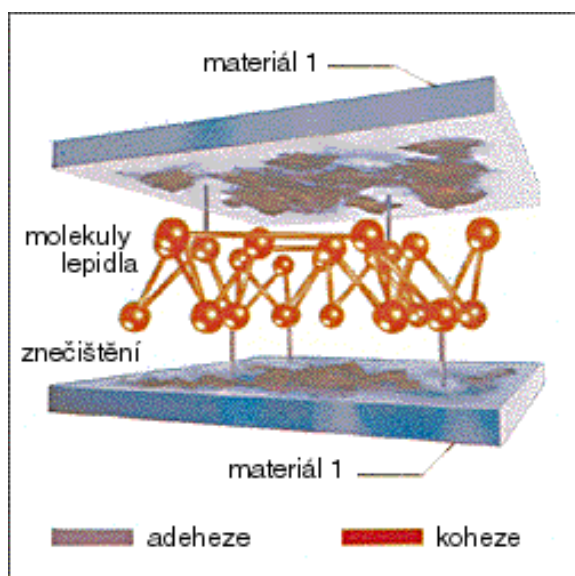


Obr. 11 Smáčecí schopnost [8]

Pro lepení nepolárních povrchů je nutné před samotným lepením jejich povrch upravit tak, aby se stal polárnější a byly zde reakce schopné chemické skupiny. Z tohoto důvodu se například polyethylen nebo polypropylen před lepením povrchově oxidují. Pro oxidaci se používá buď ošlehnutí plamenem, nebo působení silných oxidačních činidel, jako jsou kyselina chromsírová nebo peroxid vodíku s kyselinou sírovou. Často se také používá koronizace elektrickým jiskrovým výbojem.

2.4 Odmaštění [3], [8], [10], [11], [18], [19], [27], [29]

Pro dosažení optimálního slepení je nutná správná příprava povrchů. Příprava materiálů na lepení se skládá z dělení, obrábění, čištění, odmašťování a slícování lepených dílců. Cílem přípravy povrchu je dosáhnout maximální adhezi a zabránit podoxidování lepidla. Povrchová úprava adherendu je jednou z nejdůležitějších operací při lepení. Navrhuje se dle druhu a stavu lepeného materiálu, druhu použitého lepidla, provozních požadavků a životnosti spoje, únosnosti výrobních nákladů apod. Na čištění a odmašťování se používají: alkalická odmašťovadla, tamponování rozpouštědly a odmašťování v párách rozpouštědla. Vhodná odmašťovadla jsou např. IPA (isopropylalkohol), technický aceton, butanon-2 (MEK - metyletylketon), perchloretylen. Nevhodná jsou laková rozpouštědla a benzin. Poměrně často se používá moření materiálů v různých kyselinách (hliník a jeho slitiny) v domácích podmínkách lze vystačit s mořením ve 20 % roztoku louhu sodného (NaOH). V případě moření se obvykle dosahuje vyšší pevnosti spojů jako při mechanické úpravě povrchu. Z hlediska kvality lepených spojů je důležitá také drsnost povrchu lepených ploch. V domácí dílně vystačíme s ocelovým kartáčem a smirkovým plátnem se zrnitostí 100 až 120 v průmyslových aplikacích (viz. tabulka 2).



Obr. 12 Nečistoty na povrchu [29]

Úplné odstranění oleje, tuku a jiných zbytkových nečistot je nutné k dosažení co nejlepšího lepeného spoje (obr. 12). K tomu jsou vhodná rozpouštědla, která se odpařují beze zbytku. Alkalické nebo kyselé vodní čisticí lázně téměř vždy obsahují antikoroziční přísady. Jestliže tyto inhibitory zůstanou na vyčištěných površích pro lepení, mohou snížit přilnavost lepidla nebo zabránit i jeho vytvrzení. Jsou-li takové čisticí systémy použity, musí se vždy provést předběžné zkoušky. V každém případě všechny materiály se musí důkladně opláchnout a utřít. Pokud se používají speciální odmašťovací lázně pro velké výrobní série, doporučuje se silně znečištěné síly předem očistit, aby čisticí lázeň nebyla brzy kontaminovaná. Často se také používají parní odmašťovací systémy. U nich se rozpouštědlo ohřívá na bod varu a odpařuje se. Při kontaktu studeného dílu s párou začne čistič kondenzovat na povrchu materiálu. Vzniklá kapalina odplavuje zbývající částice nečistot a tuku. Tento způsob odmašťování se provádí ve zcela uzavřeném zařízení, kde lze použít silná rozpouštědla. U mnoha aplikací však postačuje ošetření povrchů tzv. rychločističem. Ten odstraňuje oleje, tuky, volné částice špíny a jiných nečistot, a tak lze snadno připravit povrchy pro lepení. Při čištění rozpouštědly je možné napomoci chemického procesu odmašťování též mechanickým působením, například stírání hadrem, a tím dosáhnout lepších výsledků.

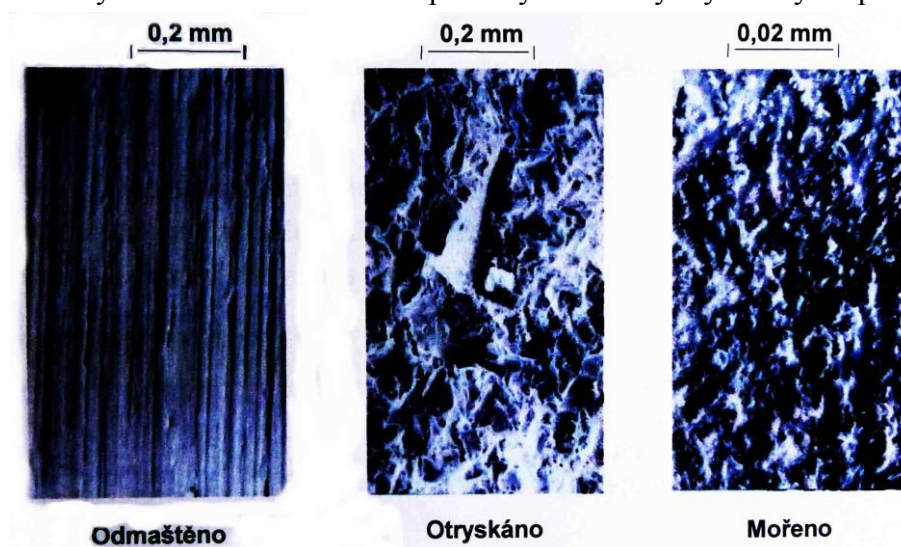
Tab. 2 Příklady použití povrchové úpravy kovových materiálů před lepením [10].

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

2.5 Mechanická úprava lepených povrchů [3], [7], [8], [18], [19], [27], [29] [7]

Mechanická příprava povrchu pro lepení je důležitá například u znečištěného povrchu kovů, které jsou často pokryté povlakem oxidů, který není možné odstranit odmaštěním. V takových případech je nutné mechanické očištění povrchu, jako například otryskávání, obroušení nebo okartáčování drátěným kartáčem. Otryskávání je dobrý způsob pro čištění velkých ploch. Drsnost povrchu dosažená tímto způsobem poskytuje velmi dobré výsledky lepení, není-li použito příliš hrubého otryskávacího materiálu. Obroušením získáme rovněž rovnoměrnou a vhodnou drsnost povrchu. V tomto případě je důležité použít brusiva vhodné zrnitosti (např. 300 až 600 pro hliník, 100 pro ocel). Po otryskání, obroušení nebo kartáčování je třeba součásti odmastit, aby se odstranily poslední stopy ulpělého brusiva. Velmi špinavé součásti mají být odmaštěny také před mechanickým ošetřením, aby povrch neušpinil otryskávací materiál nebo použité abrasivum. V praxi jsou různé způsoby mechanické úpravy velmi jednoduše proveditelné a všeobecně poskytují přiměřenou pevnost lepeného spoje. Jestliže mají být lepeny plasty nebo součásti z gumy, je třeba nejdříve odstranit nečistoty v podobě povrchových filmů,

separátorů forem nebo vulkanizačních vrstev. Pro plasty se jako účinná abrasiva ukázaly litina nebo kysličník hliníku. Gumové povrchy mohou být vyčištěny rozpouštědly nebo obroušením.



Obr. 14 Úprava povrchu před lepením [8]

Účinky tohoto ošetření se liší podle typu materiálu. Průmyslové použití je omezené, protože manipulace a nakládání s mořidly jsou stále dražší. Vzhled povrchů po jednotlivých úpravách je na obrázku 14.

Předběžné ošetření ionizací mění polaritu povrchů a jejich energii podobně jako chemické ošetření. V závislosti na materiálu, geometrii zpracovávaného dílu, postupu výroby a počtu součástí se používají postupy uvedené v tabulce č. 3.

Tab. 3 Postupy předběžného ošetření [29].

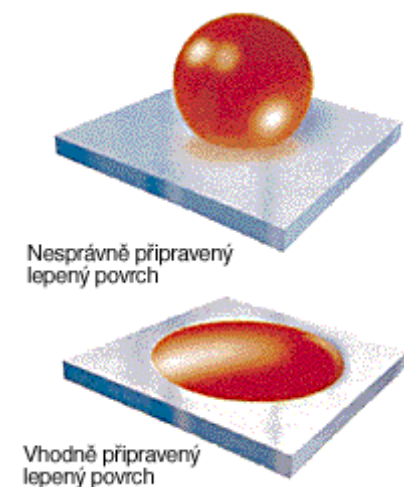
Materiál	Postupy předběžného ošetření			
	Odmaštění	Mechanická abraze	Moření	Primer
Kovy	⊕	⊕	•	•
Sklo	⊕	•	•	•
Plasty	⊕	⊕	•	•
Guma	⊕	•		•
⊕ = preferovaný postup • = přídatný postup				

povrchu jen aktivní látky. V závislosti na druhu primeru může být povrch připraven k lepení třeba okamžitě jako v případě polyolefinových primerů pro kyanoakryláty. Povrchové primery všeobecně zlepšují vhodnost k lepení tím, že působí jako chemický můstek mezi materiálem a lepidlem. Je příznačné, že reaktivní látky v nich jsou multifunkční, přičemž jedna soustava aktivních skupin bude reagovat především s povrchem a druhá soustava zvýší afinitu k lepidlu.

Ošetření povrchu může být posouzeno zkouškou smáčivosti vodními kapkami. Na čistý povrch se nanese několik kapek čisté vody. Na nesprávně očištěném povrchu se do značné míry udrží kulovitá podoba vodních kapek a povrch je třeba očistit ještě jednou. Jestliže se voda na vyčištěném povrchu rozprostře, je smáčení uspokojivé a lepený povrch je

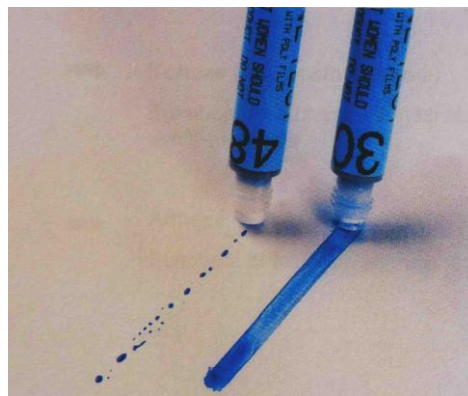
Pro moření povrchů se používají relativně agresivní chemikálie. V závislosti na materiálu se použije velmi kyselých nebo silně alkalických chemikálií. Leptání mění povrch materiálu, protože vznikají reakční skupiny a vytvářejí se dutinky, které představují místa pro mechanické zachycení lepidla.

Primární nátěry obsahují obvykle v rozpouštědle rozptýlené chemické látky. Při jejich používání se roztok nanáší na povrch materiálu štětcem nebo nástřikem. Nosný materiál, ředidlo se pak nechá odpařit a zanechá na



Obr. 13 Vhodnost lepení povrchu [29]

dostatečně čistý (obr. 13). Tento způsob není vhodný u anodových povlaků na hliníku a hořčíku. Výhodou zkoušky smáčivosti vodními kapkami je snadná dostupnost zkušebního média. Tato výhoda je ovšem omezena protože různá tvrdost použité vody ovlivňuje její povrchové napětí. V některých případech ani destilovaná voda nedává spolehlivé výsledky. V kritických případech se proto doporučuje použít v této zkoušce speciálních testovacích kapalin (obr. 14) se známým povrchovým napětím. Zkouška určí jen smáčivost povrchu materiálu, ale nikoliv jeho lepitelnost.

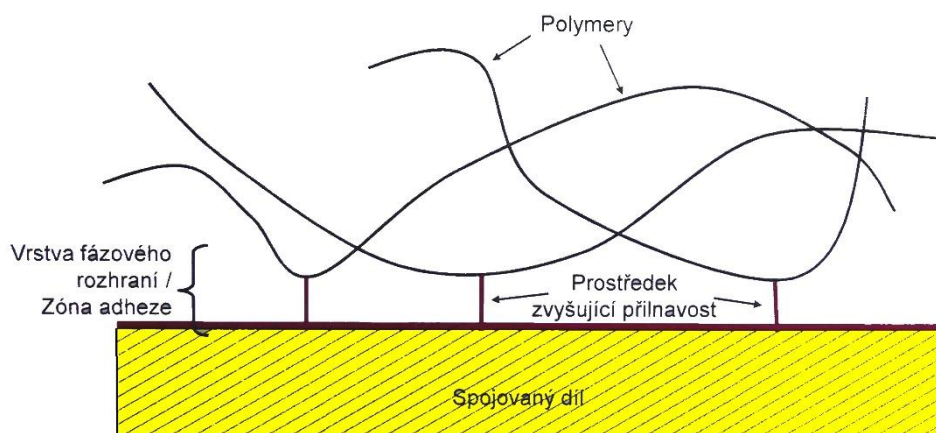


Obr. 14 Zkouška smáčivosti [8]

2.6 Aktivátory, primery [3], [7], [8], [18], [19], [27], [29]

U některých lepidel je nutné použít aktivátor. Aktivátor slouží pro nějaký typ lepidla na iniciaci vytvrzování, zatímco u jiných lepidel (např. anaerobních) dává aktivátor možnost zlepšit vytvrzování nebo jeho zrychlení. Na rozdíl od primerů aktivátory obvykle nezlepšují přilnavost, zlepšují však kohezi lepidla a zaručují jeho správné vytvrzení.

Primery (Zlepšovač přilnutí) slouží ke zlepšení přilnavosti a trvanlivosti spoje, nepodporují



Obr. 15 Vliv primeru na lepení [8]

však vytvrzení lepidla. Protože jsou primery můstkem mezi materiálem a lepidlem, viz, obrázek č. 15, neexistuje žádný univerzální primární nátěr pro všechna lepidla. Proto nabízí například Loctite různé primery pro optimální zlepšení přilnavosti a trvanlivosti. Lepení plastů, jako je PP (polypropylen), PE (polyetylen), PTFE (polytetrafluoretylen), silikony a mnoho termoplastických elastomerů, vyžaduje předběžné ošetření lepených povrchů ionizací. Pro tyto těžko lepitelné plasty se vyvinul primer, který připraví takové materiály pro úspěšné lepení.

Díky tomu lze na PP i PE stejně jako na termoplastických polymerech dosáhnout vysoké pevnosti. Silikony, PTFE lze sice lepit, ale s omezenou pevností. Důležitou předností primerů ve srovnání s jinou přípravou povrchu např. ionizací je jednodušší manipulace. Primer se nastříká nebo nanese štětcem na materiály v co nejtenčí vrstvě. A po krátké době odvětrání (10 až 60 s.) se nanese lepidlo jako obvykle a součásti se ihned spojí.

2.7 Nanesení lepidla [3], [8], [11], [18], [19], [27], [29]

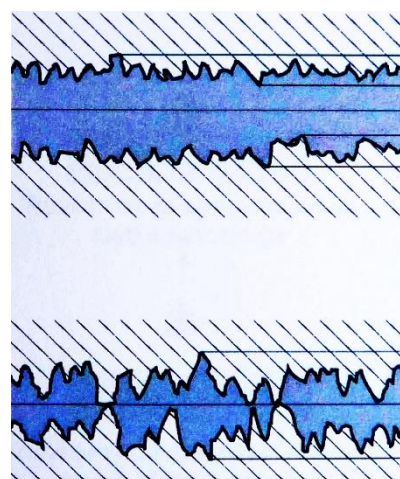
Jedním z předpokladů vzniku soudržného spoje je i rovnoměrný, přiměřeně tlustý film lepidla. Většina lepidel nabývá optimálních adhezních vlastností tehdy, neklesne-li tloušťka ztuhlého filmu lepidla ve spáře pod spodní limit 0,05 mm. Jako horní limit tloušťky filmu platí

vesměs hranice 0,25 mm. Je-li film mimo uvedené rozmezí, sníží se zpravidla prudce pevnost spoje, jelikož vrcholy povrchů spojovaných dílů se můžou dotýkat (obr. 16) Není-li možné dosáhnout požadované rovnosti a souběžnosti lepených dílců (u cementových výrobků, sklolaminátů, izolační keramiky), je nutné pracovat buď s lepidly, nebo lepidly vložkami na bázi impregnovaných tkanin.

Množství nanášeného lepidla se udává v g/m² lepené plochy. Limity spodní a horní hranice dávkování jsou zpravidla uváděny čísla 90 až 300 g/m². Pro zajištění požadované tloušťky filmu lepidla v mezích 0,05 až 0,25 se někdy, zejména při práci s reaktivními lepidly, vkládají do spár distanční drátky o průměru 0,1 až 0,2 mm. Stejného efektu se dosáhne příměsí 1 až 3 procenta zrn udané velikosti.

Lepidlo musí být naneseno v takovém stavu, aby v určitém momentu zpracování (u tekutých lepidel ihned) vytvořilo tekutou rozplývavou vrstvu, která smáčí mikrospory povrchu. Respektování této zásady je důležité zejména při zpracování lepidel rozpouštědlových a dvousložkových reaktivních lepidel, která při rychlém odpařování rozpouštědel nebo v průběhu chemické reakce rychle zvyšují svou viskozitu.

Rovnoměrný nános lepidla po celé ploše spoje je naprosto samozřejmý. Jsou tu však další dvě možnosti, a to nános jednostranný, nebo nános oboustranný. Oboustranný nános lepidla je vhodný při použití lepidel rozpouštědlových a lepidel disperzních. Jednostranného nánosu lepidla se zpravidla používá při práci s lepidly reaktivního typu.



Obr. 16 Vliv nerovnosti povrchu na lepení [8]

2.8 Poruchy lepeného spoje [3], [7], [9], [18], [19], [27], [29]

Některé významné příčiny selhání lepených spojů mohou být zjištěny vizuálním posouzením lepených součástí. Tímto způsobem lze stanovit, zda k porušení spoje vedla závada v adhezi nebo v kohezi, nebo zda byly porušeny spojované součásti. Pokud nastane závada u adheze (obr. 17 a, b), tak lepidlo je úplně odděleno od jednoho z povrchů materiálu. Naopak u závady koheze zlom probíhá lepidlem, jehož zbytky jsou na obou materiálech (obr. 17 c). Vzhled prasklého spoje nám pouze řekne, kde je jeho slabé místo, nikoli, co bylo příčinou poruchy. K nápravě je nutné nalézt příčiny selhání.

Závada způsobená špatnou adhezí, že slabým místem spoje je často mezní vrstva mezi součástí a lepidlem. Buď nastal případ, že materiál je nevhodný pro lepení, nebo byl lepený povrch znečištěný. V obou případech lze pevnost zvýšit vhodnou úpravou povrchu.

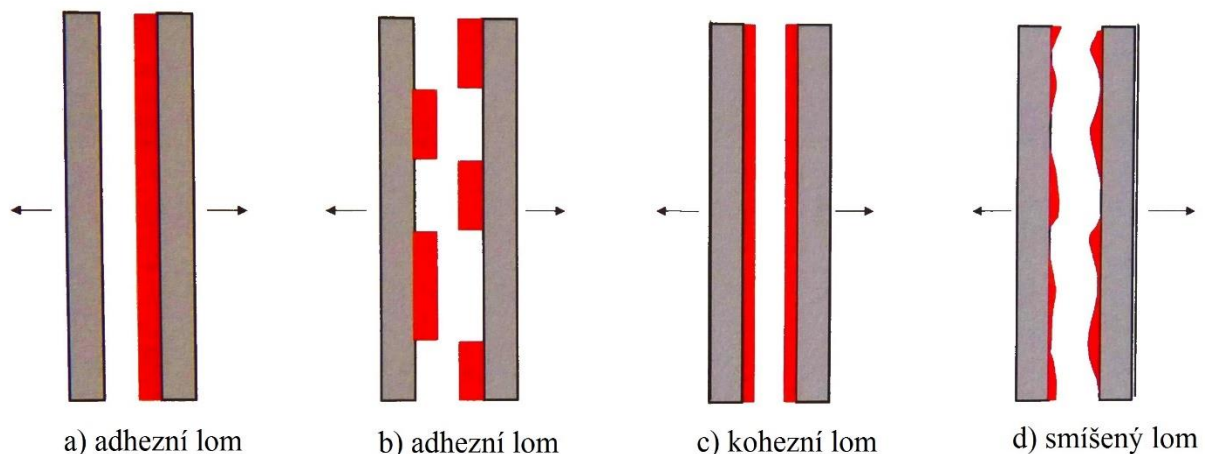
Závada způsobená špatnou kohezí znamená, že lepidlo je přetíženo vnějšími vlivy, jako jsou napěťové špičky, teplota nebo stárnutí. Pro odstranění takovéto závady se doporučuje provést konstrukční změny v geometrii spoje, a nebo použít vhodnější lepidlo pro daný účel.

K selhání lepeného spoje může dojít z několika příčin a existuje celá řada kroků, které zajistí úspěch při provádění lepených spojů.:



Obr. 16 Nedostatek lepidla

- selhání materiálů
- nedostatek lepidla – zkontrolovat, zda lepidlo je rozprostřené po celé ploše, která má být slepená (viz. obrázek č. 16)
- znečištěné materiály - zkontrolovat vhodnost přípravy (např. čisticí prostředky, čisticí postupy, mezioperační skladování atd.)
- nesprávně provedený lepený spoj – zkontrolovat všechny parametry provedení spoje, postupu, dobu lepení, dodržení všech podmínek vytvrzování
- nedostatečné vytvrzování – zkontrolovat podmínky vytvrzení lepidla a spáru (přístup vzduchu, teplotu, vlhkost, atd.), zkontrolovat dobu vytvrzování podle specifikace parametrů, nebo zda nebyla překročena doba životnosti skladování lepidla
- mechanické přetížení nebo nevhodné zatížení (odlupování) – zvětšit plochu lepeného povrchu, upravit geometrii působení sil, zkontrolovat vhodnost lepidla pro daný typ namáhání (tahově, smykově, atd.)
- tepelné přetížení – vybrat lepidlo s vyšší tepelnou odolností
- koroze nebo infiltrace a destrukce vrstvy lepidla plynným nebo kapalným médiem – ochránit spáru spoje na lepených plochách vhodným nátěrem, změnou konstrukce, aby nedošlo k jejímu napadení nebo styku s médiem



Obr. 17 Vzhled lomů [8]

Účinek dlouhodobého stárnutí můžeme předpovídat po pečlivém zvážení všech navzájem působících proměnných vlivů včetně konstrukčních. Křivky tepelného stárnutí jsou zobrazeny v technických listech. Všechna lepidla byla zkoušena při dlouhodobém, konstantně působícím vlivu tepla. Nejpodrobnější poznatky o chování lepidel při stárnutí v případech konkrétních aplikací však lze zjistit jen zkouškami s původními materiály a při simulování skutečných provozních podmínek.

2.9 Namáhání spojů [3], [7], [9], [18], [19], [27], [29]

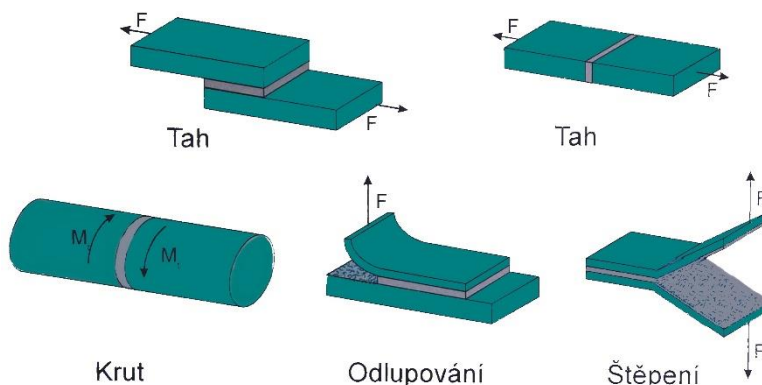
Pro dosažení optimálních výsledků při lepení je potřeba vědět, že není lepidlo, které by bylo univerzální. Některé materiály lze slepit jen po speciální předchozí úpravě povrchu, která při individuálních pracích není možná. Prvním ukazatelem při výběru lepidla je znalost složení, struktury a propustnosti plynů obou lepených dílců. Jejich určení určuje druh lepidla z hlediska adheze k oběma povrchům. Dalším důležitým faktorem při výběru typu lepidla a technologie lepení jsou vlastnosti celého souboru, které jsou požadované při jeho použití. Jedná se o nároky na mechanickou pevnost, tepelnou odolnost, chemickou stálost, vodovzdornost spoje, odolnost

vůči vlivům povětrnosti atd. Ne vždy je možné vyhovět všem nárokům současně, proto je třeba uvážit, které vlastnosti jsou z hlediska funkce nejdůležitější a volit nejvhodnější řešení.

Druhy lepidel se mohou volit podle následujících kritérií:

- chemická podstata lepeného materiálu (plasty, dřevo, kovy,...)
- fyzikální vlastnosti lepených materiálů (tuhé, měkké, pružné,...)
- savost lepených materiálů
- požadavky na technologii nanášení lepidla (nanášení ručně, strojem, rychlé nebo pomalé lepení, za studena, za tepla)
- požadavky na rychlost lepení (takt výrobní linky)
- požadavky na otevřenou dobu
- požadavky na pevnost spoje (fixační nebo permanentní)
- požadavky na kvalitu spoje (spoje tvrdé, pružné, snadno rozlepitelné)
- požadavky na teplotní odolnost spoje
- požadavky na vodovzdornost lepeného spoje
- požadavky na tuhost nebo ohebnost lepeného spoje
- požadavky na mechanické namáhání spoje během lepení (před vytvrdnutím lepidla)

U mechanických vlastností může být lepený spoj zatěžován buď staticky (například vlastní hmotností dílce), nebo dynamicky (chvěním, opakovanými rázy, kroucením). Při statickém namáhání může být spoj namáhán ve smyku, v tahu a odlupování, přičemž lepidla nejméně odolávají namáháním v odlupování a proto se u konstrukce dílce snažíme tomuto spoji vyhnout. Proto při konstrukci spoje z tuhých materiálů, jako jsou kov nebo plast, je potřeba



Obr. 18 Druhy mechanického zatížení [9]

přizpůsobit celou konstrukci tak, aby bylo dosaženo zvětšení povrchu spoje a zároveň spojované plochy byly co nejméně složité. Důležité je, aby mechanické namáhání (obr. 18) bylo rozděleno rovnoměrně a nesoustředilo se v místě spoje. Je lepší namáhání spoje v tahu a ve smyku, které spoje lépe snášejí. U staticky namáhaného tělesa může být snadno definována hodnota minimální pevnosti ve smyku, v tahu a odlupování. Tyto hodnoty se dají snadno naměřit na normovaných tělesech, připravených z materiálů budoucích adheziv, povrchově upravených předpokládanými metodami, jako jsou zdrsnění, odmaštění, moření, a slepených vybraným lepidlem. Komplikovanější je hodnocení požadované jakosti spojů vystavených dynamickému namáhání. Takové spoje jsou velmi časté zejména u výrobků automobilového a leteckého průmyslu. Hlavní problém spočívá v tom, že dynamické namáhání jako takové je obtížně definovatelné, protože jde často o namáhání amplitudové i časově nepravidelné, co do průběhu neharmonické a komplikované dalšími vlivy. Napodobit takovéto namáhání zkušební metodou je vždy velmi nesnadné.

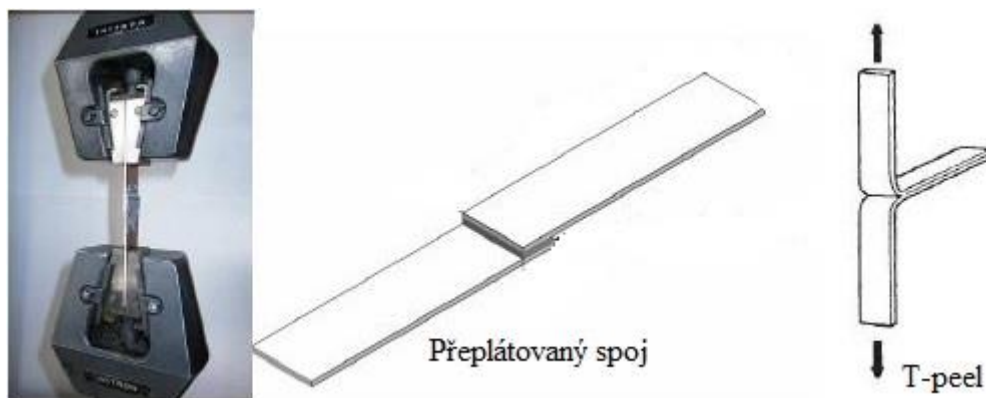
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST [3], [8], [18], [19], [22], [27], [29]

Aby byla zajištěna předepsaná výdrž slepeného materiálu, je potřeba lepidlo nejprve otestovat. V rámci této diplomové práce se testovaly čtyři druhy kyanoakrylátových lepidel od dvou výrobců, a to Sika Lock 2020 PR, Sika Lock 2300 RT B, Loctite 480 a Loctite 406. Původně se mělo testovat šest vzorků, ale lepidla Weicon byla zaschlá. Pro měření se vybralo deset různých typů substrátů: hliník, eloxovaný hliník, ocelový plech S254 s povlakem práškového laku, hliníkový plech AW5052 s eloxovaným povrchem, ABS, PVC, polykarbonát, laminát GRP a pryž. Materiály se nejdříve musely nadělit na pláty o rozměrech 25 x 150 mm. Sandwiche hliníku a laminát se stříhaly na hydraulických nůžkách, ocelové a hliníkové plechy a ABS se kvůli jejich malé tloušťce stříhaly na ručních dílenských nůžkách, PVC s polykarbonátem se kvůli jejich křehkosti nakonec povedlo nařezat rozbrušovací pilou a pryž se řezala klasickým vylamovacím nožem. Připravené vzorky a přípravky jsou zobrazeny na obrázku č. 19. Jelikož se rozhodlo testovat vzorky na smyk, tak se zvolil přeplátovaný spoj. Vyjímku tvořila pryž, která se testovala metodou T-peel (obr. 20).



Obr. 19 Substráty a lepidla připraveny k lepení

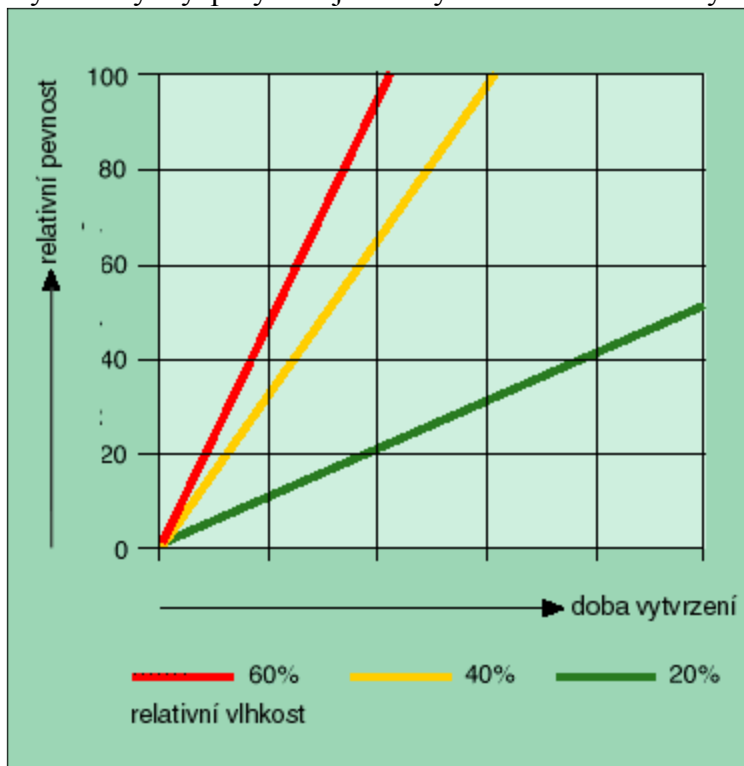
Následovalo očištění a odmaštění vzorků přípravkem Sika Cleaner P. To se provádělo navlhčením papírového ubrousku a setřením materiálu jedním maximálně dvěma tahy. Takto ošetřené vzorky se nechaly zhruba na 5 sekund odvětrat a následovalo ošetření primerem. Pro vzorky lepené lepidlem Loctite se použil primer Loctite SF 770 a pro vzorky lepené Sika Lock se použil primer Sika Lock 4077 PM. Primer se aplikoval setřením jedním maximálně dvěma tahy po povrchu a nechal se tak na minutu až dvě odvětrat. Následně se na jednu stranu lepeného spoje nakapalo lepidlo tak, aby vytvořilo malou vrstvu po celé ploše o rozměrech 25 x 6 mm, případně 25 x 75 u pryže, substráty se k sobě přitiskly a nechaly se zatížit vahou 5kg. Takto se vzorky nechaly v klidu vytvrdnout za pokojové teploty a vlhkosti. Po dvou týdnech se část vzorků vložila na týden do kataplasmy, kde byly vystaveny 70°C a 100% vlhkosti. Nakonec se v jeden den u všech vzorků provedla tahová zkouška na trhacím stroji Zwick Z010, v případě gumy se jednalo o odlupování metodou T-Peel. Všechny hodnoty se zapisovaly do počítače pomocí programu testXpert II.



Obr. 20 Návrh lepených spojů pro trhací zkoušku [12]

3.1 Princip kyanoakrylátových lepidel [3], [8], [1], [18], [19], [27], [29]

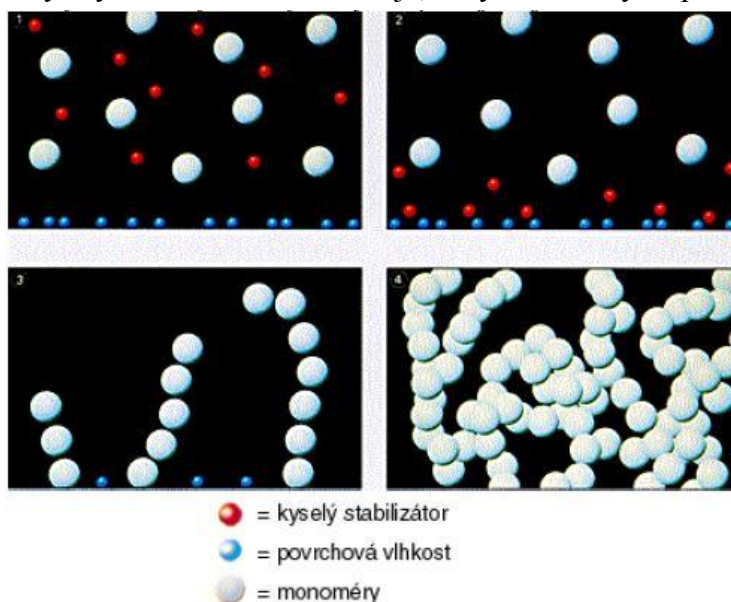
Monomerní kyanoakryláty jsou reaktivní lepidla tuhnoucí polymerací aktivovanou vzdušnou vlhkostí prostředí. Tento proces tuhnutí se nazývá aniontová reakce. Tuhnutí probíhá během několika vteřin až minut podle typu lepidla, druhu spojovaného materiálu a teploty. Kyanoakryláty polymerují ve styku s lehce alkalickými povrchy, takže okolní vlhkost ve



vzduchu a na lepených površích je postačující pro vytvrzení během několika sekund. Vlhkost na lepených površích neutralizuje stabilizátor v lepidle, takže nastává polymerace od povrchu k povrchu. Nejrychlejší vytvrzení na manipulační pevnost proběhne při nulové spáře. Nejlepších výsledků se dosáhne, když relativní vlhkost vzduchu na pracovišti je 40 až 60 % při pokojové teplotě. Nižší vlhkost vede k pomalejšímu vytvrzování a vyšší vlhkost jej zrychluje, avšak může zhoršovat konečnou pevnost lepeného spoje. Suchý vzduch obecně nezhoršuje pevnost spoje, ale způsobuje delší dobu vytvrzování a tím i zpomaluje výrobu. Vliv vlhkosti na čas je zobrazen na obrázku č. 21. Kyselé povrchy s hodnotou

Obr. 21 Vliv vlhkosti na dobu vytvrzení [29]

pH < 7 mohou vytvrzování zpožďovat, nebo mu dokonce bránit, zatímco alkalické povrchy s hodnotou pH > 7 vytvrzování zrychlují. Na obrázku č. 22 je zobrazený proces vytvrzování kyanoakrylátových lepidel tak, že kyselý stabilizátor zabraňuje, aby molekuly lepidla reagovaly, a tím udržuje lepidlo v kapalném stavu (1). Povrchová vlhkost neutralizuje stabilizátor (2) a polymerace začíná (3). Vytváří se množství polymeračních řetězců, které jsou navzájem propleteny (4).



Spoj z vteřinových lepidel je elastický, houževnatý s širokou adhezní účinností. Lepidla jsou určena k lepení hladkých, nesavých odmaštěných povrchů. Vteřinová lepidla jsou ideální zvláště při spojování plexiskla, pryže a skla. Velmi dobré výsledky má také při lepení oceli a duralu. Naopak tato lepidla nejsou moc vhodná pro lepení měkčeného

Obr. 22 Proces vytvrzování kyanoakrylátových lepidel [29]

PVC, polystyrenu a často i dřeva. Výrobci dodávají celou řadu typů s různými vlastnostmi a pro různé spojované materiály i s aktivátory, které umožňují lepit nepolární plasty jako polyethylen a polypropylen, pro jejichž spojování se jinak tato lepidla nehodí. Kyanoakrylátová lepidla se používají i v lékařství pro spojování tkání, a proto není divu, že při troše neopatrnosti si lze i prsty. Splenou kůži není dobré odtrhávat násilím, lepší je spojené prsty ponořit do mýdlové vody a počkat až spoj povolí. V drobné praxi jsou tato lepidla vhodná k lepení těsnících hmot, vkládání kamenů do šperků a bižuterie, k montáži malých přístrojových součástí, k lepení zubních protéz atd. Technicky dostatečné pevnosti spoje se dosáhne zpravidla 30 minut po spleení, optimální pevnosti za 24 hodin. Odolnost lepených spojů bez významné ztráty pevnosti je od -50 do 70 °C. Životnost lepidel při pokojové teplotě je zhruba 6 měsíců, v chladném prostředí 0 až 4 °C minimálně rok. Spoje jsou zpravidla poměrně křehké. Kyanoakryláty je vhodné aplikovat úsporně pouze na jeden povrch. Nejlepšího spojení se dosáhne jen tehdy, pokud se aplikuje jen tolik lepidla, kolik je potřeba na vyplnění spojovací páry. Vteřinová lepidla obecně mají následující vlastnosti:

- velmi vysokou pevnost ve smyku i v tahu
- velmi vysokou rychlost vytvrzování (přípevnění ve vteřinách)
- lepí téměř všechny materiály
- dobrou odolnost proti stárnutí

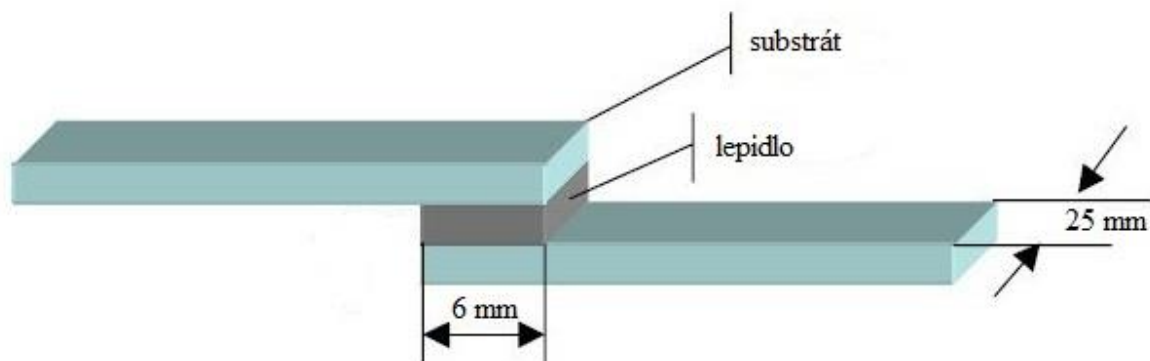
U některých typů sekundových lepidel vzniká mléčný nános okolo lepeného spoje. Je to dáno tím, že ethylkyanoakrylát se pozvolna vypařuje a reaguje se vzdušnou vlhkostí, takže páry lepidla v okolí spoje zároveň vytvrzují a vytvářejí tak mikročástice vytvrzeného lepidla. Ty se usazují okolo lepeného spoje v podobě bílého nánosů. Tento nežádoucí jev lze odstranit použitím co nejmenšího nutného množství lepidla. Dále se nedoporučuje čerstvě splený výrobek ihned balit do PE sáčku, protože výpary zbytku nezreagovaného lepidla, které nemohou odejít do volného prostoru, mohou potáhnout bílým povlakem celý výrobek.

3.2 Materiály [22]

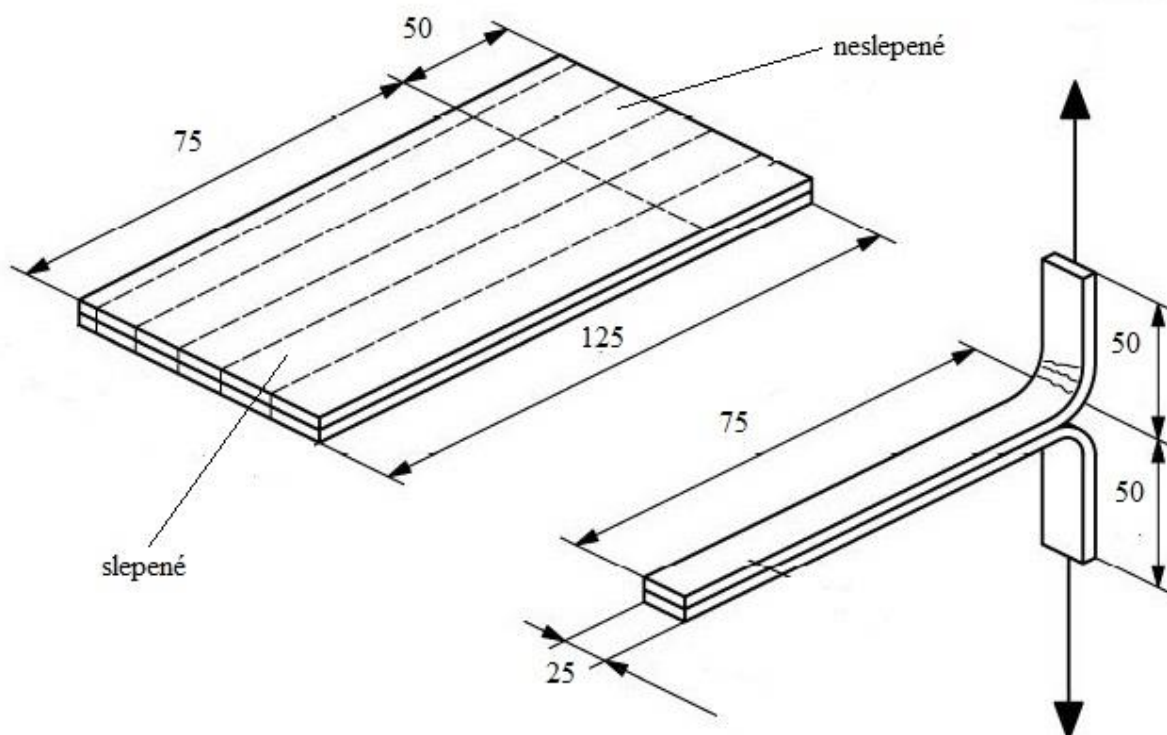
Materiály použité pro testování lepidel jsou uvedeny i s příklady pro jejich použití v tabulce č. 4. Rozměry vzorků pro substráty na trhačí zkoušku jsou zobrazeny na obrázku č. 23 a pro pryž na obrázku č. 24.

Tab. 4 Testované substráty [22].

Materiál	Tloušťka	Barva	Použití pro lepení
hliník	4 mm	stříbrná	lehké konstrukce, úchyty, sendvičové panely
hliník s eloxovanou vrstvou	4 mm	bronzová	designové doplňky
hliník s eloxovanou vrstvou	3 mm	černá	designové doplňky
ocelový plech S254 s povlakem práškového laku	1 mm	šedá	díly karoserie, domácí technika
hliníkový plech AW5052 s eloxovanou vrstvou	1 mm	běžová	díly karoserie, domácí technika
PVC	5 mm	bílá	okna, podlahy
laminát GRP	3 mm	zelená	díly karoserie, sportovní náčiní
polykarbonát	8 mm	transparentní	transparentní díly
ABS	2 mm	černá	díly karoserie, domácí technika
pryž	4 mm	černá	těsnění, tlumení, dorazy



Obr. 23 Rozměr vzorku pro trhací zkoušku [28]



Obr. 24 Rozměr vzorku pro zkoušku T-Peel [26]

3.3 Prostředek na odmaštění [21]

Pro očištění a odmaštění lepeného povrchu se zvolil čistící přípravek pro neporézní podklady Sika® Cleaner P. Jedná se o nízko viskózní, speciální čistící přípravek na bázi organických rozpouštědel pro neporézní podklady. Základní technické údaje jsou uvedeny v tabulce č. 5.

Sika® Cleaner P může být použit k odstranění cizorodých látek a nečistot, jako jsou mastnoty, oleje, prach z povrchu před použitím lepidel. Čistič je vhodný také pro čištění skleněných a kovových povrchů. Použití pouze pro neporézní podklady. Vzhledem k velkému rozsahu variant substrátů se doporučuje předem konzultovat projekt s technickým oddělením. Tento výrobek je určen pro profesionální použití a před aplikací je nutno uskutečnit testy adheze s aktuálními podklady a podmínkami.



Obr. 25 Sika® Cleaner P

Při použití se nejprve setře povrch čistým, nejlépe světlým, hadrem nebo papírovou utěrkou (nesmí pouštět vlákna nebo barvu) mírně namočeným v přípravku. Po každém setření je nutné otočit nebo následně vyměnit utěrku. Je nutno dbát, aby byl přípravek aplikován pouze v minimální vrstvě. Krátce po aplikaci se musí

Chemická báze	organická rozpouštědla
Barva	čirá
Hustota	cca 0.8kg/l
Viskozita (23°C/50%rel. vl.)	cca 2.3 mPa.s
Bod vzplanutí	12°C
Aplikační teplota	5 až 40°C
Aplikační metody	setření
Spotřeba	40ml/m ²
Skladovatelnost	v uzavřeném balení a v chladném místě
Skladovatelnost	24 měsíců

dobře uzavřít láhev s čističem. Při dlouhodobém otevření dochází k vyprchávání jeho složek a v kombinaci s působením vlhkosti ke zhoršení vlastností. Je-li doba mezi čištěním a dalším zpracováním více než dvě hodiny, je třeba čištění opakovat, jak je již popsáno výše. Nádobu po aplikaci ihned těsně uzavřít.

Pokud tento čistič vykazuje gelovitou nebo nesourodou konzistenci, nelze jej dále použít a je nutno jej zlikvidovat. Před aplikací Sika® Cleaner P na citlivé povrchy se doporučuje předem vyzkoušet na malé, neviditelné ploše stejného materiálu. Před aplikací lepidla musí být povrch očištěn a připraven podle doporučení a postupů firmy Sika pro dané povrchy a oblasti aplikace.

3.4 Primery [16], [25]

Pro lepidla značky Loctite se po očištění substrátů aplikoval primer LOCTITE® SF 770™. Ten je určen pro přípravu polyolefinů a dalších povrchů s nízkou energií na lepení pomocí Tab. 6 Technická data primeru Loctite SF 770 [16].

technologie	primer pro kyanoakryláty
chemický typ	alifatický amin
rozpouštědlo	n-Heptan
koncentrace aktivních složek %	0,07 až 0,13
vzhled	průhledná až lehce zamlžená kapalina
fluorescence	pozitivní pod UV zářením
viskozita	velmi nízká
vytvrzení	nevytvrzuje
aplikace	povrchový primer pro kyanoakryláty

kyanoakrylátových lepidel Loctite. V tabulce č. 6 se nachází základní popis výrobku. Na takto ošetřených površích jsou výsledky vytvrzení kyanoakrylátových lepidel LOCTITE zpravidla obdobné, jak jsou popsány v technických listech pro relevantní lepidla. Je doporučen pouze pro obtížně lepitelné podklady, které zahrnují polyetylen, polypropylen, polytetrafluoroethylen (PTFE) a termoplastové pryžové materiály. LOCTITE Primer pro polyolefiny se nedoporučuje používat u sestav, kde je požadována vysoká pevnost v loupání. Vlastnosti tohoto výrobku jsou následující:

- měrná hmotnost při 25 °C je 0,68
- viskozita při 20°C je 1,25 mPa.s



Obr. 26 Loctite SF 770

- doba sušení při 20 °C je ≤30 sekund
- Životnost na součásti je ≤8 hodin

Dosažená doba fixace a rychlost vytvrzení jako výsledek použití SF 770 závisí na použitém lepidle a na lepeném podkladu. Tento primer se rovněž chová jako aktivátor a urychluje vytvrzení kyanoakrylátových lepidel. Doba fixace na většině připravených povrchů je menší než 5 sekund, ale je třeba nechat produkt 24 hodin při pokojové teplotě (22 °C) pro získání maximální pevnosti spoje.

Tento produkt se nedoporučuje používat v čistě kyslíkových nebo na kyslík bohatých systémech a neměl by se používat k těsnění chlóru či jiných silně oxidačních materiálů.

Primer může být nanášen postřikem, štětcem nebo namáčením při teplotě okolí. Doporučuje se zabránit nadbytečnému nanesení primeru. Přítomnost primeru může být zjištěna pomocí kontrolní UV lampy (365 nm). Pokud se lepí polyolefiny s více aktivními nebo dobře lepitelnými materiály, nanese se primer pouze na polyolefin.

Primer je považován za velmi hořlavý materiál, a proto se s ním musí nakládat vhodným způsobem v souladu s místními relevantními předpisy. Rozpouštědlo může mít nepříznivý vliv na některé plasty nebo nátěry. Proto doporučuje ověřit kompatibilitu všech povrchů před použitím aktivátoru.

Produkt skladujte v neotevřených originálních nádobách na suchém místě. Informace o skladování produktu jsou uvedeny na etiketě nádob. Optimální podmínky skladování jsou 8 °C až 21 °C. Skladování pod 8 °C nebo nad 28 °C může nepříznivě ovlivnit vlastnosti produktu. Materiál odebraný z nádoby může být během používání kontaminován. Proto se nikdy nevrací do originálního obalu.

Pro kyanoakryláty řady Sika Lock se při experimentu použil primer Sika®Lock-4077 PM. Sika®Lock-4077 PM je primer na bázi rozpouštědel ke zvýšení adheze kyanoakrylátových lepidel Sika®Lock. V tabulce č. 7 se nachází základní popis výrobku.

Tab. 7 Technická data primeru Sika Lock 4077 PM [25].

chemická báze	směs heptanu
barva	transparentní
hustota	ca 0.7kg/l
viskozita (při 25°)	ca 1mPa.s
bod vzplanutí	<1°C (vysoce hořlavé)
odvětrací čas	min. ca 30 s
maximální aktivační čas	ca 8 hod
skladovatelnost (v uzavřené nádobě v suchu a při 20°C)	12 měsíců

Primer 4077 PM lze použít ke zlepšení adheze u obtížně lepitelných plastů jako je polyetylen, polypropylen, silikon nebo i teflon, zvýšením jejich povrchové energie, před použitím kyanoakrylátových lepidel Sika®Lock. Dále také účinkuje jako urychlovač vytvrzení s vytvrzením v čase pod 5s.

Přípravek lze aplikovat na lepenou plochu stříkáním, štětcem, setřením povrchu namočenou utěrkou nebo ponořením do přípravku. Doba k odvětrání přípravku je ca 30 sekund. 4077 PM má aktivační účinnost na povrchu spoje v čase do 8 hod. Pokud je tento čas překročen, je nutno aktivaci zopakovat znovu. Následně se aplikuje správné lepidlo dle charakteru dílů a dimenzí spoje. Při kombinaci lepených materiálů se doporučuje používat primer pouze na plasty s nízkou povrchovou energií. Po použití nádobu s přípravkem okamžitě těsně uzavřít.



Obr. 27 Sika Lock 4077 PM

Skladovat v chladném prostředí mimo přímé sluneční záření, v originálním dokonale uzavřeném obalu k zabránění odvětrání rozpouštědla z přípravku.

3.5 Kyanoakrylátová lepidla [14], [15], [23], [24]

Kyanoakrylátová lepidla vyžadují pro iniciaci a polymerní reakci s materiálem přítomnost povrchové vlhkosti. Rychlost reakce se snižuje s klesající vlhkostí na povrchu lepeného materiálu. Při nižší teplotě také dochází ke zpomalení reakce a vytvrzování. Všechny parametry rychlosti vytvrzování lepidel jsou měřeny při 21°C. Rychlost vytvrzování kyanoakrylátového lepidla je závislá na lepeném podkladu. U kyselých podkladů jako je např. papír nebo kůže vytvrzení probíhá pomaleji než u většiny plastů nebo pryže. Některé plasty s velmi nízkou povrchovou energií, jako např. polyetylen, polypropylen a teflon vyžadují užití primeru. Lepené plochy dílů musí být čisté, suché, beze stop tuků, olejů, vosků nebo jiných separačních látek. Přestože plné funkční pevnosti je dosaženo v relativně krátkém čase, vytvrzování pokračuje nejméně 24 hodin, než je dosaženo úplné chemické odolnosti.

Vzhledem k vysoké rychlosti vytvrzování lepidla je nutné zajistit připravenost a přesné zapolohování dílů. Ve většině případů se lepidlo aplikuje ručně z lahvičky. Nanáset malá množství a pouze na jeden z lepených dílů, ihned pevně stlačit a vyčkat docílení manipulační pevnosti. U kyanoakrylátů platí, že je třeba použít tak malé množství lepidla, které aplikace dovoluje. Předávkování způsobuje prodloužení vytvrzovacího času a nižší pevnost spoje. Pro dávkování a nanášení většího množství lepidla, např. v automatickém cyklu, lze užit aplikační zařízení. Pro urychlení reakce lepidla lze použít před lepením aktivátor. S většinou lepidel lze docílit vytvrzení v čase kratším než 2s. Užití aktivátoru ale může v některých případech redukovat pevnost spoje až o 30%. Doporučuje se pro jednotlivé konkrétní případy projektově orientované testy.

Všeobecné pokyny pro lepení:

1. Lepené plochy by měly být čisté a odmaštěné. Vyčistěte všechny povrchy pomocí vhodného čističe a nechte uschnout.

2. Pro zlepšení výsledků lepení na plastech s nízkým povrchovým napětím použijte na lepené plochy primer. Naneste jednu tenkou vrstvu a nechte povrch uschnout.

3. Pokud je třeba urychlit vytvrzení, použijte vhodný aktivátor. Naneste aktivátor na

jednu plochu a lepidlo na druhou. Pokud používáte primer, nedávejte aktivátor na plochu ošetřenou primerem. Nechte aktivátor uschnout a potom díly spojte.

4. Naneste lepidlo na jeden z lepených povrchů (nenanášejte lepidlo na aktivovaný povrch). K rozetření lepidla nepoužívejte štěteček, tkaninu ani papír. Během několika sekund spojte lepené součásti k sobě. Součásti je třeba vůči sobě přesně nastavit dříve, než velmi krátká doba fixace lepidla způsobí, že lepidlo začne klást mírný odpor vůči vzájemnému pohybu.

5. Na vytvrzení lemu nebo lepidla mimo lepenou spáru je možné použít aktivátor, kde se může nastříkat nebo nakapat přiměřené množství aktivátoru na přetok lepidla.

6. Slepěný spoj by měl být pevně fixován nebo sevřen do doby, než je dosaženo doby fixace lepidla.



Obr. 28 Příklad lepeného spoje materiálů dřevo a plast

7. Před uvedením slepené sestavy do provozního zatížení je třeba nechat produkt řádně vytvrdnout pro získání plné pevnosti (typicky 24 až 72 hodin po sestavení v závislosti na velikosti spáry, materiálu a podmínek prostředí).

Vteřinová lepidla vykazují vysokou chemickou odolnost vůči většině olejů a ředidlům, včetně motorových olejů a olovnatých benzínů, etanolu, propanolu a freonům. Naopak nejsou odolné dlouhodobějšímu vystavení působení vody, mokra a vyšší vlhkosti. Tyto údaje jsou vzhledem k širokému spektru ovlivňujících materiálů a podmínek pouze orientační. Závazné posouzení je podmíněno objektovou zkouškou.

Produkty se doporučuje skladovat v chladném suchém prostředí, mimo přímé působení slunečního záření. Optimální podmínky skladování: 2 °C až 8 °C. Skladování pod 2 °C nebo nad 8 °C může nepříznivě ovlivnit vlastnosti produktu. Materiál odebraný z nádoby může být během používání kontaminován, proto jej nikdy nevracet do originálního obalu. Nedoporučuje se používat v čistě kyslíkových nebo na kyslík bohatých systémech a neměl by se používat k těsnění chlóru či jiných silně oxidačních materiálů.

3.5.1 Sika Lock 2020 PR [23]

Sika®Lock-2020 PR je sekundové etyl-kyanoakrylátové lepidlo nízké viskozity pro lepení pryže a plastů. V tabulce č. 8 se nachází základní popis výrobku.

Tab. 8 Technická data lepidla Sika Lock 2020 PR [23].

chemická báze	etyl-kyanoakrylát
barva	transparentní
hustota	ca 1,06 kg/l
bod vzplanutí	>85°C
maximální šířka spáry	0,10 mm
viskozita	rozsah 17 - 22 mPa.s
	typická hodnota ca 20 mPa.s
rychlost vytvrzení (při 21°C)	ocel/ocel < 20s
	ABS/ABS < 10s
	pryž/pryž < 5s
fixační čas (dle substrátu)	2 - 20s
čas vytvrzení (při 21°C)	24 hod
pevnost v tahu	ca 20 N/mm ²
teplotní odolnost	-50°C až 80°C
skladovatelnost	12 měsíců

Přednosti produktu:

- velmi krátký čas vytvrzení
- nízká viskozita
- speciálně pro pryže a plasty

Sika®Lock-2020 PR je speciálně formulované lepidlo pro rychlé lepení zejména pryže a plastů. Lze s ním ale také spojovat většinu ostatních obvyklých materiálů. Vhodné pro lepení při montážích s minimální tloušťkou vrstvy nebo minimální tolerancí, pro rovné přesné a hladké povrchy dílů. Lze aplikovat do spoje již smontovaných dílů.

Lepidla jsou vhodné pro dlouhodobé užití v teplotním rozsahu do 80°C. Při 80°C se sníží pevnost spoje na 70% a při 100°C se sníží na 50% původní pevnosti při 21°C. Při zatížení teplotou 80°C po dobu 90 dní, po ochlazení a následném měření při teplotě 21°C vykazují 90% své původní pevnosti. Při stejném zatížení na 100°C spoj následně vyazuje 50% své původní pevnosti.



Obr. 29 Sika Lock 2020 PR

3.5.2 Sika Lock 2300 RT B [24]

Sika®Lock-2300 RT B je rychle vytvrzující houževnaté kyanoakrylátové lepidlo střední viskozity s vyšší tepelnou, odlupovou a rázovou odolností pro lepení širokého spektra materiálů. V tabulce č. 9 se nachází základní popis výrobku. Přednosti produktu jsou:

- velmi krátký čas vytvrzení
- střední viskozita
- pro široké spektrum podkladů
- vyšší teplotní odolnost
- odolné rázům a vibracím
- vyšší teplotní odolnost
- vyšší odolnost vlhkosti

Tab. 9 Technická data lepidla Sika Lock 2300 RT B [24].

chemická báze	modifikovaný etyl-kyanoakrylát
barva	transparentní
hustota	ca 1,10 kg/l
bod vzplanutí	>85°C
maximální šířka spáry	0,20 mm
viskozita	rozsah 300 - 1000 mPa.s
	typická hodnota 600 mPa.s
rychlost vytvrzení (při 21°C)	ocel/ocel < 50s
	ABS/ABS < 30s
	pryž/pryž < 20s
fixační čas (dle substrátu)	5 - 50s
čas vytvrzení (při 21°C)	24 hod
pevnost v tahu	ca 21 N/mm ²
teplotní odolnost	trvalá -50°C až 105°C
	krátkodobá 125°C
skladovatelnost	6 měsíců



Obr. 30 Sika Lock 2300 RT B

Sika®Lock-2300 RT B je speciálně formulované lepidlo s vyšší pružností než standardní kyanoakryláty. Určeno pro rychlé lepení širokého spektra materiálů zejména tam, kde díly mohou být vystaveny vzrůstající teplotě, cyklickému teplotnímu zatížení, vibracím a také zvýšené vlhkosti. Lze užít do teploty 105°C, s krátkodobou odolností do 125°C. Vhodné pro lepení při montážích s větší tloušťkou vrstvy nebo tolerance.

Kyanoakrylát Sika®Lock 2300 RT je vhodný pro dlouhodobé užití v teplotním rozsahu do 105°C. Při 105°C se sníží pevnost spoje na 40% původní pevnosti při 21°C. Při zatížení teplotou 100°C po dobu 90 dní, po ochlazení a následném měření při teplotě 21°C vykazují 90% své původní pevnosti. Při stejném zatížení na 120°C spoj následně vykazuje 50% své původní pevnosti.

3.5.3 Loctite 406 [14]

LOCTITE® 406™ je přednostně určen pro plasty a elastomery tam, kde je požadována velmi krátká doba fixace. V tabulce č. 10 se nachází základní popis výrobku.

Rychlost vytvrzení závisí na lepeném materiálu. Tabulka č. 11 níže ukazuje čas fixace, kterého bylo dosaženo na různých materiálech při 22 °C a 50 % relativní vlhkosti. Toto je definováno jako čas dosažení pevnosti ve smyku 0.1 N/mm².

Odolnost vůči prostředí je testována na nízkouhlíkaté oceli, která je otryskaná. Vytvrzování lepidla probíhá jeden týden při teplotě 22°C a následně se provádí zkouška pevnosti ve smyku. Na obr. 31 je zobrazena procentuální pevnost při 22°C v závislosti na teplotě. Dále na obr. 32 je vyobrazeno stárnutí lepidla a jeho procentuální pokles pevnosti v závislosti na čase. V tabulce č. 12 jsou vypsány materiály a jejich % poklesu pevnosti při stárnutí.



Obr. 31 Loctite 406

Tab. 10 Technické údaje lepidla Loctite 406 [14].

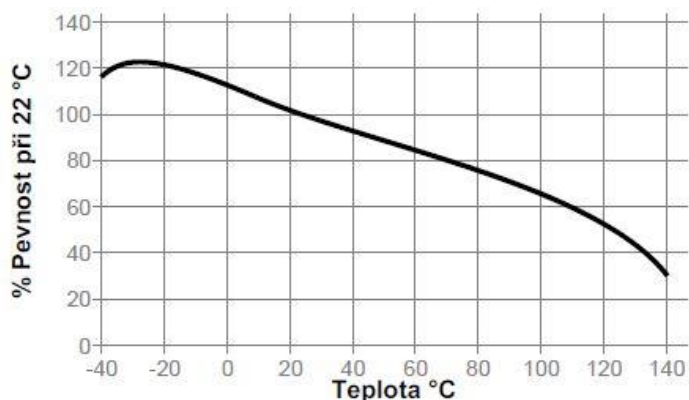
technologie	kyanoakrylát
chemický typ	ethylkyanoakrylát
vzhled (nevytvrzený)	přehledná čirá až slámově žlutá kapalina
složky	jednosložkový
viskozita	12 až 25 mPa.s
vytvrzení	vlhkostí
aplikace	lepení
určeno zejména pro	plasty, pryž
měrná hmotnost při 25°C	1,1

Tab. 11 Rychlost vytvrzení [14].

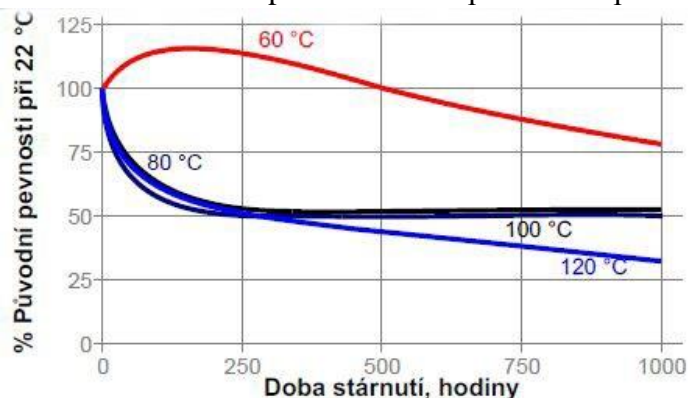
Materiál	čas fixace [s]
ocel (odmaštěno)	20 až 45
hliník (mořený)	< 5
neoprén	< 5
pryž	< 5
ABS	< 5
PVC	< 5
polykarbonát	10 až 20
fenol	< 5

Tab. 12 Odolnost lepidla proti chemikáliím a rozpouštědlům [14].

Prostředí	% původní pevnosti			
	°C	100 h	500 h	1000 h
motorový olej	40	100	85	70
benzín	22	90	100	95
voda	22	55	70	70
voda/glykol	22	85	75	80
ethanol	22	105	105	100
isopropanol	22	120	110	120
98% RV	40	85	90	85



Obr. 31 Pevnost za tepla – zkušeno při různé teplotě [14]



Obr. 32 Stárnutí při uvedené teplotě a zkušeno při 22 °C [21]

3.5.4 Loctite 480 [15]

LOCTITE® 480™ je pryží plněný, houževnatý produkt se zvýšenou pružností a odolností proti loupání a současně zvýšenou odolností proti rázům. V tabulce č. 13 se nachází základní popis výrobku.

Rychlost vytvrzení závisí na lepeném materiálu. Tabulka č. 14 ukazuje čas fixace, kterého bylo dosaženo na různých materiálech při 22 °C a 50 % relativní vlhkosti. Toto je definováno jako čas dosažení pevnosti ve smyku 0.1 N/mm². Na obrázku č. 34 je zobrazena procentuální pevnost při 22 °C v závislosti na teplotě. Dále na obrázku č. 35 je vyobrazeno stárnutí lepidla a jeho procentuální pokles pevnosti v závislosti na čase. V tabulce č. 15 jsou vypsány materiály a jejich % poklesu pevnosti při stárnutí. Rychlost vytvrzování závisí na okolní relativní vlhkosti. Graf na obrázku č. 36 ukazuje pevnost v tahu dosaženou v čase na pryži Buna N při různých úrovních vlhkosti.

Tab. 13 Technická data lepidla Loctite 480 [15].

technologie	kyanoakrylát
chemický typ	ethylkyanoakrylát
vzhled (nevytvrzený)	černá kapalina
složky	jednosložkový
viskozita	100 až 200 mPa.s
vytvrzení	vlhkostí
aplikace	lepení
určeno zejména pro	kovy, plasty, pryž
měrná hmotnost při 25 °C	1,05



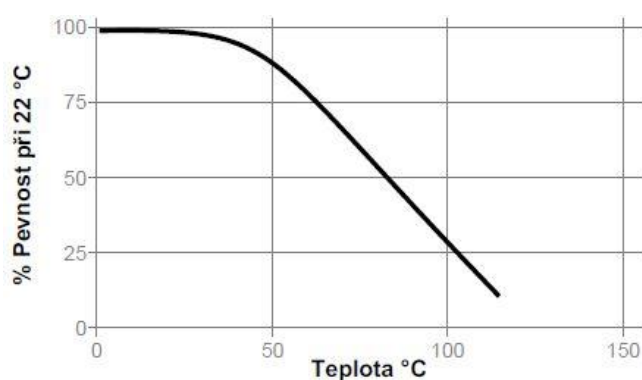
Obr. 33 Loctite 480

Tab. 14 Rychlost vytvrzení [15].

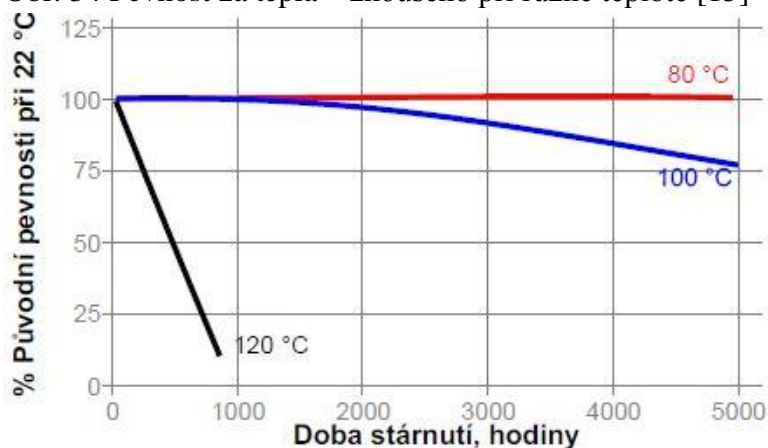
Materiál	čas fixace [s]
ocel (odmaštěno)	60 až 120
hliník (mořený)	10 až 30
neoprén	< 20
pryž	< 20
ABS	20 až 50
PVC	50 až 100
polykarbonát	30 až 90
fenol	20 až 60

Tab. 15 Odolnost proti chemikáliím a rozpouštědlům [15].

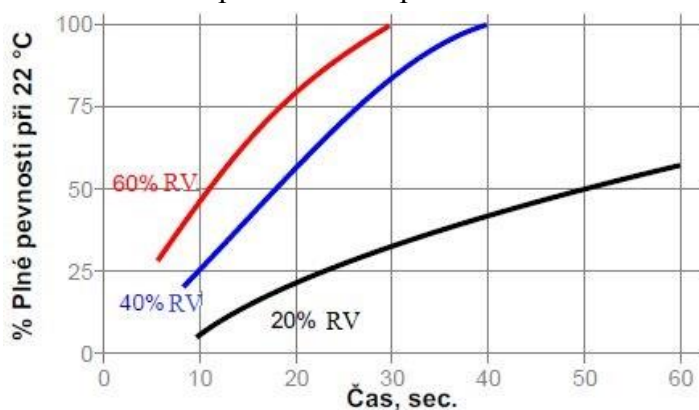
Prostředí	% původní pevnosti			
	°C	100 h	500 h	1000 h
motorový olej	40	85	85	85
benzín	22	90	70	70
Freon TA	22	90	90	85
ethanol	22	95	95	80
isopropanol	22	75	75	75
95% RV	40	85	90	85



Obr. 34 Pevnost za tepla – zkoušeno při různé teplotě [15]



Obr. 35 Stárnutí při uvedené teplotě a následně zkoušeno při 22 °C [15]



Obr. 36 Rychlost vytvrzení dle vlhkosti [15]

3.6 Typy strojů [6], [30]

Část vzorků se na sedm dní uložila do kataplasmy značky Binder (obr. 37). Jedná se o typ testu pro kontrolu životnosti lepeného stroje v podmínkách 70°C a 100% r.v.v (relativní vlhkost vzduchu) po dobu 7 dní.



Obr. 37 Kataplasma Binder

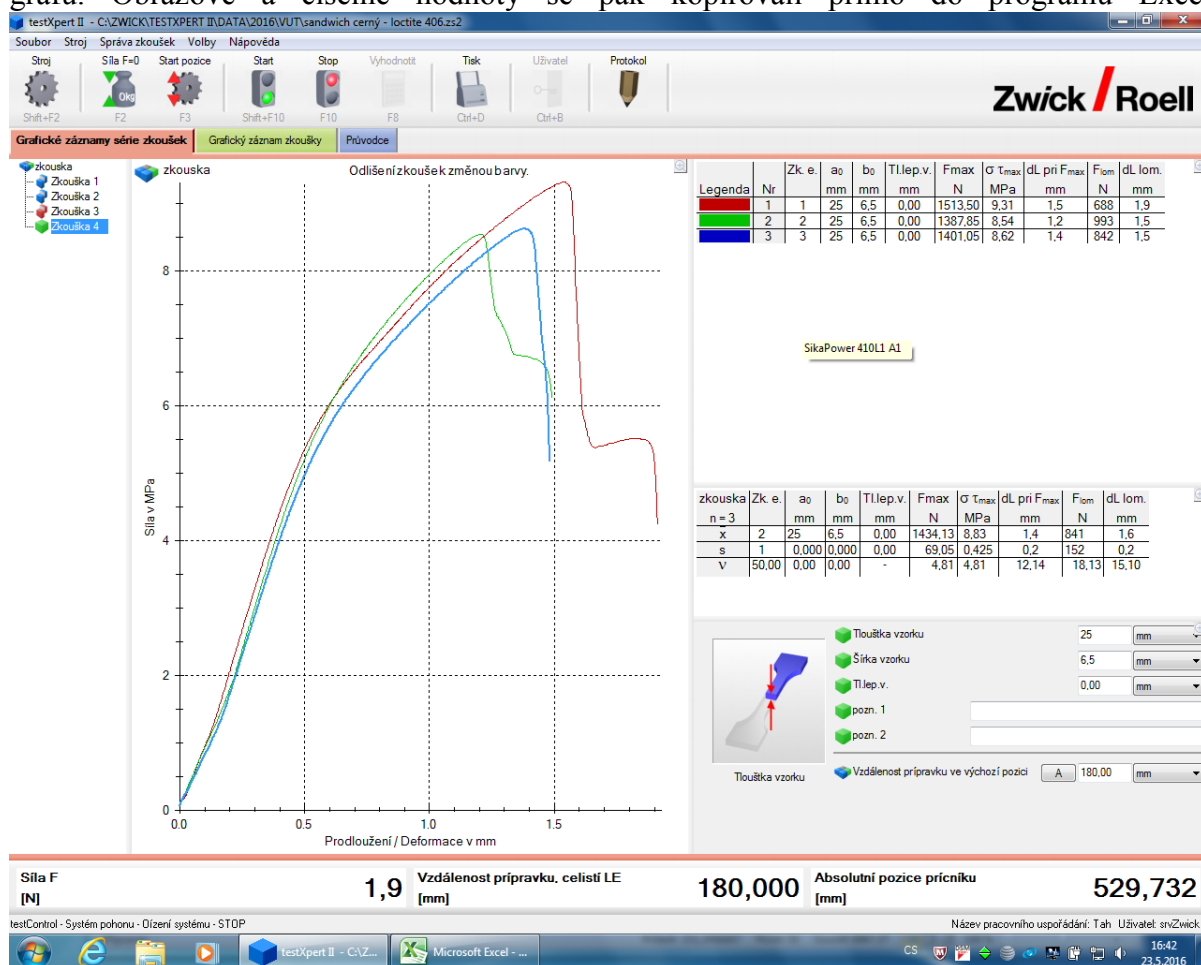
Vzorky se testovali na trhacím stroji Zwick Z010 (obr. 38). Parametry stroje jsou:

- stolní zkušební stroj s $F_{\max} = 10\text{kN}$
- testovací rychlost 0,0005 až 2000 mm/min
- zpětná rychlost až 3000 mm/min
- pneumatická madla, $F_{\max} = 10\text{kN}$
- pneumatická řídicí jednotka v režimu jemného pojíždění
- dálkové ovládání s displejem
- 3 - bodová ohybová testovací sada
- makro extensometr
- univerzální rozsah použití pro tahové a ohybové zkoušky
- spolehlivé určení Youngova modulu
- automatický výpočet mezi kluzu a bodu selhání
- T-drážka pro rychlou výměnu zařízení mezi různými typy zkoušek
- extensometr se sensorovým ramenem pro tahové a ohybové zkoušky
- uživatelsky přívětivé ovládání testu s testXpert II



Obr. 38 Zwick Z010

Trhací zkouška se prováděla v programu testXpert II, jehož rozhraní je na **obrázku**. V tomto programu se nejprve nastavily výchozí hodnoty rozměrů lepeného spoje a vzdálenost kleští. Poté se postupně každý vzorek upnul do stroje a hodnoty průběhu zkoušky se zapisovaly do grafu. Obrazové a číselné hodnoty se pak kopírovali přímo do programu Excel.



Obr. 39 Rozhraní programu testXpert II

3.7 Smykové zatížení

U trhací zkoušky se může sledovat pět proměnných veličin, které jsou výstupem testu:

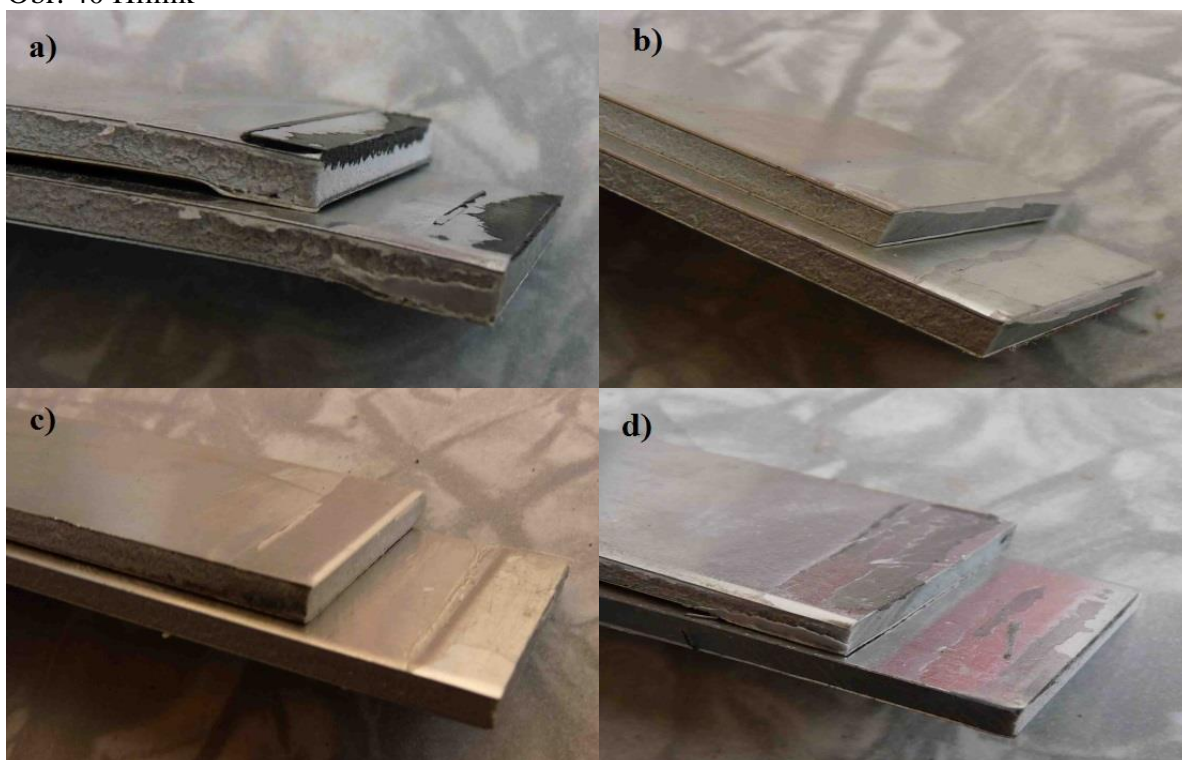
- maximální síla F_{max} [N]
- maximální napětí t_{max} [MPa]
- prodloužení při maximální síle dL při F_{max} [mm]
- síla potřebná na lom F_{lom} [N]
- prodloužení při lomu dL lom [mm]

Hliník

U čistého hliníku, jehož pláty jsou spojené do sendvičové konstrukce se u všech čtyř lepidel jednalo o adhezní poruchu. Vizuální kontrola ukázala, že vytvrzené lepidlo se sloupávalo z povrchu. Jediný spoj slepený Loctite 480 vykazoval známky uchycení lepidla na substrátu. U lepidla Loctite 406 se jeden nezátížený spoj rozlepil ještě před měřením. Spoje, které podstoupily kataplasmu, se rozlepily téměř všechny, kromě slepeného Loctite 480, kde ale bylo naměřeno malé napětí.



a) Loctite 480 b) Loctite 406 c) Sika Lock 2020 PR d) Sika Lock 2300 RT B
 První a druhá dvojice nechána pokojové teplotě, třetí dvojice vložena do kataplasmy
 Obr. 40 Hliník

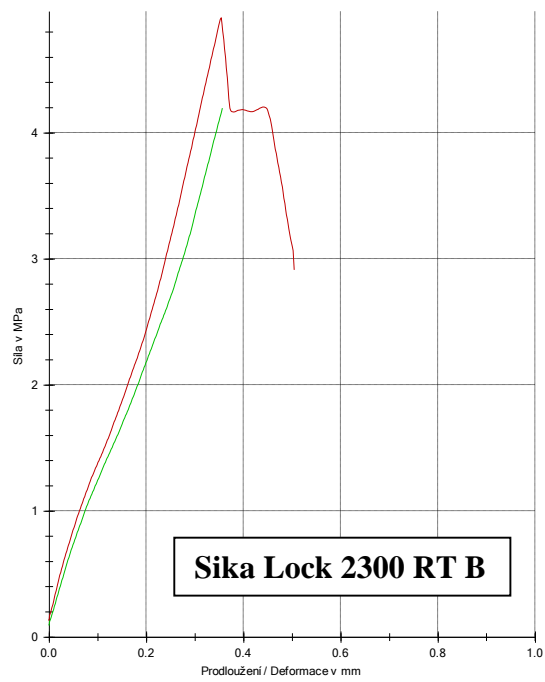
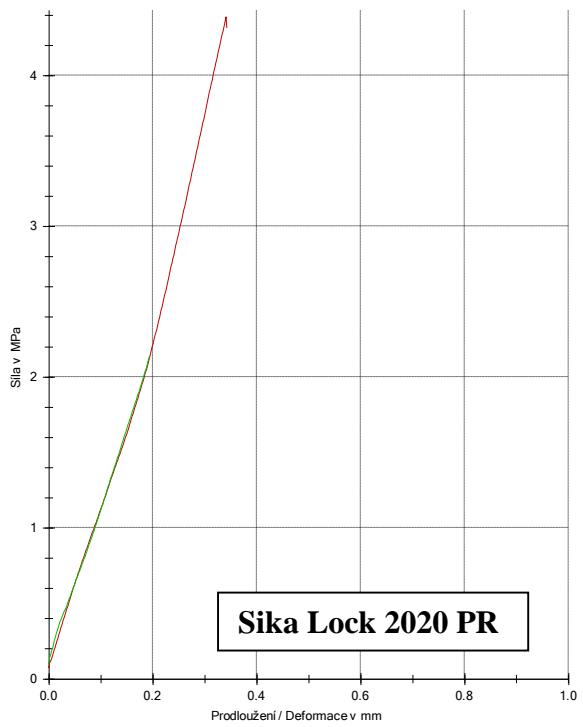
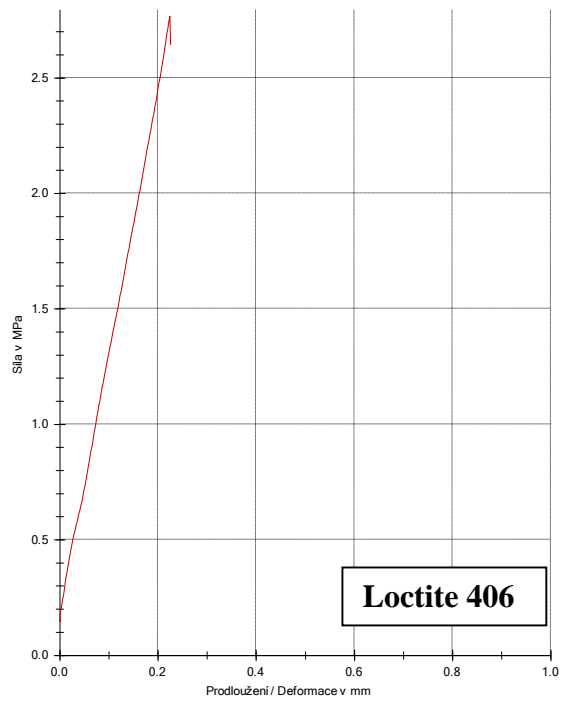
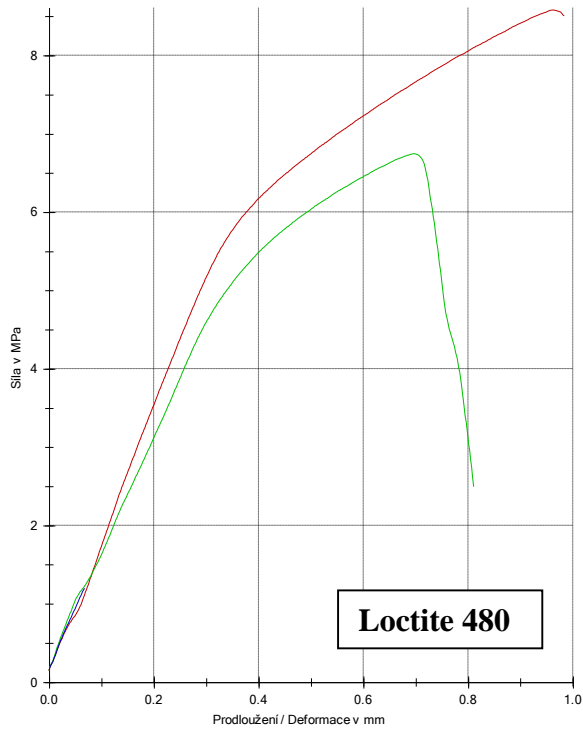


a) Loctite 480 b) Loctite 406 c) Sika Lock 2020 PR d) Sika Lock 2300 RT B
 Obr. 41 Detail roztrženého spoje hliníku

Podle naměřených hodnot vykazuje největší pevnost Loctide 480, kde jako jediný vydržel vzorek slepení i po kataplasmě.

Tab. 16 Naměřené hodnoty – vzorky nechány v pokojové teplotě, vzorky vložené do kataplasmy.

Loctite 480					Loctite 406				
F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom	F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom
[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]
1395,3	8,59	1	1380	1	449,72	2,77	0,2	429	0,2
1097,02	6,75	0,7	406	0,8	spoj se rozlepil před samotným měřením				
195,36	1,2	0,1	195	0,1	spoj se rozlepil před samotným měřením				
Sika Lock 2020 PR					Sika Lock 2300 RT B				
F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom	F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom
[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]
713,25	4,39	0,3	701	0,3	798,61	4,91	0,4	474	0,5
348	2,14	0,2	348	0,2	682,19	4,2	0,4	682	0,4
spoj se rozlepil před samotným měřením					spoj se rozlepil před samotným měřením				



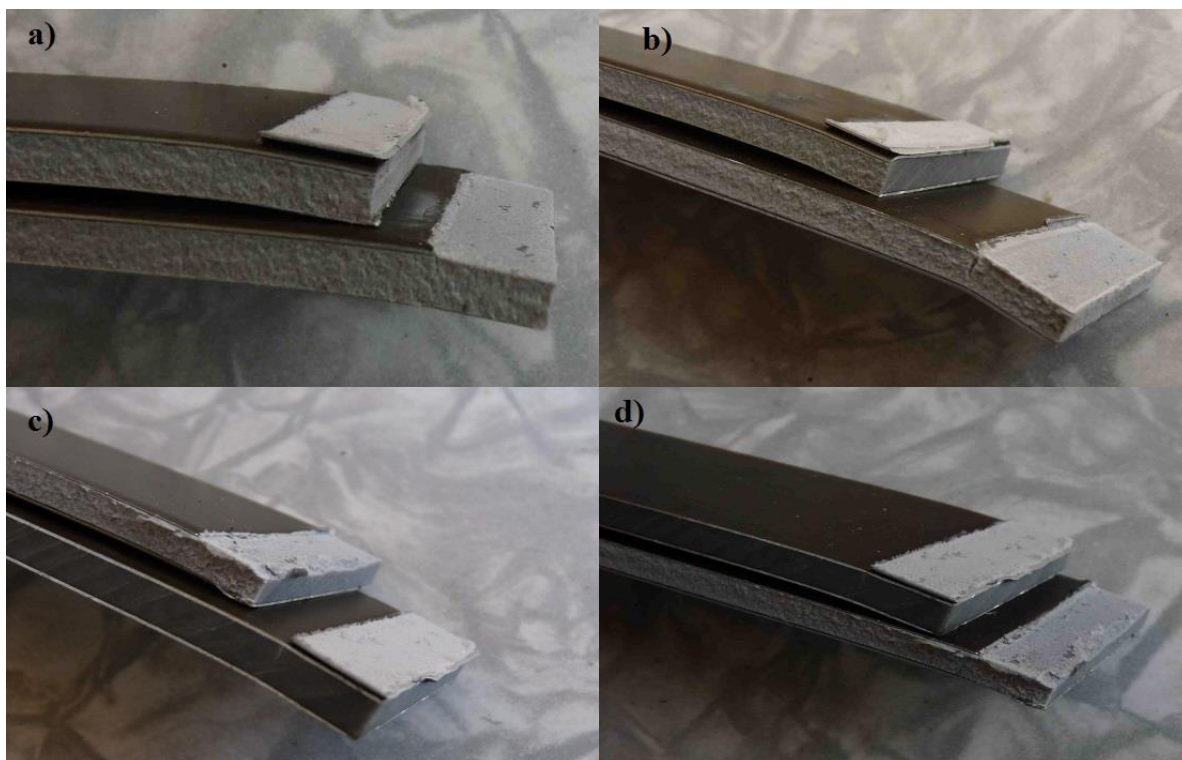
Pokožková teplota: *vzorek 1* a *vzorek 2*; kataplasma: *vzorek 3*
 Obr. 42 Grafy zobrazující závislost napětí na deformaci hliníku

Hliník s eloxovanou vrstvou

U tohoto materiálu, kde pláty hliníku jsou spojené jádrem do sendvičové konstrukce, docházelo téměř ve všech případech v místě spoje k odtržení hliníkového plátu od jádra a tento kus zůstal přilepený k druhému povrchu. Vzorky z kataplasmy vykazují odtržení eloxované vrstvy a zároveň kohezní poruchu v lepidle.



a) Loctite 480 b) Loctite 406 c) Sika Lock 2020 PR d) Sika Lock 2300 RT B
První a druhá dvojice nechána pokojové teplotě, třetí dvojice vložena do kataplasmy
Obr. 43 Hliník s eloxovanou vrstvou



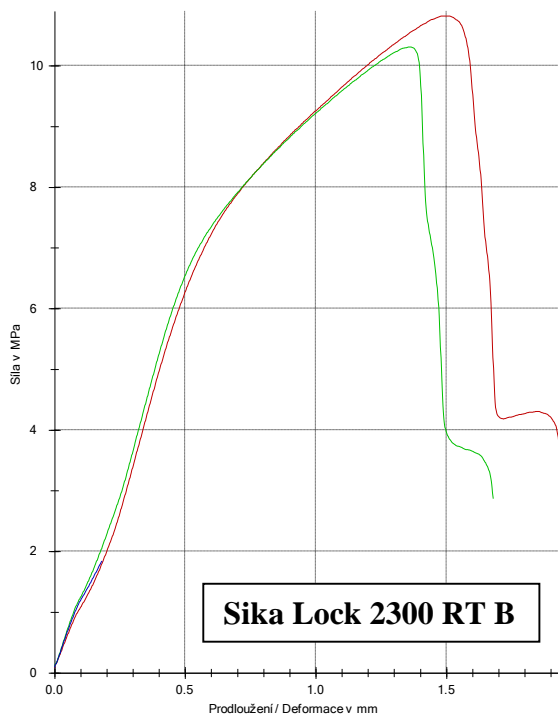
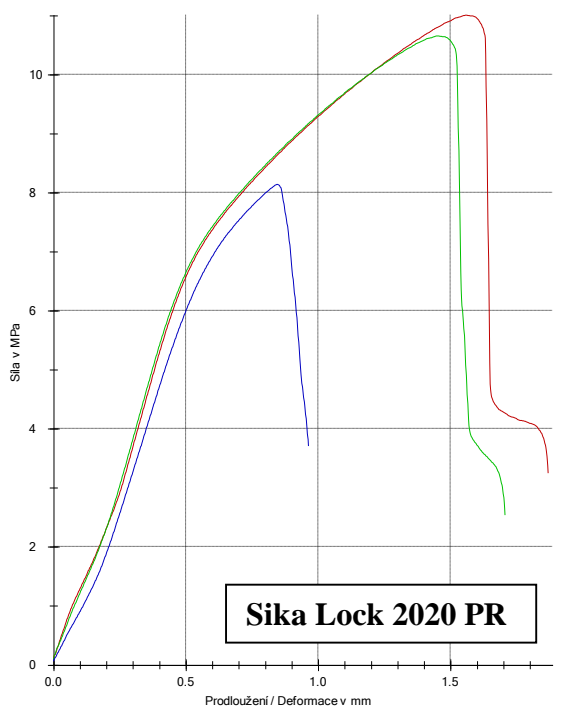
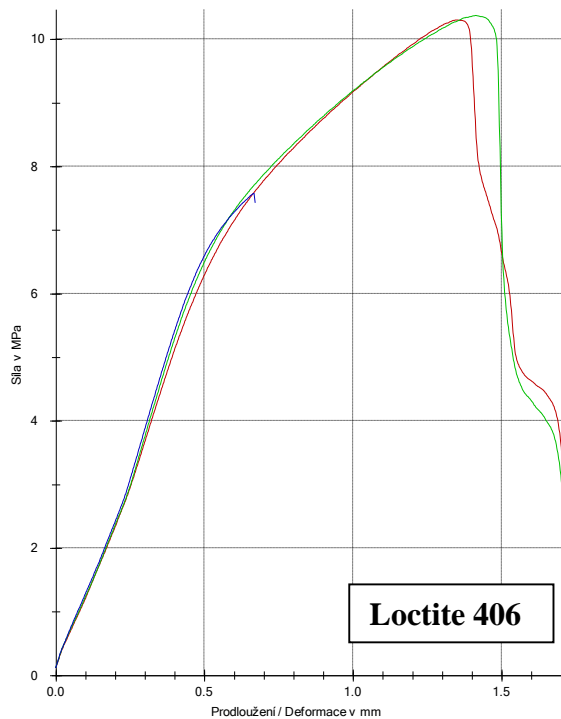
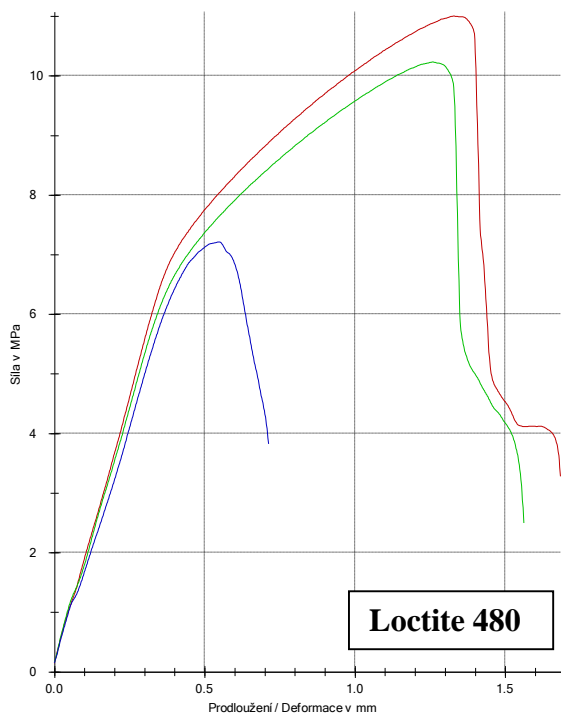
a) Loctite 480 b) Loctite 406 c) Sika Lock 2020 PR d) Sika Lock 2300 RT B

Obr. 44 Detail roztrženého spoje hliníku s eloxovanou vrstvou

Výsledky ukazují, že u tohoto spoje při běžných podmínkách dosahují všechna lepidla podobných výsledků. U vzorků z kataplasmy je vidět pokles síly, kde největší propad je u Sika Lock 2300.

Tab. 17 Naměřené hodnoty – vzorky nechány v pokojové teplotě, vzorky vložené do kataplasmy.

Loctite 480					Loctite 406				
F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom	F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom
[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]
1788,27	11	1,3	533	1,7	1674,54	10,3	1,3	562	1,7
1662,99	10,2	1,3	406	1,6	1686,04	10,4	1,4	478	1,7
1172,79	7,22	0,5	622	0,7	1231,96	7,58	0,7	1210	0,7
Sika Lock 2020 PR					Sika Lock 2300 RT B				
F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom	F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom
[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]
1789,61	11	1,6	529	1,9	1758,75	10,8	1,5	593	1,9
1732,55	10,7	1,5	413	1,7	1675,93	10,3	1,4	466	1,7
1323,36	8,14	0,8	603	1	299,63	1,84	0,2	300	0,2



Pokožová teplota: vzorek 1 a vzorek 2; kataplasma: vzorek 3

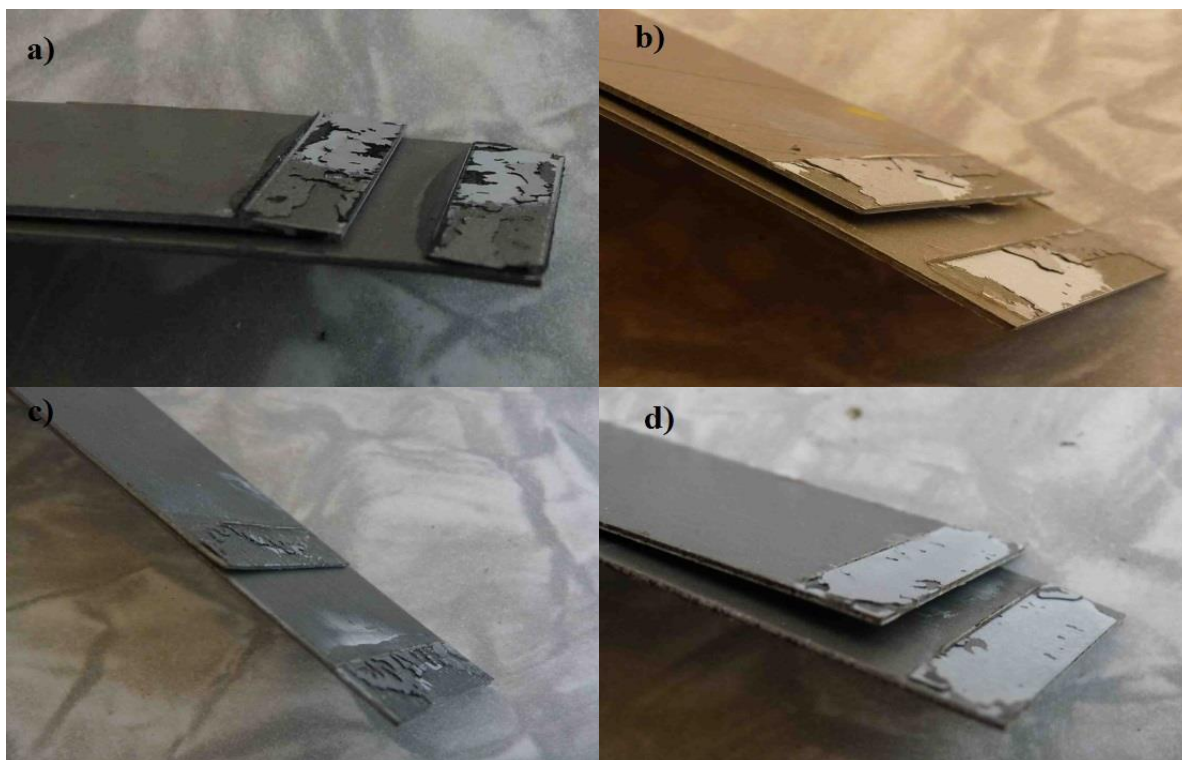
Obr. 45 Grafy zobrazující závislost napětí na deformaci hliníku s eloxovanou vrstvou

Ocelový plech – S254 s povlakem práškového laku

U ocelového plechu došlo ke smíšenému lomu, kde ve většině případů se spoj porušil jak v lepidle, tak i v materiálu.



a) Loctite 480 b) Loctite 406 c) Sika Lock 2020 PR d) Sika Lock 2300 RT B
První a druhá dvojice nechána pokojové teplotě, třetí dvojice vložena do kataplasmy
Obr. 46 Ocelový plech S254 s povlakem práškového laku



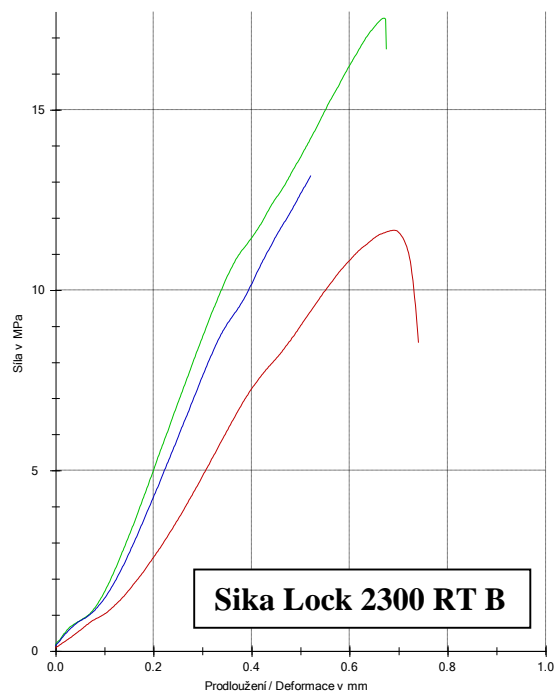
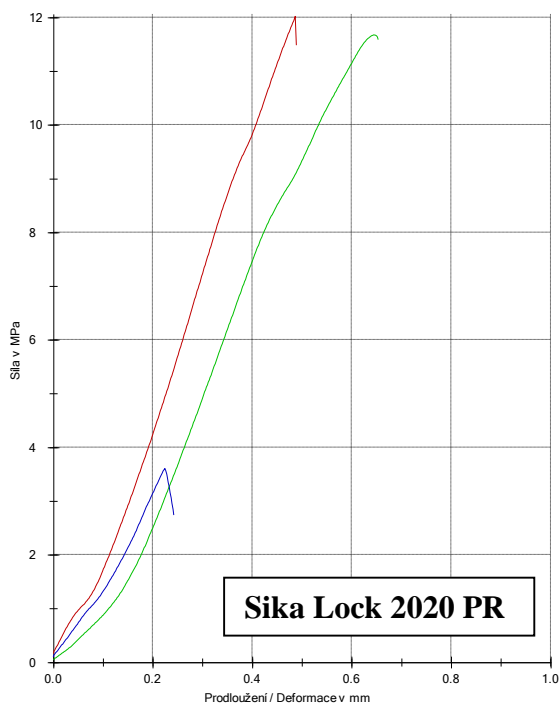
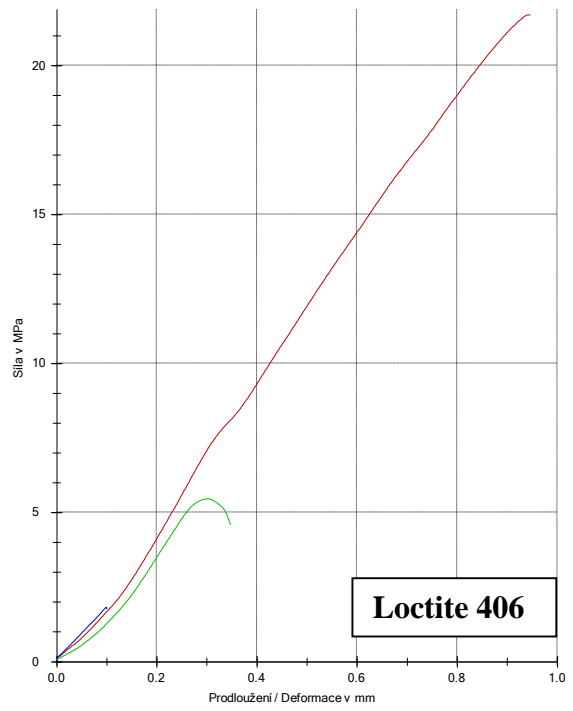
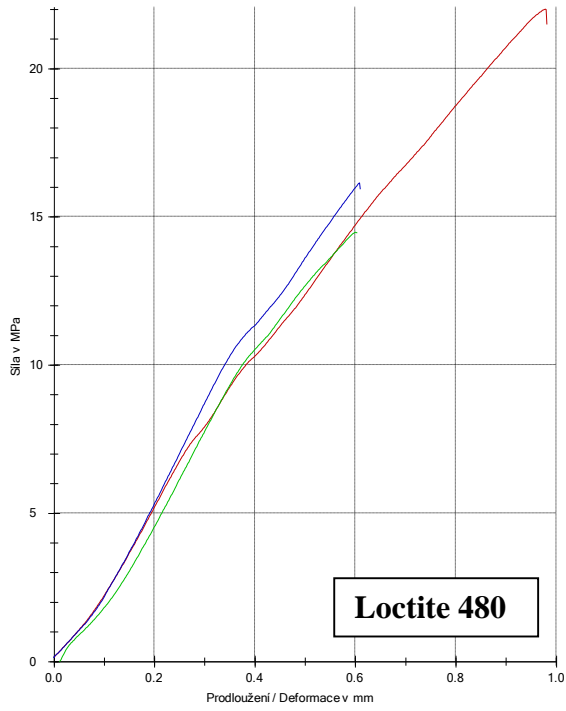
a) Loctite 480 b) Loctite 406 c) Sika Lock 2020 PR d) Sika Lock 2300 RT B

Obr. 47 Detail roztrženého spoje ocelového plechu

Tento spoj se ukázal jako jeden z nejpevnějších, naměřily se zde nejvyšší hodnoty z celého měření. Nejlépe si zde vedli oba produkty Loctite. Pevnost si zachovaly i některé spoje vložené do z kataplasmy. Konkrétně se jedná o lepidla s příměsí gumy, vhodných do vyšších teplot.

Tab. 18 Naměřené hodnoty – vzorky nechány v pokojové teplotě, vzorky vložené do kataplasmy.

Loctite 480					Loctite 406				
F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom	F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom
[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]
3576,27	22	1	3490	1	3528,66	21,7	0,9	3520	0,9
2353,91	14,5	0,6	2350	0,6	888,42	5,47	0,3	746	0,3
2625,04	16,2	0,6	2590	0,6	298,05	1,83	0,1	288	0,1
Sika Lock 2020 PR					Sika Lock 2300 RT B				
F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom	F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom
[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]
1954,58	12	0,5	1870	0,5	1896,16	11,7	0,7	1390	0,7
1898,5	11,7	0,6	1880	0,7	2851,26	17,5	0,7	2710	0,7
586,78	3,61	0,2	446	0,2	2142,66	13,2	0,5	2140	0,5

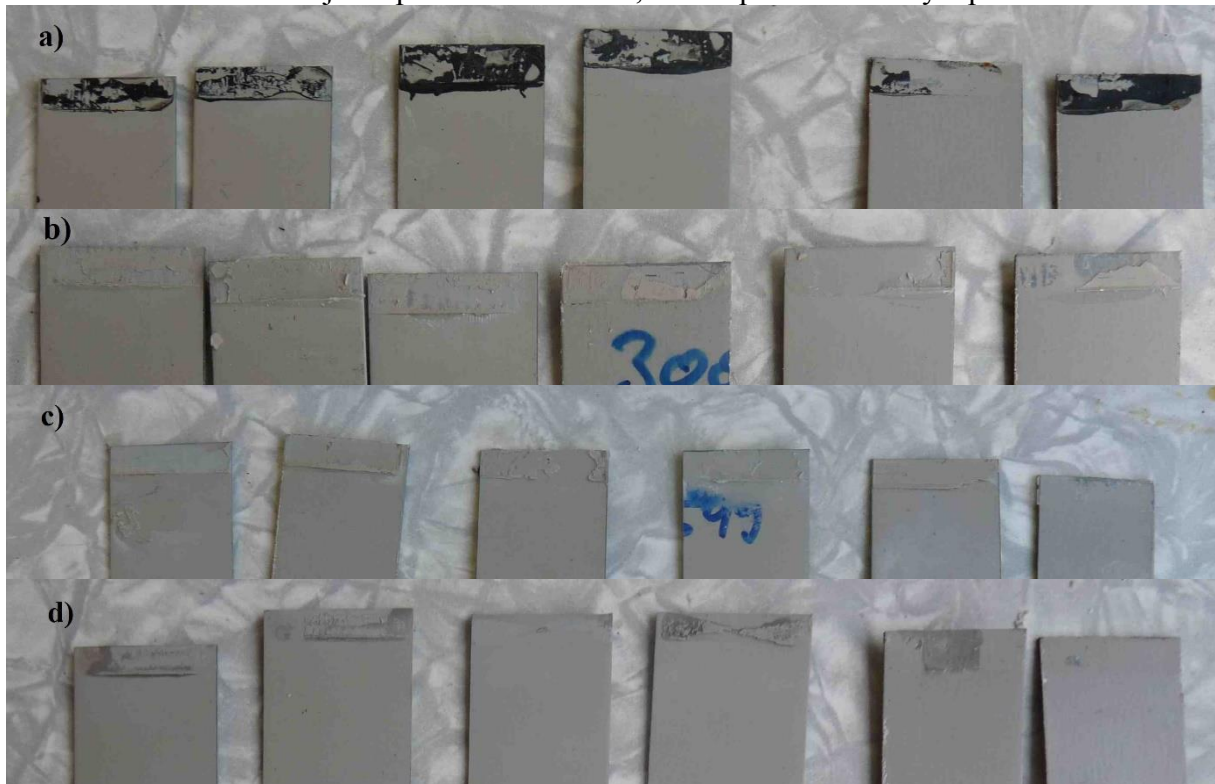


Pokožová teplota: vzorek 1 a vzorek 2; kataplasma: vzorek 3

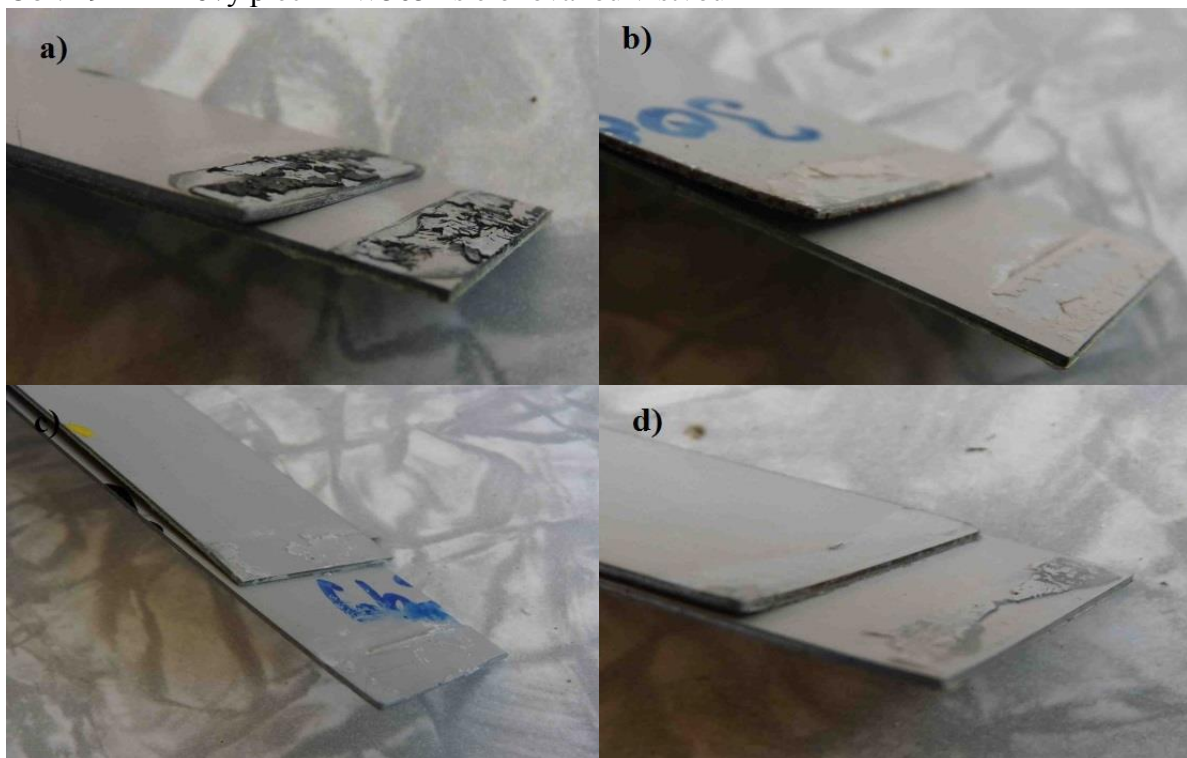
Obr. 48 Grafy zobrazující závislost napětí na deformaci ocelového plechu

Hliníkový plech AW5052 s eloxovanou vrstvou

Zde, podobně jak u předchozích vzorků ocelového plechu, docházelo u hliníkového také ke smíšenému lomu. Došlo jak k porušení materiálu, tak i k porušení vrstvy lepidla.



a) Loctite 480 b) Loctite 406 c) Sika Lock 2020 PR d) Sika Lock 2300 RT B
První a druhá dvojice nechána pokojové teplotě, třetí dvojice vložena do kataplasmy
Obr. 49 Hliníkový plech AW5052 s eloxovanou vrstvou

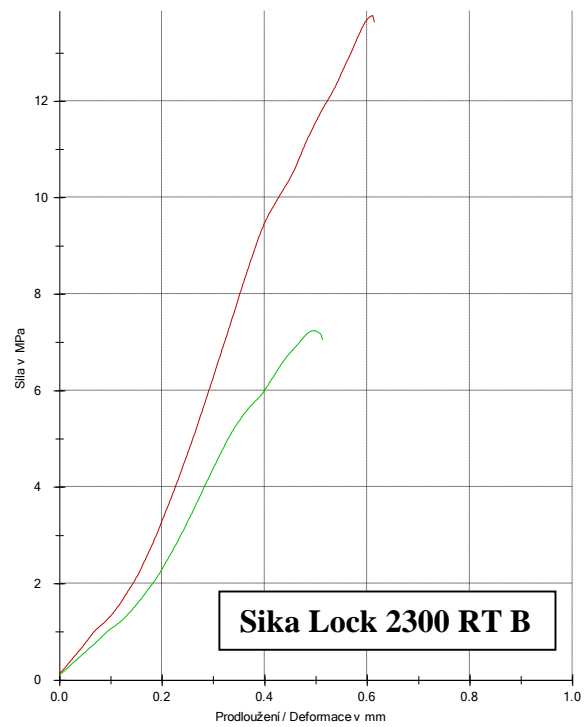
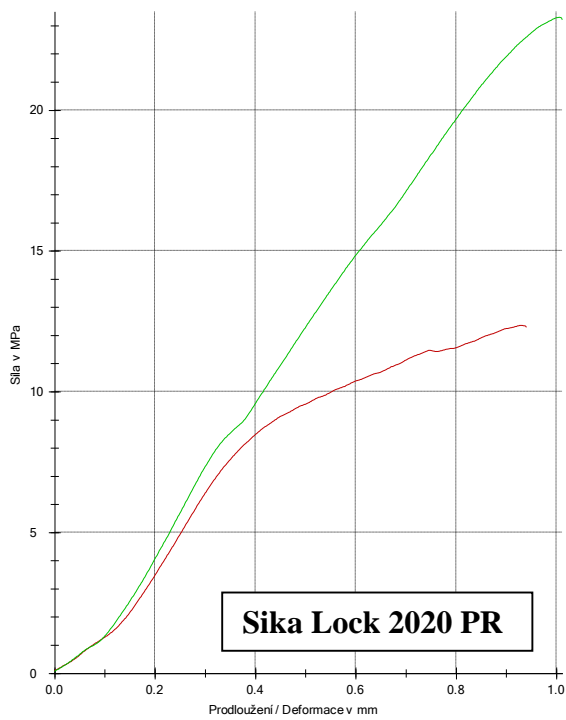
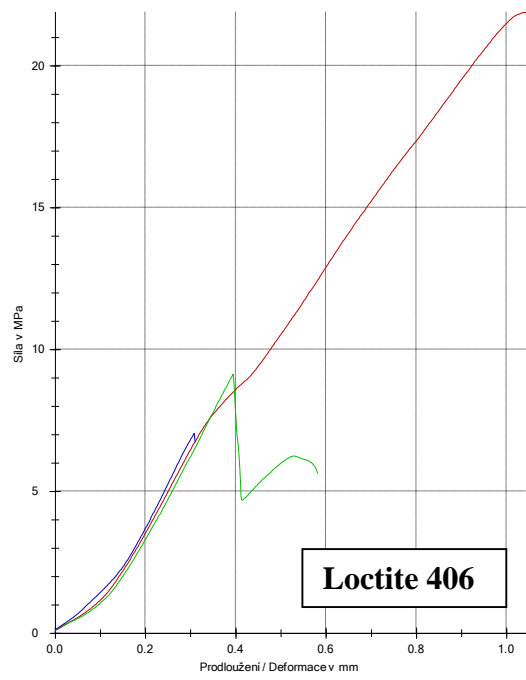
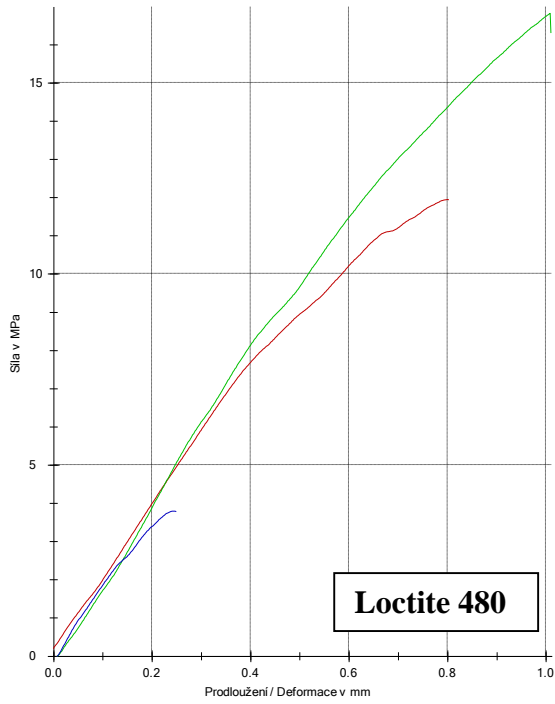


a) Loctite 480 b) Loctite 406 c) Sika Lock 2020 PR d) Sika Lock 2300 RT B
Obr. 50 Detail roztrženého spoje hliníkového plechu

Zde byly opět naměřené vysoké hodnoty pevnosti. Nejlépe si vedla čirá lepidla Loctite 406 a Sika Lock 2020. Bohužel u obou typů Sika Lock došlo u vzorků z kataplasmy k rozlepení před samotným měřením.

Tab. 19 Naměřené hodnoty – vzorky nechány v pokojové teplotě, vzorky vložené do kataplasmy.

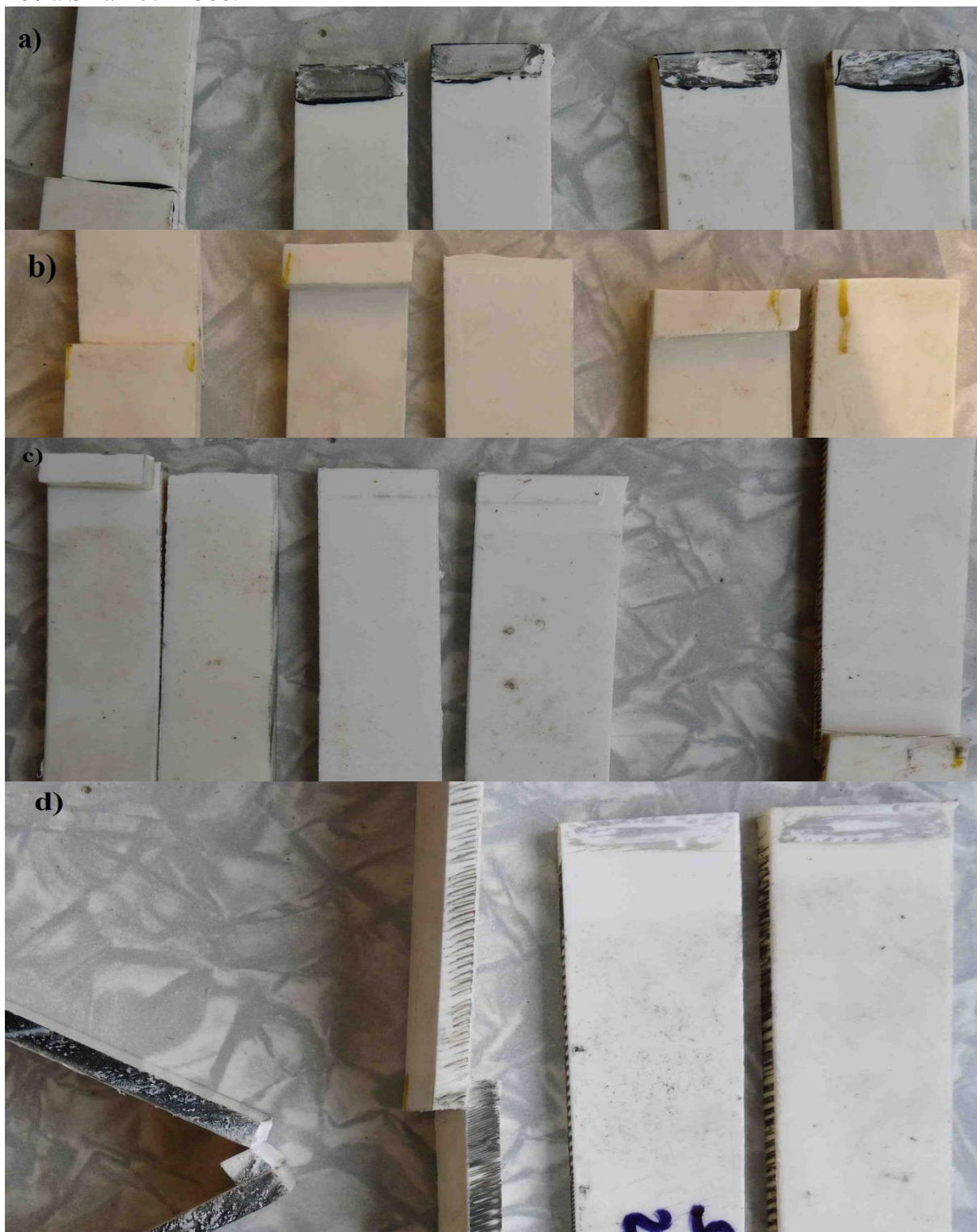
Loctite 480					Loctite 406				
F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom	F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom
[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]
1941,72	11,9	0,8	1940	0,8	3557,41	21,9	1	3520	1,1
2733,79	16,8	1	2650	1	1484,52	9,14	0,4	915	0,6
617,11	3,8	0,2	615	0,2	1144,35	7,04	0,3	1090	0,3
Sika Lock 2020 PR					Sika Lock 2300 RT B				
F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom	F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom
[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]
2009,29	12,4	0,9	2000	0,9	2238,79	13,8	0,6	2220	0,6
3786,76	23,3	1	3770	1	1177,37	7,25	0,5	1150	0,5
spoj se rozlepil před samotným měřením					spoj se rozlepil před samotným měřením				



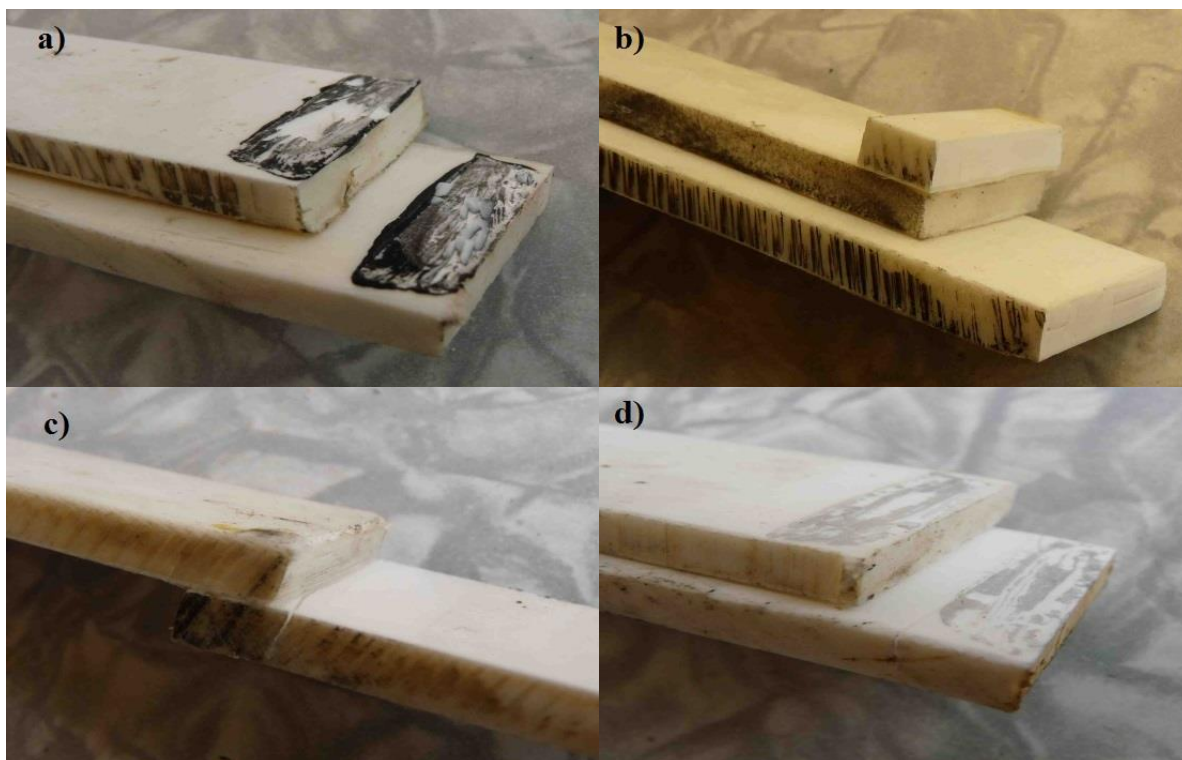
Pokožová teplota: vzorek 1 a vzorek 2; kataplasma: vzorek 3
 Obr. 51 Grafy zobrazující závislost napětí na deformaci hliníkového plechu

PVC

U tohoto materiálu docházelo ve většině případů k porušení substrátu. Lom se inicioval v místě, kde končil lepený spoj. vyjimku tvořily čtyři vzorky, jeden slepený Loctite 480 a druhý Sika Lock 2020, u kterých došlo ke kohezní poruše a další dva z kataplasmy slepené Loctite 480 a Sika Lock 2300.



a) Loctite 480 b) Loctite 406 c) Sika Lock 2020 PR d) Sika Lock 2300 RT B
První a druhá dvojice nechána pokojové teplotě, třetí dvojice vložena do kataplasmy
Obr. 52 PVC

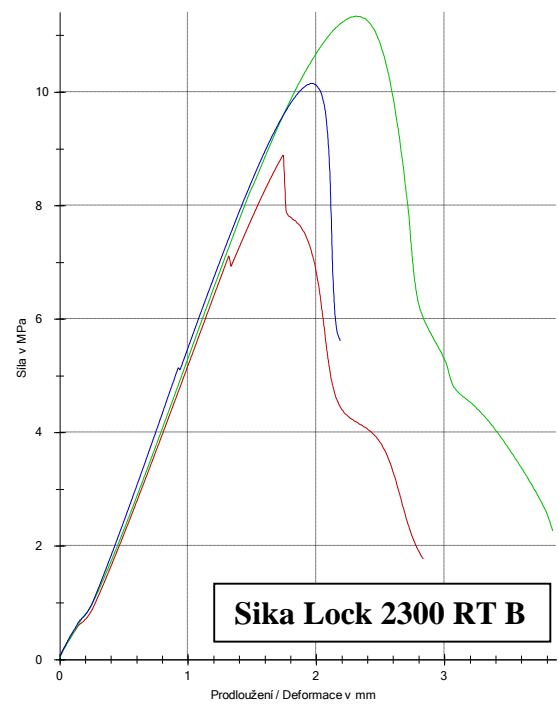
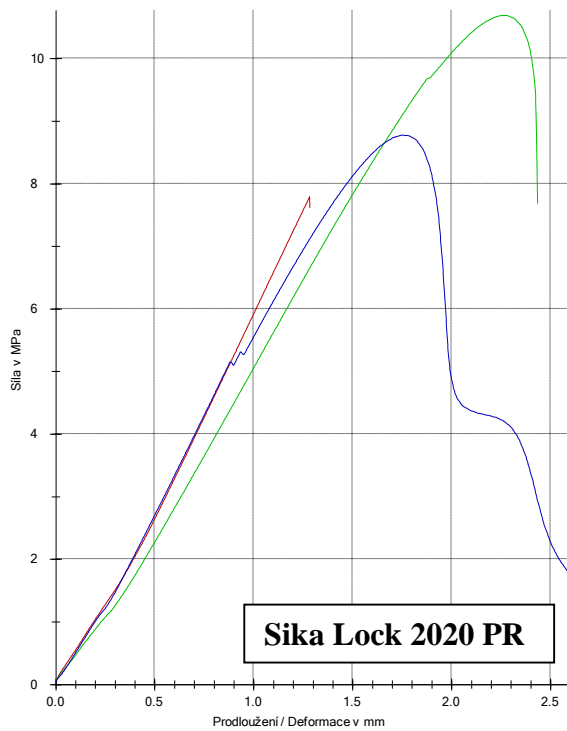
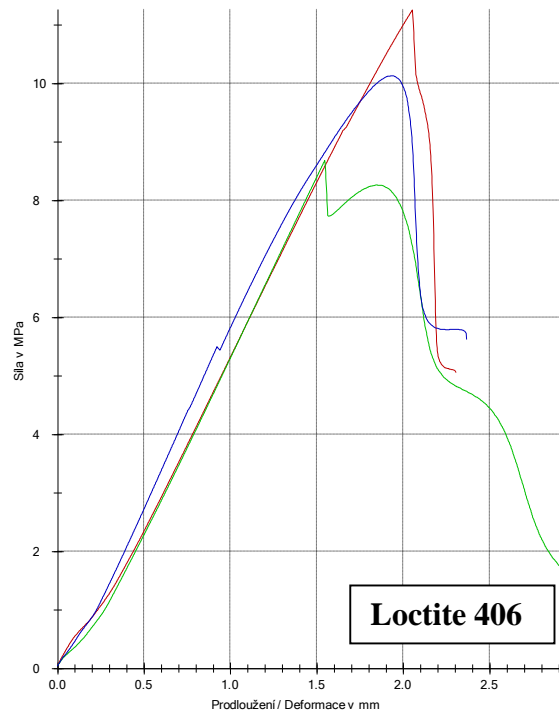
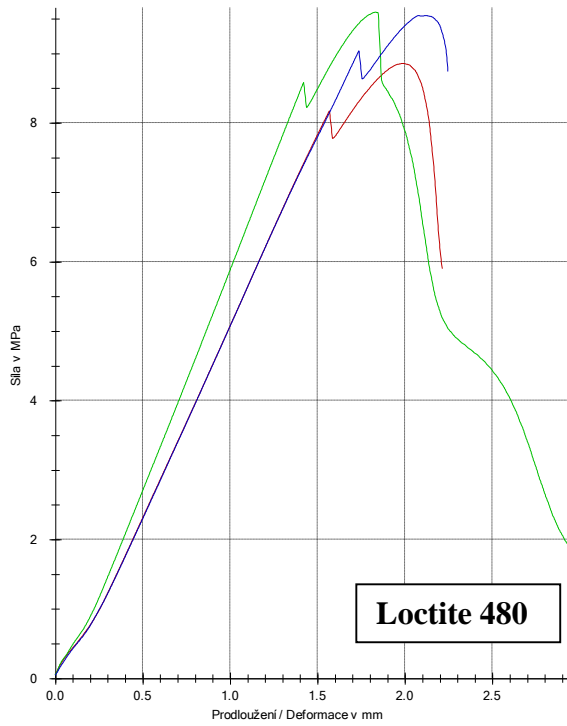


a) Loctite 480 b) Loctite 406 c) Sika Lock 2020 PR d) Sika Lock 2300 RT B
Obr. 53 Detail roztrženého spoje PVC

Naměřené hodnoty jsou zde poměrně vyrovnané, což je dáno i tím, že docházelo k poškození substrátu. Z výsledků vyplývá, že kataplasma u tohoto spoje neměla výrazný vliv na pevnost a vzorky, které mají lom v lepidle, vykazují podobné hodnoty, jako ty s poškozeným substrátem.

Tab. 20 Naměřené hodnoty – vzorky nechány v pokojové teplotě, vzorky vložené do kataplasmy.

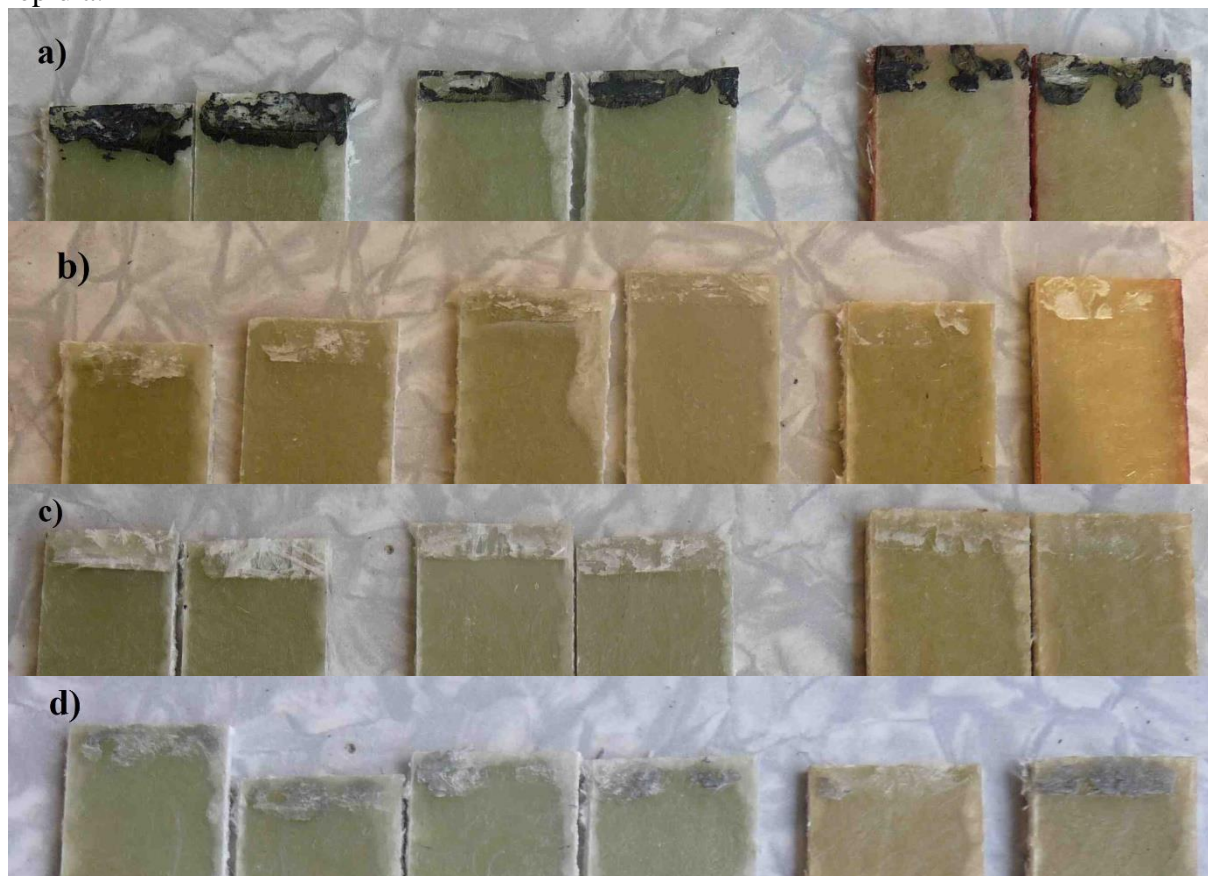
Loctite 480					Loctite 406				
F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom	F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom
[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]
1440	8,86	2	959	2,2	1829,35	11,3	2,1	822	2,3
1559,43	9,6	1,8	312	2,9	1411,9	8,69	1,5	282	2,9
1551,87	9,55	2,1	1420	2,2	1647,01	10,1	1,9	914	2,4
Sika Lock 2020 PR					Sika Lock 2300 RT B				
F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom	F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom
[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]
1267,07	7,8	1,3	1240	1,3	1445,22	8,89	1,7	289	2,8
1737,19	10,7	2,3	1250	2,4	1843,08	11,3	2,3	368	3,8
1426,41	8,78	1,8	285	2,6	1650,64	10,2	2	913	2,2



Pokožová teplota: vzorek 1 a vzorek 2; kataplasma: vzorek 3
 Obr. 54 Grafy zobrazující závislost napětí na deformaci PVC

Laminát GRP

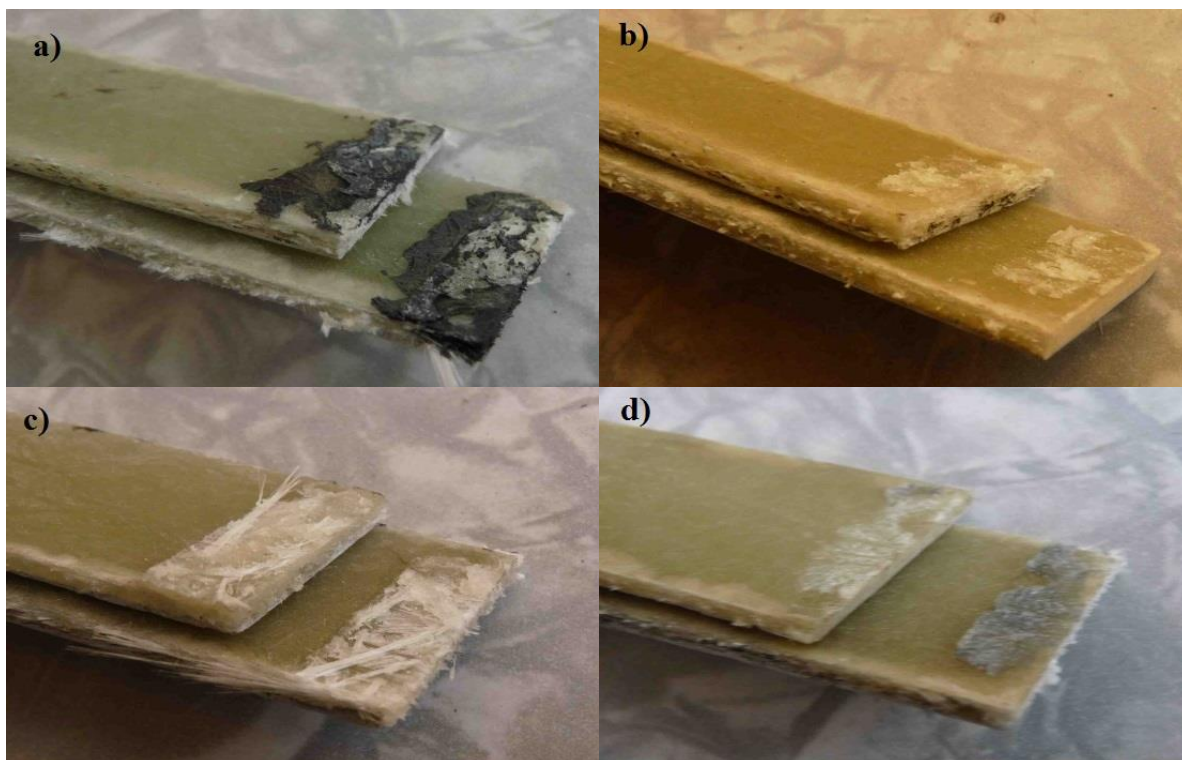
Zde docházelo převážně k lomu v substrátu, ale některé spoje vykazují i kohezní lom. Obzvláště u vzorků vložených do kataplasmy došlo k rozlepení spojů. Tento povrch se i obtížně lepí, jelikož zvrásnění zabraňuje rovnoměrnému rozprostření lepidla a je potřeba větší vrstva lepidla.



a) Loctite 480 b) Loctite 406 c) Sika Lock 2020 PR d) Sika Lock 2300 RT B

První a druhá dvojice nechána pokojové teplotě, třetí dvojice vložena do kataplasmy

Obr. 55 Laminát GRP

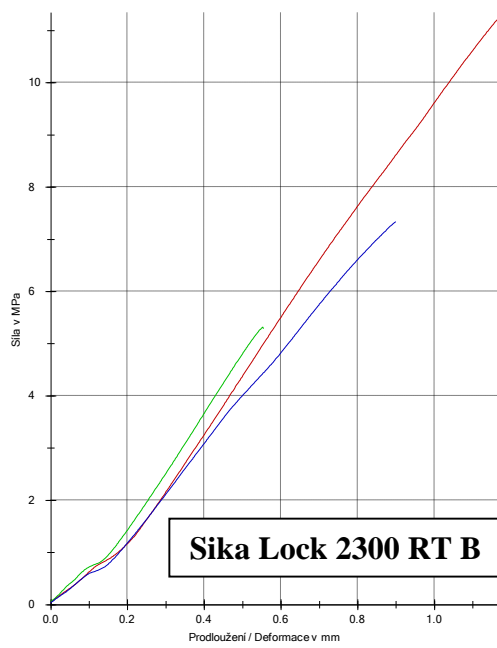
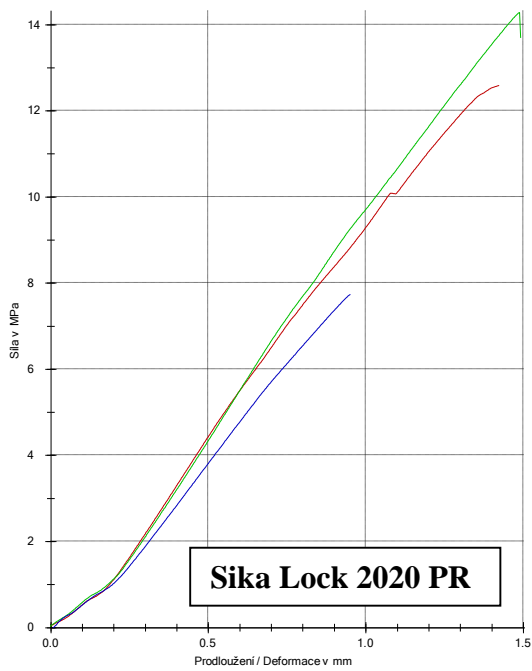
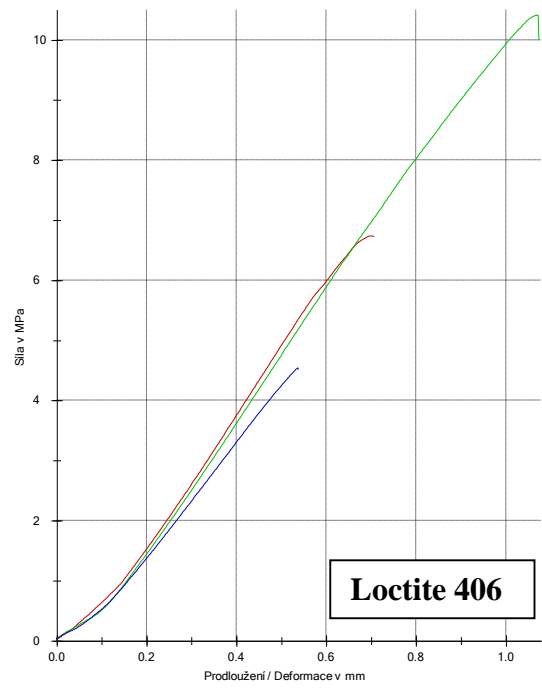
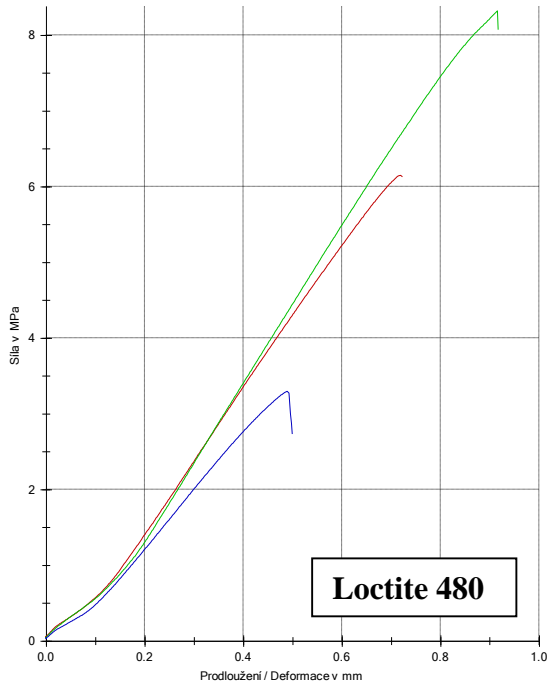


a) Loctite 480 b) Loctite 406 c) Sika Lock 2020 PR d) Sika Lock 2300 RT B
 Obr. 56 Detail roztrženého spoje laminátu GRP

Naměřené hodnoty jsou zde jedny z těch nižších. Nejlépe si zde vedly produkty Sika Lock, které měly lepší výsledky i u spojů z kataplasmy.

Tab. 21 Naměřené hodnoty – vzorky nechány v pokojové teplotě, vzorky vložené do kataplasmy.

Loctite 480					Loctite 406				
F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom	F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom
[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]
999,97	6,15	0,7	997	0,7	1096	6,74	0,7	1090	0,7
1352,41	8,32	0,9	1310	0,9	1692,81	10,4	1,1	1630	1,1
535,9	3,3	0,5	444	0,5	739,33	4,55	0,5	734	0,5
Sika Lock 2020 PR					Sika Lock 2300 RT B				
F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom	F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom
[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]
2045,42	12,6	1,4	2050	1,4	1838,65	11,3	1,2	1780	1,2
2320,54	14,3	1,5	2230	1,5	864,34	5,32	0,6	859	0,6
1257,73	7,74	1	1260	1	1192,44	7,34	0,9	1190	0,9



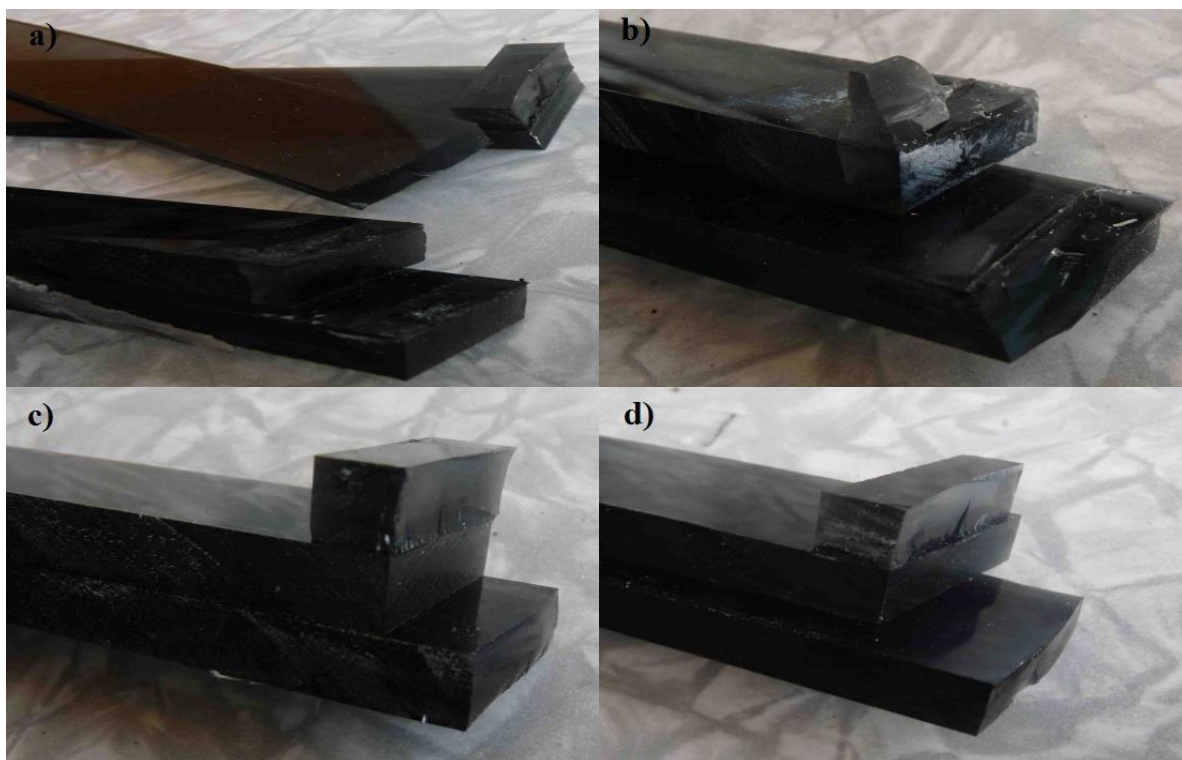
Pokojová teplota: vzorek 1 a vzorek 2; kataplasma: vzorek 3
 Obr. 57 Grafy zobrazující závislost napětí na deformaci laminátu GRP

Polykarbonát

U tohoto materiálu docházelo v drtivé většině spojů k praskání základního materiálu. To je také dáno tím, že tento materiál je velice křehký. Jen v jednom případě došlo ke koheznímu porušení, a to u Loctite 480.



a) Loctite 480 b) Loctite 406 c) Sika Lock 2020 PR d) Sika Lock 2300 RT B
První a druhá dvojice nechána pokojové teplotě, třetí dvojice vložena do kataplasmy
Obr. 58 Polykarbonát



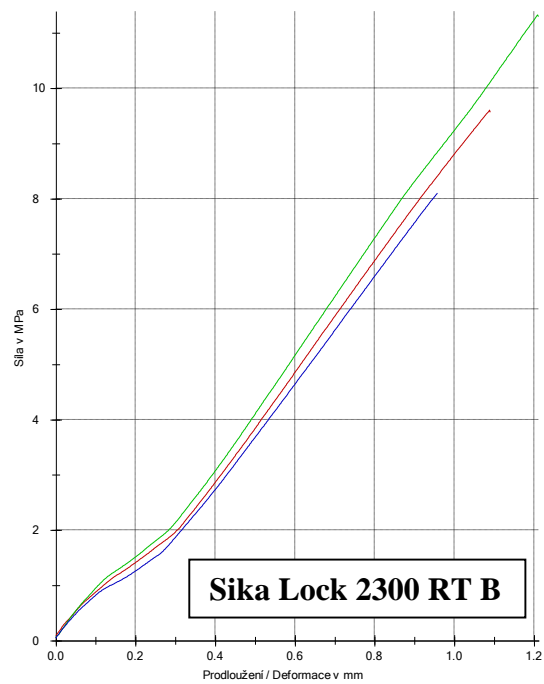
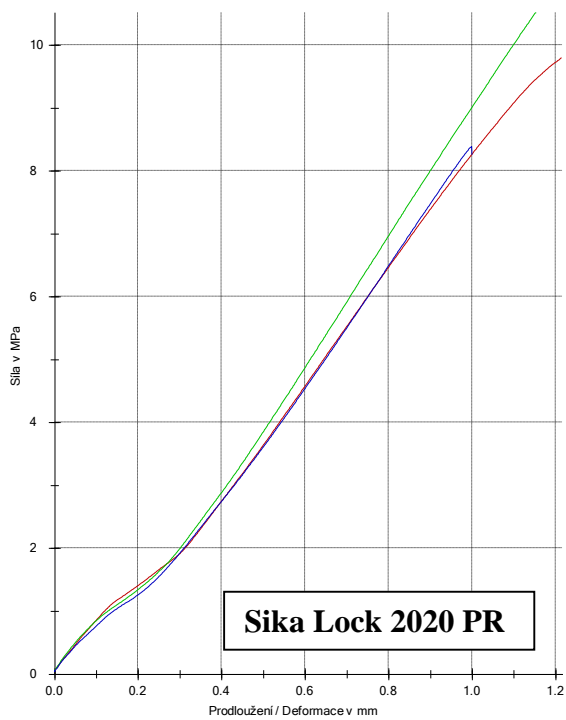
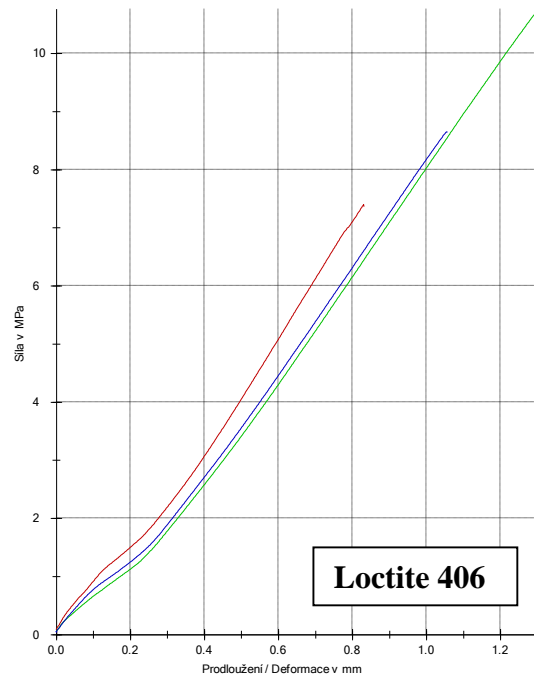
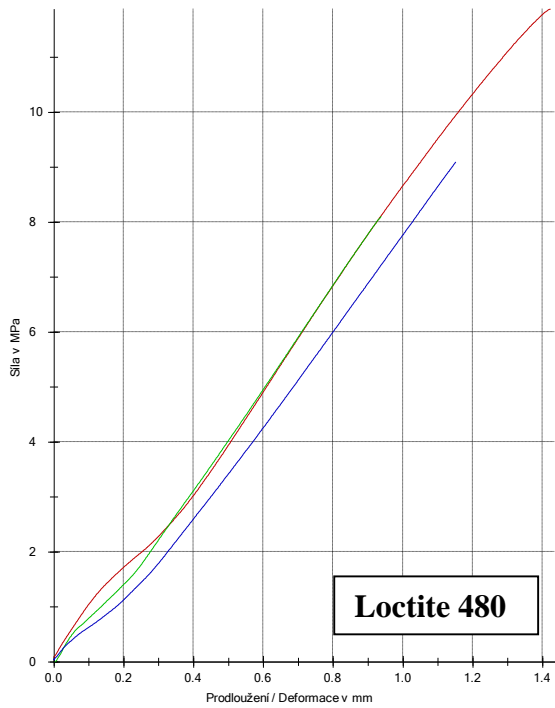
a) Loctite 480 b) Loctite 406 c) Sika Lock 2020 PR d) Sika Lock 2300 RT B

Obr. 59 Detail roztrženého spoje polykarbonátu

Naměřené hodnoty jsou u těchto vzorků průměrné, ale to je dáno limitem pevnosti základního materiálu. Nevýhoda tohoto materiálu spočívá také v lepení spoje, kde vytvrzení trvalo mnohem déle, než u ostatních typů materiálů.

Tab. 22 Naměřené hodnoty – vzorky nechány v pokojové teplotě, vzorky vložené do kataplasmy.

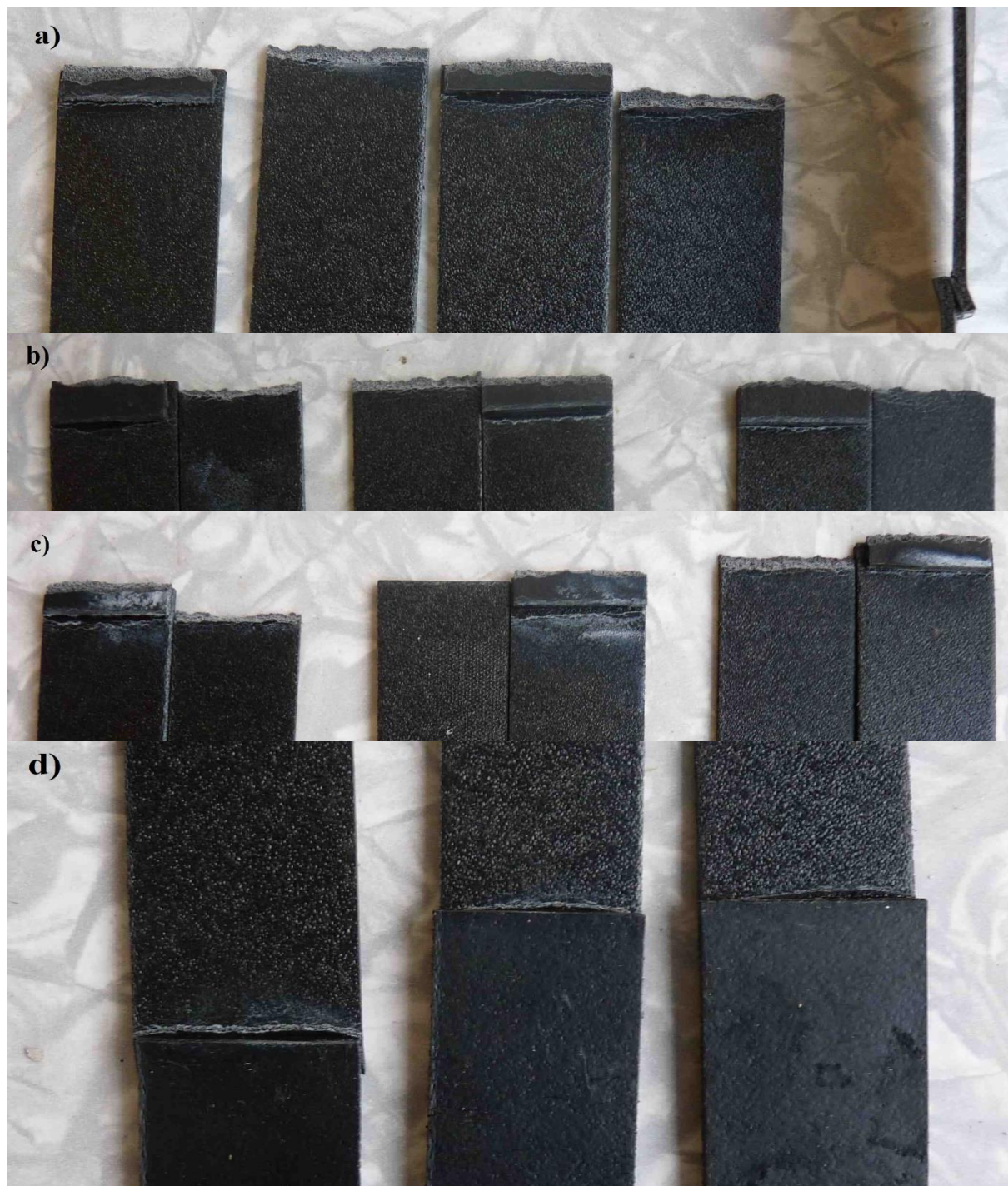
Loctite 480					Loctite 406				
F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom	F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom
[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]
1930,12	11,9	1,4	1930	1,4	1202,45	7,4	0,8	1200	0,8
1316,78	8,1	0,9	1320	0,9	1736,17	10,7	1,3	1740	1,3
1478,18	9,1	1,2	1480	1,2	1406,85	8,66	1,1	1400	1,1
Sika Lock 2020 PR					Sika Lock 2300 RT B				
F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom	F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom
[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]
1593,15	9,8	1,2	1590	1,2	1561,16	9,61	1,1	1560	1,1
1709,19	10,5	1,2	1710	1,2	1842,07	11,3	1,2	1840	1,2
1363,27	8,39	1	1340	1	1317,07	8,11	1	1320	1



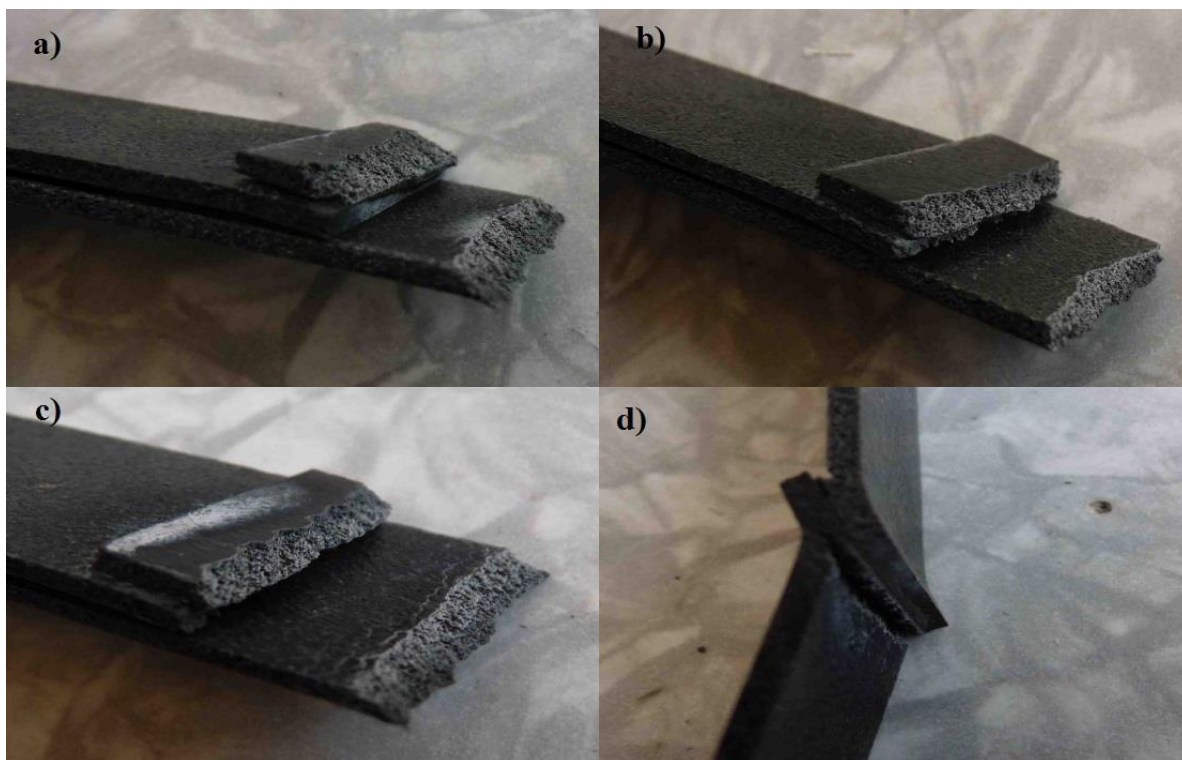
Pokožová teplota: *vzorek 1* a *vzorek 2*; kataplasma: *vzorek 3*
 Obr. 60 Grafy zobrazující závislost napětí na deformaci polykarbonátu

ABS

Tento měkký a ohebný materiál byl jediný, kde nedošlo ani v jednom případě k poruše lepidla. Všechny vzorky se porušily v základním materiálu. Lom se inicioval v místě ohybu a posléze došlo k utržení celého materiálu.



a) Loctite 480 b) Loctite 406 c) Sika Lock 2020 PR d) Sika Lock 2300 RT B
První a druhá dvojice nechána pokojové teplotě, třetí dvojice vložena do kataplasmy
Obr. 61 ABS



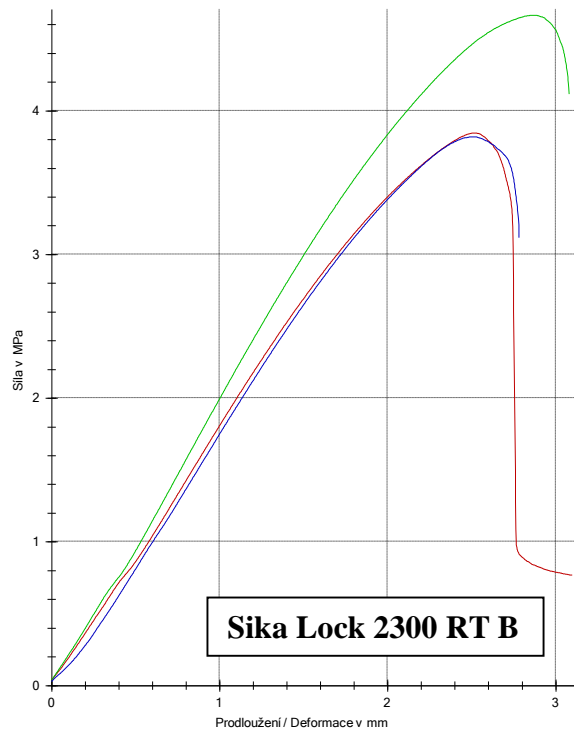
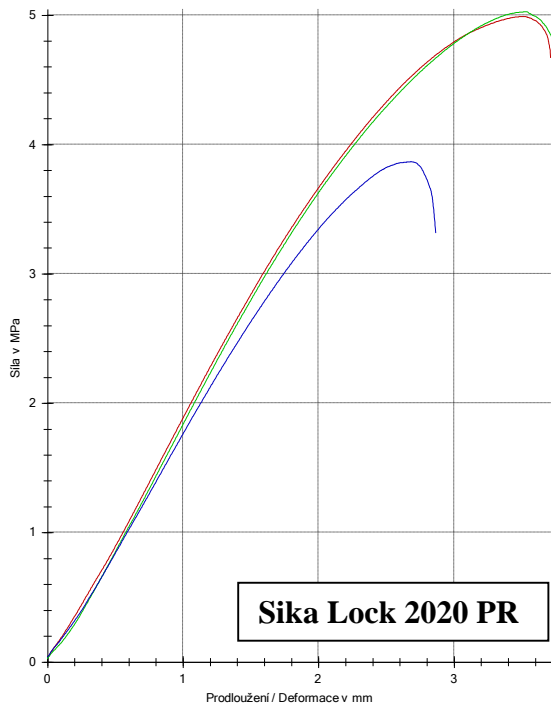
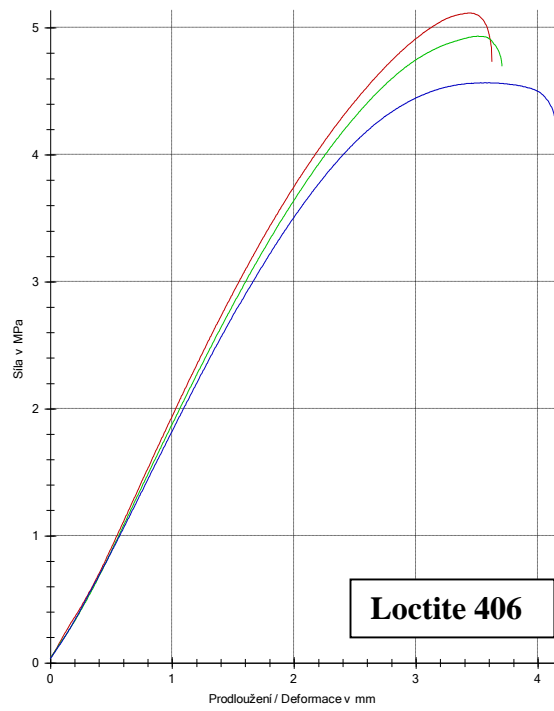
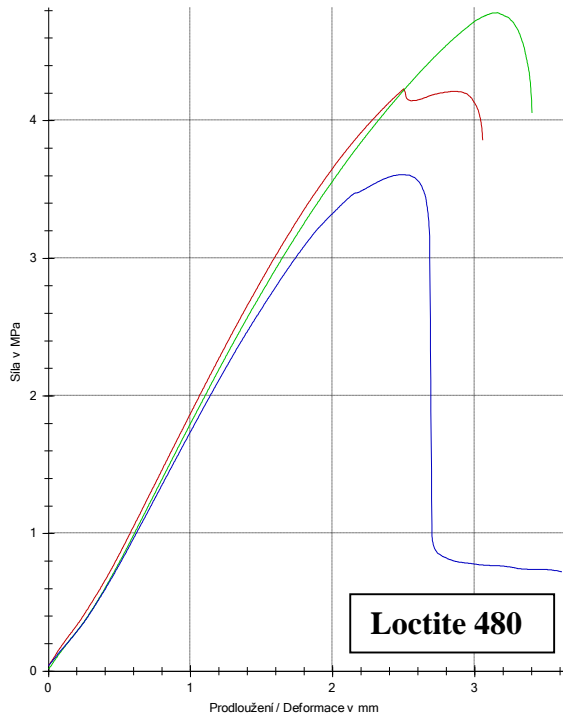
a) Loctite 480 b) Loctite 406 c) Sika Lock 2020 PR d) Sika Lock 2300 RT B

Obr. 62 Detail roztrženého spoje ABS

Síla, naměřená u těchto vzorků, byla jednoznačně nejmenší. To je dáno velmi malou pevností základního materiálu. Je zde vidět i vliv kataplasmy na základní materiál, jelikož hodnoty těchto spojů jsou u všech lepidel o menší.

Tab. 23 Naměřené hodnoty – vzorky nechány v pokojové teplotě, vzorky vložené do kataplasmy.

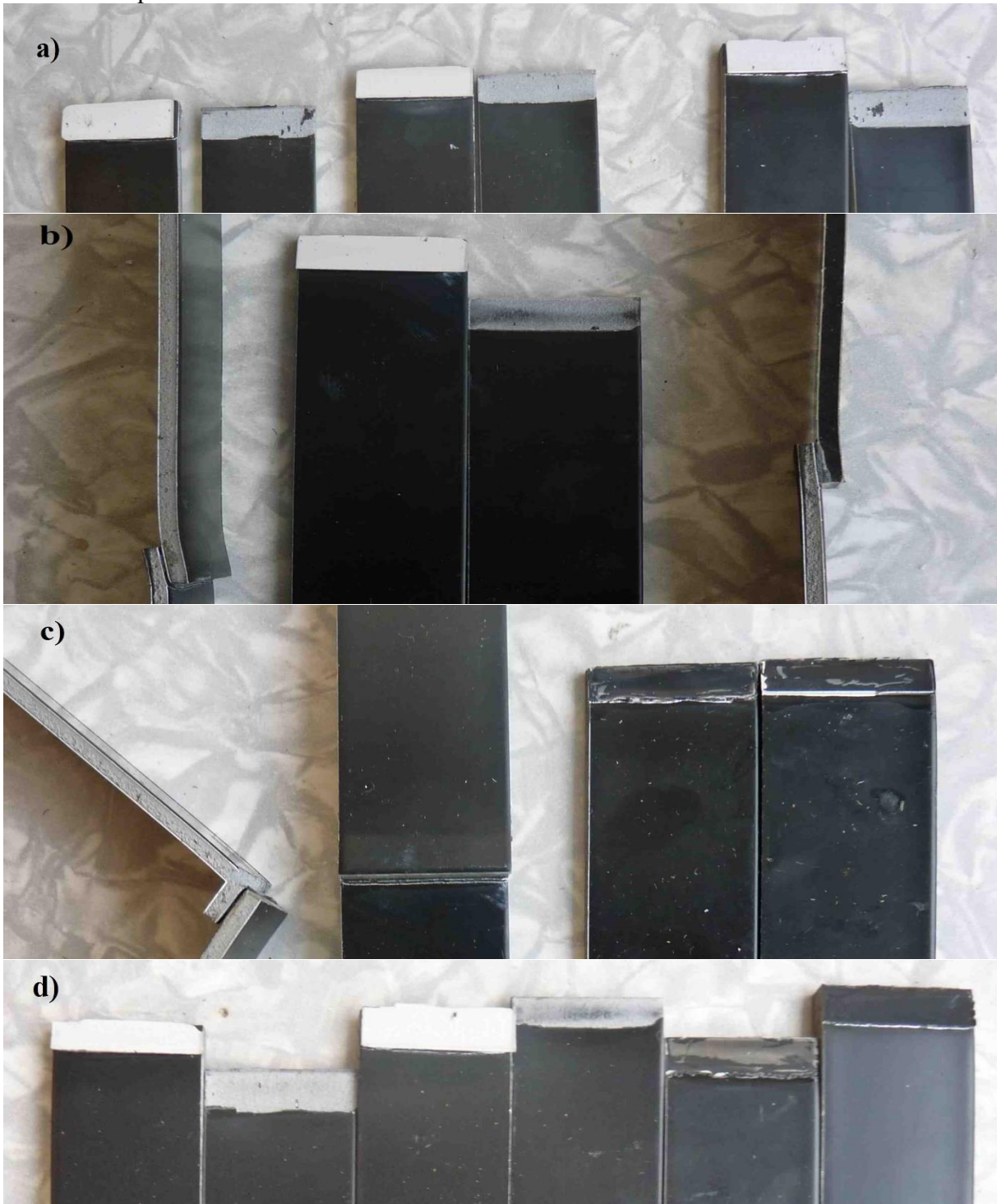
Loctite 480					Loctite 406				
F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom	F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom
[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]
687,79	4,23	2,5	627	3,1	831,77	5,12	3,4	769	3,6
777,46	4,78	3,2	659	3,4	801,94	4,94	3,5	764	3,7
586,39	3,61	2,5	117	3,6	742,4	4,57	3,6	686	4,1
Sika Lock 2020 PR					Sika Lock 2300 RT B				
F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom	F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom
[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]
811,01	4,99	3,5	759	3,7	625,12	3,85	2,5	125	3,1
817,13	5,03	3,5	763	3,7	758,22	4,67	2,9	669	3,1
628,59	3,87	2,7	539	2,9	620,64	3,82	2,5	507	2,8



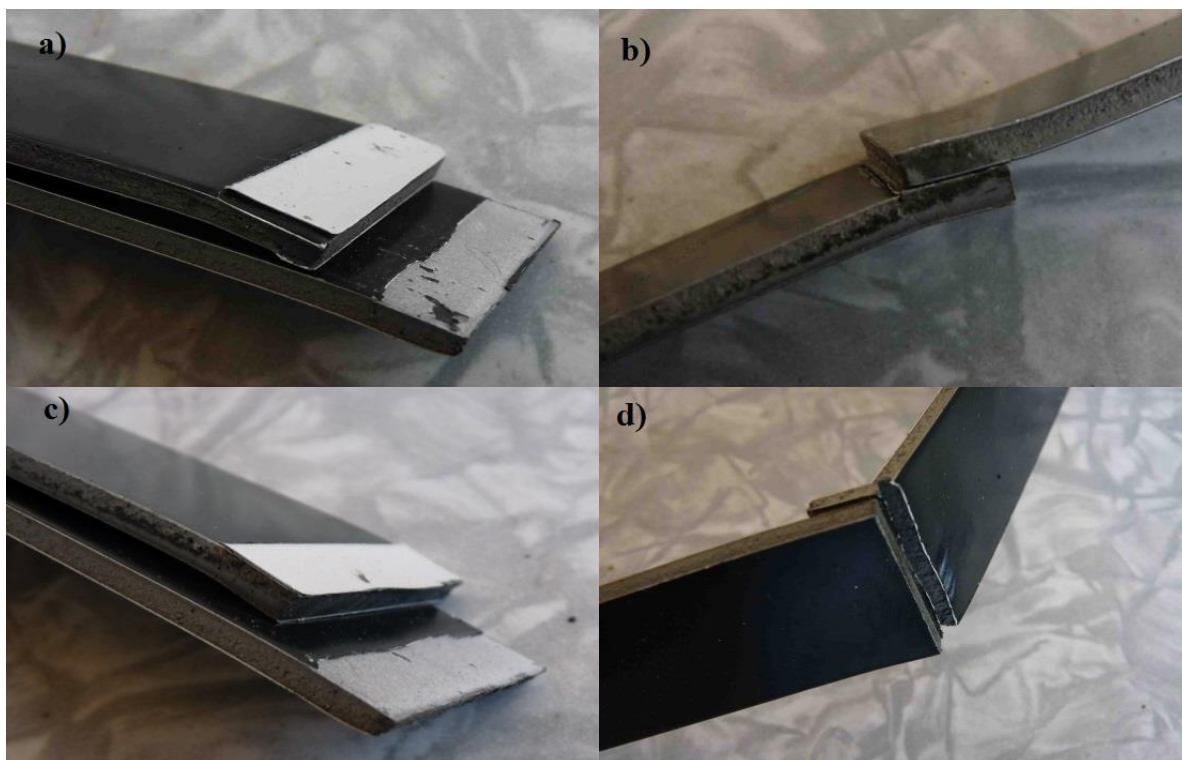
Pokožová teplota: *vzorek 1* a *vzorek 2*; kataplasma: *vzorek 3*
 Obr. 63 Grafy zobrazující závislost napětí na deformaci ABS

Hliník s eloxovanou vrstvou

U tohoto sendvičového materiálu docházelo opět k odtržení jedné z vrstev hliníku od jádra. Jen u lepidla Sika Lock 2020 došlo díky kataplasmě ke koheznímu lomu, a to těsně před tím, než se stačil porušit základní materiál.



a) Loctite 480 b) Loctite 406 c) Sika Lock 2020 PR d) Sika Lock 2300 RT B
První a druhá dvojice nechána pokojové teplotě, třetí dvojice vložena do kataplasmy
Obr. 64 Hliník s eloxovanou vrstvou



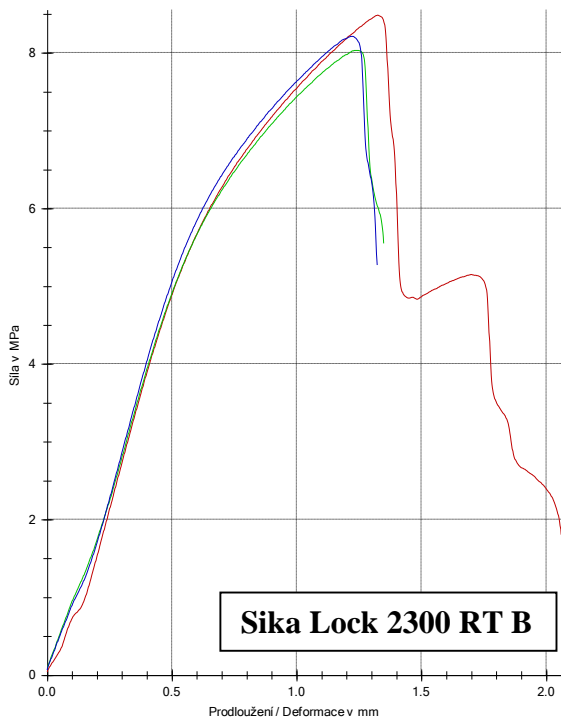
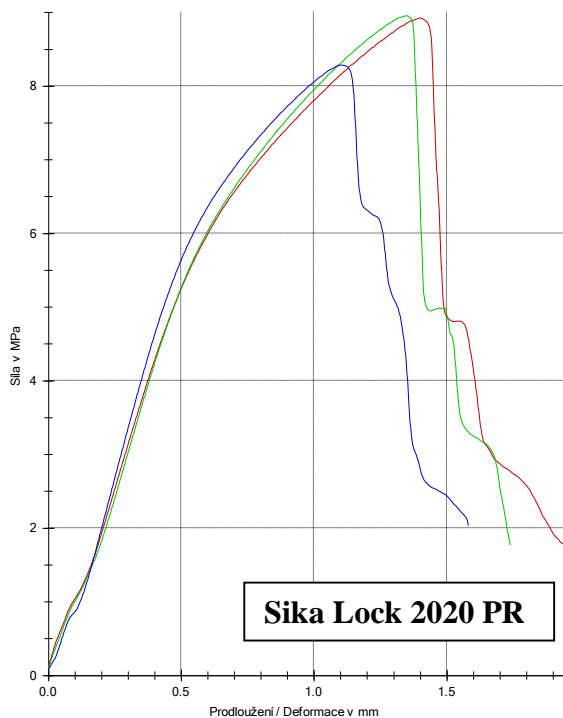
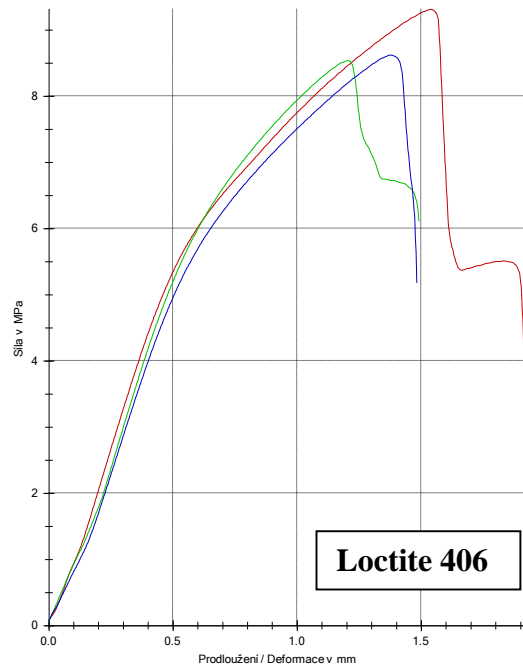
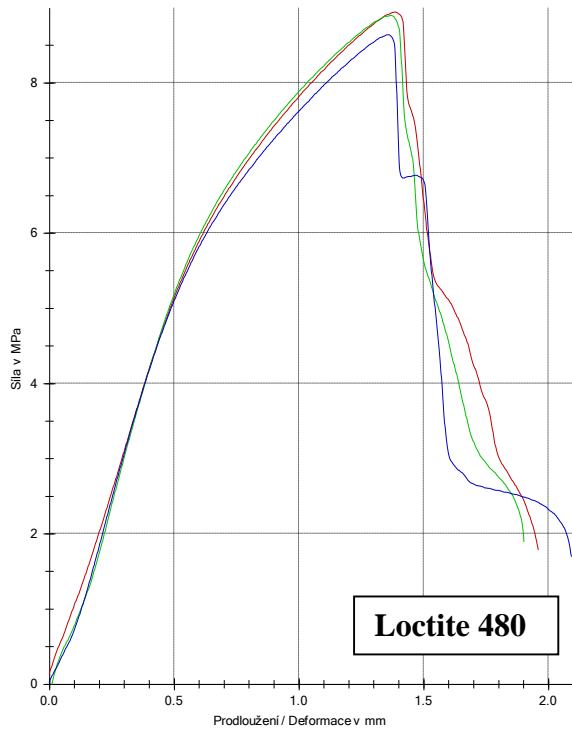
a) Loctite 480 b) Loctite 406 c) Sika Lock 2020 PR d) Sika Lock 2300 RT B

Obr. 65 Detail roztrženého spoje hliníku s eloxovanou vrstvou

Naměřené hodnoty jsou zde velice vyrovnané, což je dáno pevnostními limity materiálu. I rozlepený spoj lepený Sika Lock 2020 vykazuje velmi podobné hodnoty.

Tab. 24 Naměřené hodnoty – vzorky nechány v pokojové teplotě, vzorky vložené do kataplasmy.

Loctite 480					Loctite 406				
F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom	F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom
[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]
1453,21	8,94	1,4	290	2	1513,5	9,31	1,5	688	1,9
1445,41	8,89	1,4	308	1,9	1387,85	8,54	1,2	993	1,5
1404,12	8,64	1,4	276	2,1	1401,05	8,62	1,4	842	1,5
Sika Lock 2020 PR					Sika Lock 2300 RT B				
F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom	F_{\max}	$\sigma \tau_{\max}$	dL při F_{\max}	F_{lom}	dL lom
[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]
1450,17	8,92	1,4	290	1,9	1379,47	8,49	1,3	294	2,1
1455,37	8,96	1,3	288	1,7	1305,88	8,04	1,2	903	1,3
1346,46	8,29	1,1	330	1,6	1335,33	8,22	1,2	857	1,3



Pokožková teplota: vzorek 1 a vzorek 2; kataplasma: vzorek 3

Obr. 66 Grafy zobrazující závislost napětí na deformaci hliníku s eloxovou vrstvou

Pryž

Tento materiál byl nakonec z testu vyřazen z důvodu neuspokojivého průběhu zkoušky. Kvůli elasticitě materiálu docházelo k velmi pomalému nárůstu síly na velkém prodloužení, což mělo za následek nevhodné vykreslení grafu.

Výpočet maximální smykové pevnosti v tahu τ_{max} [12]

$$\tau_{max} = \frac{F_{max}}{S}, \quad (3.1)$$

kde: τ_{max} - maximální smyková pevnost v tahu [MPa]

F_{max} - maximální síla [N]

S - plocha lepeného spoje [mm^2]

$$S = a \cdot b, \quad (3.2)$$

kde: S - plocha lepeného spoje [mm^2]

a - délka lepeného spoje [mm]

b - šířka lepeného spoje [mm]

4 TECHNICKÉ HODNOCENÍ

Hlavní cíl experimentu bylo otestovat lepidla Loctite 480 a 406 s lepidly Sika Lock 2020 PR a 2300 RT B na různém povrchu materiálů a následně porovnat jejich výsledky v tahové zkoušce. Lepený spoj byl zvolen přeplátovaný a vyhodnocovalo se maximální smykové napětí. Pro ověření chování lepidel i za náročných podmínek se část vzorků vložila do kataplasmy na sedm dní, kde na ně působila 100% vzdušná vlhkost a teplota 70°C.

První testovaný substrát byl čistý hliník, u kterého jako jediného materiálu došlo k adhezni poruše spoje v kombinaci s kohezním poškozením. Nejlepší výsledek mělo lepidlo Loctite 480 s $\tau_{\max} = 8,59$ MPa a naopak nejhorší výsledek mělo lepidlo Loctite 406 s výsledkem jen $\tau_{\max} = 2,77$ MPa, což je velmi nízká hodnota. U jednoho spoje došlo k rozlepení ještě před zkouškou. Lepidla Sika Lock měla navzájem podobný výsledek testu, ale s výsledkem $\tau_{\max} = 4,91$ MPa u Sika Lock 2300 RT B se jedná o nízkou pevnost. Vzorky z kataplasmy se až na Loctite 480 všechny rozlepily, s $\tau_{\max} = 1,2$ MPa se však jedná o velmi malou pevnost.

Další materiál byl eloxovaný hliník a zde již bylo dosaženo výrazného zlepšení pevnosti ve spoji. Zde však došlo k porušení substrátu, přesněji k odtržení celé lepené plochy od jádra materiálu. Z tohoto důvodu jsou výsledky všech čtyř lepidel podobné a odvíjí se spíše od pevnosti materiálu, jenž dosahovala nejvýše 11 MPa. Naopak u vzorků z kataplasmy došlo k odlepení eloxové vrstvy od hliníku a k poklesu pevnosti na 7 – 8 MPa. Vyjimku tvořilo lepidlo Sika Lock 2300 RT B, kde bylo naměřeno jen $\tau_{\max} = 1,82$ MPa.

Ocelový plech S254 s povlakem práškového laku byl naměřen s nejvyššími hodnotami smykového napětí, což bylo dáno i tím, že nedošlo k přetržení substrátu mimo lepený spoj. Spoj byl roztržen v povrchových vrstvách materiálu a v malé míře došlo k adhezni poruše, která byla spíše u vzorků zatížených kataplasmou. Nejvyšší hodnoty byly dosaženy u lepidel Loctite, konkrétně u Loctite 480 s $\tau_{\max} = 22$ MPa. Lepidla Sika Lock dosáhla horší výsledků, nejhůře však Sika Lock 2020 PR s $\tau_{\max} = 12$ MPa. U vzorků zatížených kataplasmou měly vysokou hodnotu pevnosti Loctite 480 s Sika Lock 2300 RT B, naopak Loctite 406 a Sika Lock 2020 PR měly velmi nízké hodnoty pevnosti τ_{\max} do 3,6 MPa.

Také hliníkový plech AW5052 s eloxovanou vrstvou měl naměřené vysoké hodnoty pevnosti. Nejpevnější byl spoj slepený Sika Lock 2020 PR s $\tau_{\max} = 23,3$ MPa, následoval Loctite 406 s $\tau_{\max} = 21,9$ MPa. Naopak u vzorků zatížené kataplasmou nejhůře dopadla lepidla Sika Lock, u kterých se spoj rozlepil před testem. Ale i lepidla Loctite nedosahovala velké pevnosti, nejvíce Loctite 406 s $\tau_{\max} = 7,04$ MPa.

Výsledky zkoušky materiálu z PVC byly opět ve velké míře omezeny pevností samotného materiálu. To dosahovalo pevnosti pohybující se kolem 10 MPa a to dokonce i u vzorků z kataplasmy. U vzorků slepených Loctite 480 a Sika Lock 2020 PR došlo také ke koheznímu porušení spoje v kombinaci s vytržením částí substrátu.

U laminátu GRP docházelo nejvíce k vylamování částic materiálu přímo v lepeném spoji. Tomu odpovídaly i nižší hodnoty napětí. Nejvíce bylo naměřeno u Sika Lock 2020 s hodnotou $\tau_{\max} = 14,3$ MPa. Některé nižší hodnoty také byly ovlivněny horší schopností rozvrstvení lepidla po lepeném spoji, jelikož materiál je velmi zvrásněný a lepidlo se dobře nerozprostře. Z tohoto důvodu bylo nejspíše dosaženo nízkých výsledků u vzorků z kataplasmy, kde se napětí pohybovalo od 3,3 do 4,55 MPa.

Polykarbonát byl další z materiálů, který byl porušen mimo lepený spoj. Tento materiál se také špatně lepil, jelikož vytvrzení lepidla probíhalo nejdéle ze všech vzorků. Dokonce i vložení do kataplasmy nemělo vliv na pevnost spoje a všechny hodnoty napětí τ_{\max} se pohybovaly od 7,4 do 11,9 MPa. Tento rozptyl hodnot napětí je dán křehkostí a tloušťkou materiálu, jelikož při testu může dojít k vyosení vzorku a tím i větší náchylnosti na prasknutí.

Plast ABS je velice měkký materiál a tím je i dána nízká hodnota napětí při zkoušce. Materiál se roztrhne při nízkých silách zatížení a výsledky jsou u všech lepidel podobné. Hodnoty napětí

se pohybují kolem 5 MPa. U vzorků vložených do kataplasmy došlo k mírnému poklesu napětí blížící se 4 MPa.

U druhého sendvičového hliníku s eloxovanou vrstvou, ale menší tloušťkou jádra, opět docházelo k vylamování lepeného spoje a utržení od jádra. Oproti předchozímu eloxovanému hliníku došlo k poklesu napětí v průměru o 1 MPa, a to na hodnoty pohybující se kolem 9 MPa u všech vzorků, i u těch vložených do kataplasmy.

U pryže se bohužel nepovedla aplikovat zkouška T-peel a tudíž test byl pro neuspokojivé výsledky zastaven hned po prvním vzorku, jelikož zkouška probíhala velmi pomalu a dosahovalo se nízkých sil a velkého prodloužení materiálu. To je způsobené dobrou pružností daného materiálu.

5 ZÁVĚRY

Cílem diplomní práce bylo porovnání čtyř druhů lepidel na rozdílném povrchu materiálů. Pro srovnání lepidel značky Loctite a Sika Lock bylo použito osm typů substrátů. Ty byly nařezány na předem stanovenou šířku 25 mm a povrch byl před lepením očištěn odmašťovacím prostředkem Sika Cleaner P. Poté se aplikoval primer pro zlepšení podmínek lepení, a to konkrétně Loctite SF 770 pro lepidla Loctite a Sika Lock 4077 PM pro lepidla Sika Lock. Po ošetření povrchu se substráty přilepily přeplátovaným spojem s délkou přeplátování 6 mm. Pro experiment byly použity čtyři typy lepidel: Loctite 480, Loctite 406, Sika Lock 2020 PR a Sika Lock 2300 RT B. Část vzorků se uložila do kataplasmy se 100% vzdušnou vlhkostí a 70°C na dobu sedmi dní. Následně se provedl experiment, který se měřil na trhačím stroji Zwick Z010. Výsledkem je srovnání hodnot smykového napětí τ_{\max} a typu poruch lepeného spoje.

Během experimentu docházelo nejčastěji k prasknutí samotného lepeného materiálu, než k lomu v materiálu lepidla, nebo selhání stykové plochy s materiálu s lepidlem. K poruše adheze došlo v největší míře pouze u čistého hliníku. Zde se nejlepších výsledků dosáhl Loctite 480. Naopak kohezní lom v kombinaci s vylomením materiálu se vyskytl ve větší části u jen u PVC. U tohoto materiálu však docházelo častěji k zlomení mimo lepený spoj. Stejně tak u eloxovaných hliníků, plastu ABS, laminátu a polykarbonátu docházelo k destrukci substrátu mimo lepený spoj a hodnoty napětí byly ovlivněny pevností materiálu. Naopak nejlepších výsledků bylo dosaženo u ocelového a hliníkového plechu. Zde lepidla vynikala nejvyšší pevností, konkrétně to u čistého plechu byla lepidla Loctite 480 a 406, nebo u eloxovaného plechu lepidla Sika Lock 2020 a Loctite 406.

Tyto výsledky jsou pouze orientační, jelikož bylo použito velmi malé množství vzorků. Dále by bylo vhodné omezit působení excentrických sil, které mají za následek ohýbání lepeného spoje nebo jeho praskání.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [5]

1. Alternativy konstrukčního lepení plastů. In: *Řízení a údržba podniku* [online]. Český Těšín: Trade Media International s.r.o., 2015 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://udrzbapodniku.cz/hlavni-menu/artikyly/artykul/article/alternativy-konstrukcniho-lepeni-plastu/>
2. BAROŠ, Vojtěch. *Optimalizace lepení střechy autobusu*. Brno, 2012. Diplomová práce. Vysoké učení technické. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Kubiček.
3. BERAN, Rudolf. Základy teorie lepení. In: *ABClepidla* [online]. Brno: Lear, a.s., 2014 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: http://www.abclepidla.cz/Files/file/files/Teorie_lepeni.pdf
4. Bonding Headlight Casings. In: *Kuka: Průmyslové roboty* [online]. Zdiby: KUKA Roboter CEE GmbH, 2016 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: http://www.kuka-robotics.com/NR/rdonlyres/5DCF79E3-DE0F-45A4-A009-E262D123F0B8/0/L_163_Bonding_Headlight_Casings_01.jpg
5. Citace Pro: Generátor citací. *Citace Pro* [online]. 2013 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>
6. Dynamic climate chambers. *Binder* [online]. Tuttlingen: Binder GmbH, 2015 [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.binder-world.com/us/Products/Dynamic-climate-chambers>
7. *Evropský inženýr lepení: 1. část*. Praha, 2014.
8. *Evropský lepičský specialista: 1. část*. Praha, 2014.
9. *Evropský lepičský specialista: 2. část*. Brno, 2015.
10. GREGOR, Miroslav. Lepení Kovů. In: *Lepidla.cz* [online]. Broumov: Z-Trade, s.r.o., 2013 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.lepidla.cz/cs/a/lepeni-kovu.html>
11. GREGOR, Miroslav. Technologie a technika lepení - základní informace. In: *Lepidla.cz* [online]. Broumov: Z-Trade, s.r.o., 2013 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.lepidla.cz/cs/a/technologie-a-technika-lepeni--zakladni-informace.html>
12. HOLÝ, Lukáš. *Lepení interiérových obložení*. Pardubice, 2008. Diplomová práce. Univerzita Pardubice. Vedoucí práce Doc. Dr. Ing. Libor Beneš.
13. Loctite 401. In: *MotoFocus.cz* [online]. Bohumín-Skřečoch: MotoFocus EU s.r.o., 2014 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://motofocus.cz/media/img/article/0/0/5/6/3/1/54fdc6ab95cb502.jpg>
14. *Loctite 406*. 2012.
15. *Loctite 480*. 2015.
16. *Loctite SF 770*. 2014.
17. *Loctite worldwide design handbook 1996/97*. Rocky Hill: Loctite North America, 1995. ISBN 09-645-5900-5.
18. OSTEN, Miloš a Josef MLEZIVA. *Práce s lepidly a tmely*. Praha: Grada, 1996. Profi. ISBN 80-716-9338-3.

19. OSTEN, Miloš. *Práce s lepidly a tmely*. Praha: SNTL, 1975. Polytechnická knižnice (SNTL).
20. Příklad umístění epoxidových lepidel na karoserii automobilu. In: *Katedra strojírenské technologie* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2008 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/12-doplnkove%20technologie/15-aplikace%20epoxidovych%20lepidel.jpg
21. *Sika Cleaner P*. 2008.
22. *Sika CZ, s.r.o.* [online]. Brno: Sika CZ, 2015 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://cze.sika.com/>
23. *Sika Lock 2020 PR*. 2004.
24. *Sika Lock 2300 RT B*. 2004.
25. *Sika Lock 4077 PM*. 2004.
26. *T-Schälprüfung*. Zurich, 2010.
27. Technologie lepení v automobilovém průmyslu. In: *Katedra strojírenské technologie* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2014 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/spt/lepeni.pdf
28. *Tensile Lap-Shear Strength*. Zurich, 2003.
29. URBAN, Milan. *Všeobecné informace o technice lepení*. Praha, 2012.
30. Z10 TH AllroundLine Materials Testing Machine. *Zwick* [online]. Ulm: Zwick, 2015 [cit. 2016-05-27]. Dostupné z: <http://www.zwick.com/en/news/testxpo/virtual-testxpo-2013/exhibits/plastics-composites/130-z10-th-allroundline-materials-testing-machine.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
a	Délka lepeného spoje	[mm]
b	Šířka lepeného spoje	[mm]
d	Vnější průměr trubky	[mm]
dL lom	Prodloužení při lomu	[mm]
dL při F _{max}	Prodloužení při maximální síle	[mm]
h	Hloubka zasunutí	[mm]
F _{lom}	Síla potřebná na lom	[N]
F _{max}	Maximální síla	[N]
α	Úhel smáčení	[°]
γ_{KF}	Napětí na styčné ploše mezi povrchem spojovaného dílu a lepidlem	[N/m]
σ_{FG}	Povrchová energie spojovaného dílu	[N/m]
σ_{KG}	Povrchové napětí tekutého lepidla	[N/m]
τ_{max}	Maximální napětí	[MPa]

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1 Použití lepidel v průmyslu [1], [2], [4], [20]
- Obr. 2 Lepení autoskla [22]
- Obr. 3 Koutové spoje [10]
- Obr. 4 Přeplátované spoje [11]
- Obr. Obr. 5 Násuvné spoje [11]
- Obr. 6 Síly uvnitř lepeného spoje [8]
- Obr. Obr. 7 Odlupování spoje [11]
- Obr. 8 Detail lepeného spoje [29]
- Obr. Obr. 9 Mechanická vazba [8]
- Obr. 10 Hodnocení smáčení podle úhlu smáčení α [8]
- Obr. 11 Smáčecí schopnost [8]
- Obr. 12 Nečistoty na povrchu [29]
- Obr. 14 Úprava povrchu před lepením [8]
- Obr. 13 Vhodnost lepení povrchu [29]
- Obr. 14 Zkouška smáčivosti [8]
- Obr. 15 Vliv primeru na lepení [8]
- Obr. 16 Vliv nerovnosti povrchu na lepení [8]
- Obr. 16 Nedostatek lepidla
- Obr. 17 Vzhled lomů [8]
- Obr. 18 Druhy mechanického zatížení [9]
- Obr. 19 Substráty a lepidla připraveny k lepení
- Obr. 20 Návrh lepených spojů pro trhací zkoušku [12]
- Obr. 21 Vliv vlhkosti na dobu vytvrzení [29]
- Obr. 22 Proces vytvrzování kyanoakrylátových lepidel [29].
- Obr. 23 Rozměr vzorku pro trhací zkoušku [28]
- Obr. 24 Rozměr vzorku pro zkoušku T-Peel [26]
- Obr. Obr. 25 Sika® Cleaner P
- Obr. 26 Loctite SF 770
- Obr. 27 Sika Lock 4077 PM
- Obr. 28 Příklad lepeného spoje materiálů dřevo a plast
- Obr. 29 Sika Lock 2020 PR
- Obr. 30 Sika Lock 2300 RT B
- Obr. 31 Loctite 406
- Obr. 31 Pevnost za tepla – zkoušeno při různé teplotě [14]
- Obr. 32 Stárnutí při uvedené teplotě a zkoušeno při 22 °C [21]
- Obr. 33 Loctite 480
- Obr. 34 Pevnost za tepla – zkoušeno při různé teplotě [15]
- Obr. 35 Stárnutí při uvedené teplotě a následně zkoušeno při 22 °C [15]
- Obr. 36 Rychlost vytvrzení dle vlhkosti [15]
- Obr. 37 Kataplasma Binder
- Obr. 38 Zwick Z010
- Obr. 39 Rozhraní programu testXpert II
- Obr. 40 Hliník
- Obr. 41 Detail roztrženého spoje hliníku
- Obr. 42 Grafy zobrazující závislost napětí na deformaci hliníku
- Obr. 43 Hliník s eloxovanou vrstvou
- Obr. 44 Detail roztrženého spoje hliníku s eloxovanou vrstvou
- Obr. 45 Grafy zobrazující závislost napětí na deformaci hliníku s eloxovanou vrstvou

Obr. 46 Plech
Obr. 47 Detail roztrženého spoje plechu
Obr. 48 Grafy zobrazující závislost napětí na deformaci plechu
Obr. 49 Plech s eloxovanou vrstvou
Obr. 50 Detail roztrženého spoje plechu s eloxovanou vrstvou
Obr. 51 Grafy zobrazující závislost napětí na deformaci plechu s eloxovanou vrstvou
Obr. 52 PVC
Obr. 53 Detail roztrženého spoje PVC
Obr. 54 Grafy zobrazující závislost napětí na deformaci PVC
Obr. 55 Laminát GRP
Obr. 56 Detail roztrženého spoje laminátu GRP
Obr. 57 Grafy zobrazující závislost napětí na deformaci laminátu GRP
Obr. 58 Polykarbonát
Obr. 59 Detail roztrženého spoje polykarbonátu
Obr. 60 Grafy zobrazující závislost napětí na deformaci polykarbonátu
Obr. 61 ABS
Obr. 62 Detail roztrženého spoje ABS
Obr. 63 Grafy zobrazující závislost napětí na deformaci ABS
Obr. 64 Hliník s eloxovanou vrstvou
Obr. 65 Detail roztrženého spoje hliníku s eloxovanou vrstvou
Obr. 66 Grafy zobrazující závislost napětí na deformaci hliníku s eloxovou vrstvou

SEZNAM TABULEK

- Tab. 1 Hodnoty povrchového napětí [29]
- Tab. 2 Příklady použití povrchové úpravy kovových materiálů před lepením [10]
- Tab. 3 Postupy předběžného ošetření [29]
- Tab. 4 Testované substráty [22]
- Tab. 5 Technická data Sika Cleaner P [21]
- Tab. 6 Technická data primeru Loctite SF 770 [16]
- Tab. 7 Technická data primeru Sika Lock 4077 PM [25]
- Tab. 8 Technická data lepidla Sika Lock 2020 PR [23]
- Tab. 9 Technická data lepidla Sika Lock 2300 RT B [24]
- Tab. 10 Technické údaje lepidla Loctite 406 [14]
- Tab. 11 Rychlost vytvrzení [14]
- Tab. 12 Odolnost lepidla proti chemikáliím a rozpouštědlům [14]
- Tab. 13 Technická data lepidla Loctite 480 [15]
- Tab. 14 Rychlost vytvrzení [15]
- Tab. 15 Odolnost proti chemikáliím a rozpouštědlům [15]
- Tab. 16 - 24 Naměřené hodnoty – vzorky nechány v pokojové teplotě, vzorky vložené do kataplasmy