VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

LEPENÍ V AUTOPRŮMYSLU
BONDING IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE Adam Krejčí
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. Jaroslav Kubíček
SUPERVISOR

BRNO 2018

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	**Adam Krejčí**
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	**Ing. Jaroslav Kubíček**
Akademický rok:	2017/18

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

Lepení v autoprůmyslu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Ve výrobě karoserií dopravních prostředků je stále dominantní technologie spojování tvářených komponentů svařování. Stále větší podíl spojů však tvoří technologie lepení.

Cíle bakalářské práce:

1. Vypracování literární studii se zaměřením na procesy lepení při výrobě karoserií automobilů a autobusů.
2. Zhodnocení současného stavu a doporučení pro experimentální část.
3. Zpracování experimentu a technického hodnocení.
4. Formulování závěrů a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

FISCHER, J. Loctite, Worldwide Design Handbook. 2 vyd. Mainz: Erasmusdruck GmbH.1998. ISBN 0-96 5590-0-5.

OSTEN, Miloš a Josef MLEZIVA. Práce s lepidly a tmely. Praha: Grada, 1996. Profi & hobby. ISBN 80-7169-338-3.

ŠTRKAŇ,Jan,KUBĚNA,Jiří a Petr,BRIŠ. Lepení v praxi. Praha Grada, 2017.ISBN 978-80-271-0247-1.

Loctite - Průmyslová lepidla a tmely, http:// www.loctite.cz, přístup 10.října 2017.

Sika CZ, produkty a řešení , http:// www.cze.sika.com, přístup 10.října 2017.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc. ředitel ústavu	doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

KREJČÍ Adam: Lepení v autoprůmyslu.

Práce zpracovává literární studii o technologii lepení. Pojednává o výhodách a nevýhodách lepení, návrhu lepeného spoje, technologickém postupu lepení a rozdělení lepidel. Zmiňuje i některé materiály používané při stavbě karoserie a jejich vlastnosti. Zaměřuje se na oblast automobilního průmyslu a použití technologie lepení při stavbě karoserie. Porovnává původní a moderní technologii používanou při stavbě karoserie autobusu. V experimentální části se práce zaměřuje na vliv povrchové úpravy při lepení kovu na kov na výslednou smykovou pevnost.

Klíčová slova: lepení, lepený spoj, automobilní průmysl, povrchová úprava, smyková pevnost

ABSTRACT

KREJČÍ Adam: Adhesive bonding in the automotive industry

The thesis presents a literature study of adhesive bonding technology. The work deals with the advantages and disadvantages of adhesive bonding, design of adhesive joints, technological processes of adhesive bonding and the division of adhesives. The thesis also discusses various materials used for the construction of car bodywork and their properties. The main focus of the work is on the use of adhesive bonding in the car industry, comparing traditional and modern technology used for the construction of bus bodywork. In the experimental part of the thesis, the aim is to reveal the influence of surface treatment on the resulting shear strength when employing metal to metal bonding.

Keywords: adhesive bonding, adhesive joint, automotive industry, surface treatment, shear strength

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KREJČÍ, Adam. *Lepení v autoprůmyslu*. Brno, 2018. 41 s, 1 příloha, CD. bakalářská 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 bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V …… dne 25.5.2016

……
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Jaroslavu Kubíčkovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Chtěl bych poděkovat také mé rodině za podporu při studiu.

OBSAH

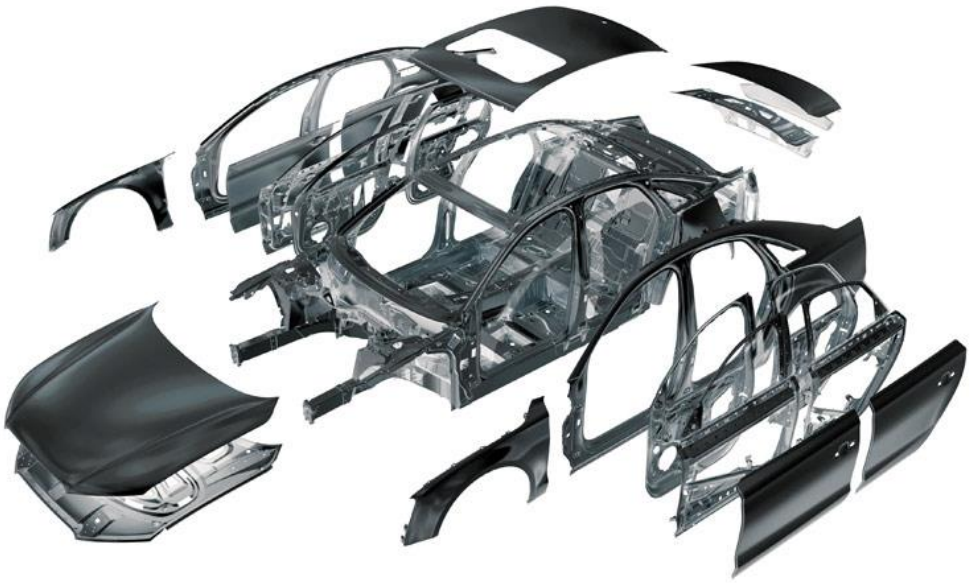
Zadání
Abstrakt
Bibliografická citace
Čestné prohlášení
Poděkování
Obsah
ÚVOD 9
1 ZÁKLADY TECHNOLOGIE LEPENÍ 10
1.1 Základní teorie lepení 11
1.2 Výhody lepení 13
1.3 Nevýhody lepení 13
1.4 Návrh lepeného spoje 14
1.4.1 Základní typy lepených spojů 14
1.4.2 Zásady navrhování lepených konstrukcí 15
1.4.3 Vliv prostředí na lepený spoj 16
1.4.4 Rozložení napětí v lepeném spoji 16
1.5 Rozdělení lepidel 18
1.6 Technologický postup lepení 22
1.6.2 Příprava lepidla 23
1.6.3 Nanášení lepidla 23
1.6.4 Montáž spoje 24
2 MATERIÁLY KAROSERIE 26
3 POROVNÁNÍ TECHNOLOGIÍ VYUŽÍVANÝCH PŘI STAVBĚ KAROSERIE AUTOBUSU 28
4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST 29
4.1 Popis experimentu 30
4.2 Vyhodnocení a technické zhodnocení 40
5 ZÁVĚRY 41

Seznam použitých zdrojů
Seznam použitých symbolů a zkratek
Seznam obrázků
Seznam tabulek
Seznam příloh

ÚVOD [1] [2]

Lepení lze chápat jako spojování součásti v nerozebiratelný nebo částečně rozebiratelný celek za použití přídavných látek zvaných lepidla. V dnešní době spojování materiálů lepením nalézá uplatnění téměř ve všech průmyslových odvětvích. Z původně doplňkové technologie se jejím vývojem postupně stává technologie v průmyslové praxi velmi těžko nahraditelná. Částečně tak nahrazuje či doplňuje tradiční způsoby spojování materiálu jako např. svařování, nýtování a šroubové spoje.V porovnání s konvenčními technologiemi má lepení několik výhod. Při vytváření lepeného spoje například nedochází k tepelnému ovlivnění základního materiálu, tudíž je dosaženo vysoké pevnosti a zároveň dosahuje nižší hmotnosti spoje než u konvenčních technologií. Dále je to těsnost spoje a korozní odolnost. Lepení je mimo jiné ekonomicky výhodné a efektivní.

Zmíněné vlastnosti se ve velkém měřítku projevují v automobilním a leteckém průmyslu. Vzhledem k neustálému tlaku na snižování emisí, snižování spotřeby pohonných hmot, zvyšování pasivní bezpečnosti jsou výrobci automobilů a jiných dopravních prostředků nuceni k hledání nových způsobů stavby automobilu. Automobil využívá tzv. samonosné karoserie za použití ocelových hlubokotažných plechů s příhodnými pevnostními charakteristikami. Jedním způsobem jak snížit emise a spotřebu pohonných hmot automobilů je snížení jejich hmotnosti. S tím ovšem souvisí snížení pevnosti karosérie a samozřejmě zhoršení bezpečnosti automobilu. Proto je nutné použít ocelové plechy s vyšší pevností, nebo strukturní lepidla, která karoserii sekundárně zpevňují. Existují i jiné metody jak dosáhnout zpevnění moderní karosérie jako např. kompozity, slitiny hliníku, hořčíku či uhlíkové nebo kevlarové vlákna, ale žádná koncepce moderní karoserie automobilu se neobejde bez lepených spojů. Materiálové složení karoserie musí splňovat přísné požadavky na kvalitu, funkčnost, životnost nebo technogickou zpracovatelnost jednotlivých dílů, tomuto požadavku se nevyhnou ani používaná lepidla. V posledních několika letech došlo ke zvýšení podílu technologie lepení na stavbě karoserie průměrně až o 10 %. Lepení není již jen doplňkovou technologií, ale umožňuje dosáhnout zvýšení bezpečnosti a komfortu vozidel.

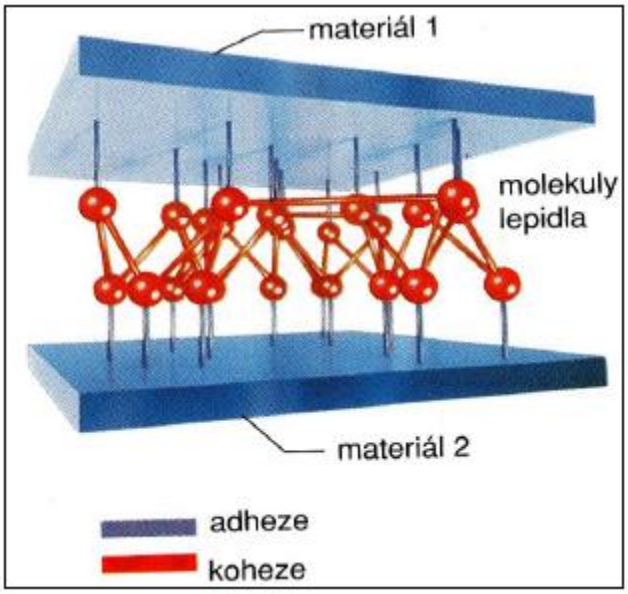


Obr. 1 Karoserie automobilu

1 ZÁKLADY TECHNOLOGIE LEPENÍ [1]

Všechny základní teorie lepení jsou založeny na teorii adheze, koheze a podpořeny existencí Van der Waalsových sil. Pevnost lepeného spoje určují tyto základní parametry: adheze, smáčivost a koheze.

- adheze nebo také přilnavost je definována jako schopnost přilnutí dvou materiálů (především dvou rozdílných) viz obr. 2. Je to síla lepidla přitahující materiál na kontakních plochách materiálů. Tento jev způsobují fyzikální síly přitažlivosti a adsorbce, které jsou popisovány jako Van der Waalsovy síly. Tyto síly jsou pro lepení stěžejní. Jedná se o mezimolekulární síly a jejich dosah je značně menší než hloubka drsnosti, kterou obvykle mají mechanicky opracované povrchy. Proto je nezbytné aby lepidlo proniklo do nerovností povrchu a dokonale smáčelo lepený povrch.



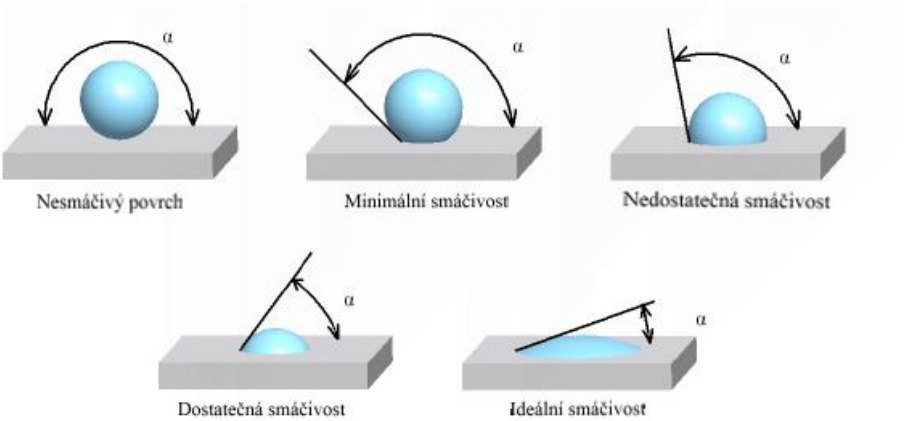
Obr. 2 Adheze a koheze lepidla k lepenému materiálu [1]

- dalším parametrem je smáčivost lepeného povrchu. Lepidla jsou polární látky tzn. jsou jednostranně elektricky orientovány. Mají dobrou smáčivost polárních povrchů, což lze připodobnit k přitažlivosti severního pólu jižním magnetem dvou magnetů. Určujícím faktorem adheze je smáčivost povrchu základního materiálu tekutým lepidlem. Smáčivost povrchu lepeného materiálu lepidlem je zapříčiněna tzv. elevačním úhlem (alfa), který je mezi okrajem kapky lepidla a plochou materiálu. Závisí na porchovém napětí jak lepidla, tak i lepeného materiálu, které je důsledkem polarity povrchu. Jako polární povrchy označujeme papír, dřevo, přírodní textílie, mírně povrchově oxidované kovy, sklo a další. Mezi nepolární látky řadíme některé plasty, vosk apod. viz tab.1. Podmínkou pro smáčivost pevného povrchu látky lepidlem je, že povrchová energie lepidla musí být menší než povrchová energie lepeného povrchu. Jako takový orientační ukazatel smáčivosti je možné použít vodu. Voda má nejvyšší povrchové napětí ze všech kapalin, a tak v případě, že voda smáčí

Tab. 1 Povrchové napětí látek [3]

Typ látky		Povrchové napětí [mN.m^{-1}]
Polární látky	Celulóza	> 70
	Železo	2030
	PVC	42
Nepolární látky	Polyetylen	25
	Polypropylen	31
	Silikon	< 20
	Teflon	< 20
Kapaliny	Voda	73
	Voda + saponát	24 - 40
	Toluen	28
	Etanol	23

povrch materiálu k lepení, je jasné, že jiné kapaliny resp. lepidla na tom nebudou jinak. Smáčení ovlivňují také nečistoty na povrchu adherendu a to v negativním slova smyslu. Vzhledem k tomu je úprava lepeného povrchu před samotným lepením (v obecném případě) nutností. Hodnocení smáčivosti lze provést tzv. kapkovou metodou. Tato metoda vyobrazuje elevační úhel, který znázorňuje rozdíl povrchového napětí lepidla a vzduchu. V případě, že je tento rozdíl kladný pak je elevační úhel ostrý a smáčivost dobrá. Pokud naopak je rozdíl záporný, tak je elevační úhel tupý a smáčivost špatná viz obr.3.



Obr. 3 Smáčivost lepidel – α elevační úhel [1]

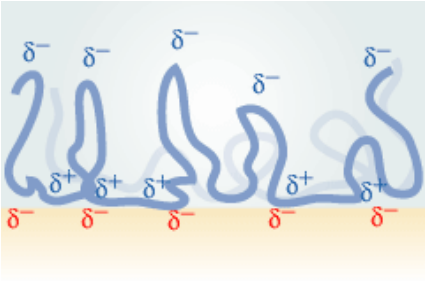
- koheze nebo také vnitřní soudržnost materiálu. Kritériem této vlastnosti je vlastní pevnost lepidla a také jeho tloušťka. Mírou koheze je tzv. kohezní energie. Je to energie, která by byla potřebná k oddělení částic lepidla od sebe. Je složena z mezimolekulární přitažlivé Van der Waalsovy síly a síly vzájemného propletení řetězců molekul mezi sebou. Síly adheze a koheze by měly být vyrovnané, protože každý řetězec je tak pevný, jak pevný je jeho nejslabší článek.

1.1 Základní teorie lepení [1]

Žádná z těchto teorií nevysvětluje lepení uspokojivě. V praxi je však možné, že výše zmíněné teorie platí při lepení současně a vzájemně se doplňují.

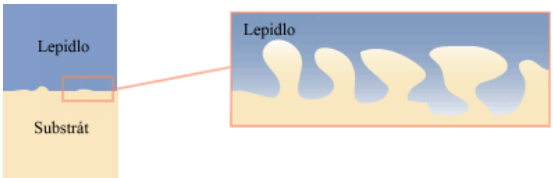
- molekulová teorie - v dnešní době nejvíce příjmaná teorie, kdy adheze je vysvětlována pomocí Van der Waalsových sil mezi povrchovými vrstvami lepidla a spojovaného materiálu. Děj vzniku adhezního spoje je dělen na dvě základní fáze. První fáze je spojena s přesunem makromolekul z roztoku (adheziva) nebo z taveniny k povrchu lepeného materiálu. Přiblížením polární skupiny makromolekul schopných tvořit vodíkové můstky ke skupinám s podobnými vlastnosti v materiálu dochází k nastolení tzv. adsorbční rovnováhy. Druhá fáze nazývaná adsorbční rovnováha nastává při vzdálenosti molekul menší než 5 nm a jde o působení sekundární valence nebo Van der Waalsovy síly. Tato teorie tedy říká, že oba materiály musí mít funkční polární skupinu.
- elektrostatická teorie - opírá se o jev kontaktní elektrizace, ke kterému dochází při těsném dotyku dvou dielektrik nebo dielektrika s kovem. Pro lepší představu pro systém lepidlo - substrát lze použít analogii kondenzátoru a elektrické dvojvrstvy. Podle této teorie si můžeme spoj představit jako kondenzátor s opačně nabitými deskami kondenzátoru,

tudíž deskami, které se přitahují viz obr.4. Když dojde k odlupování lepidla od základního materiálu, tak stejně jako při oddalování desek kondenzátoru dochází ke vzniku rozdílu potenciálů a při pomalém oddalování dojde k přemístění a neutralizaci elektrických nábojů, takže ke zrušení původní nábojů dojde při malých vzdálenostech a potom oddělení povrchu vyžaduje jen malou práci. Elektrostatická teorie však nedokáže vysvětlit lepené spojení mezi polymery s podobnou strukturou. Elektrická dvojvrstva má podle této teorie vznikat jen v případě rozdílných hustot volných elektronů a ta je u polymerů s příbuznou strukturou velmi podobná.



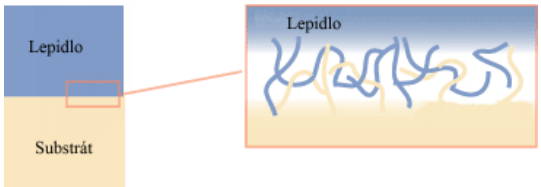
Obr. 4 Podstata elektrostatické teorie adheze [12]

- mechanická teorie - uplatňuje se pouze u nerovných a členitých povrchů, protože je založena na představě, že kapalné lepidlo pronikne do nerovností povrchu a zde dojde k zaklínění a zatuhnutí lepidla viz obr. 5. Teorie tvrdí, že čím více lepidla pronikne do povrchu spoje, tak tím je spojení pevnější. Lze tedy předpokládat, že když poklesne viskozita lepidla, tak bude spoj pevnější. Praxe ale ukazuje, že se často setkáváme s naprosto opačným dějem. Dochází ke vzniku tzv. hladového spoje. Tato teorie však nachází občasné využití ve specifických případech jako např. výroba překližek nebo adheze pryžových směší k textilním vláknům.



Obr. 5 Podstata mechanické teorie [12]

- difúzní teorie - podle difuzní teorie je pevnost adhezivního spoje způsobena difuzí materiálů (polymerů) ve spoji viz obr.6. Toto tvrzení se opírá o skutečnost, že některé látky hlavně polymery mohou navzájem difundovat a to ovlivňuje pevnost spoje. Na druhou stranu nelze touto teorií nijak vysvětlit spojení materiálů nedifundujících. Jako například systém kov - sklo. A dalším záporem této teorie je, že je jen velmi těžko kvantifikovatelná, a tak ji nelze použít k výpočtu pevnosti spoje.

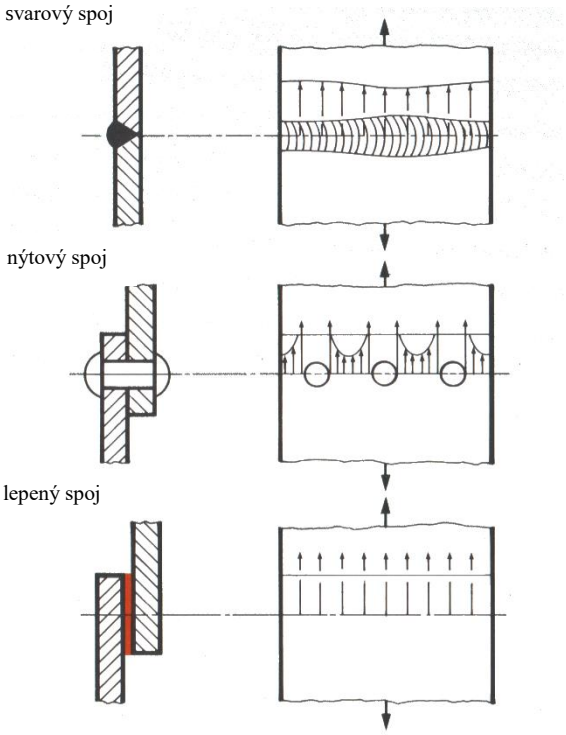


Obr. 6 Podstata difúzní teorie [12]

- chemická a reologická teorie - jedná se o nejnovější teorii. Vznikla vzhledem k rozvoji syntetických lepidel. Lze použít u hladkých i pórovitých povrchů. Je založena na reakci a vytvoření primárních chemických vazeb napříč rozhraním Podrobné studium lomů naznačuje, že pokud se jedná o pravý spoj, tak jeho porušení probíhá vždy v lepidle a z toho vyplývá, že se jedná o lom kohezivní. Z toho můžeme usoudit, že pevnost lepeného spoje určují mechanické vlastnosti materiálu, který utváří spoj a také místními napětími ve spoji. Mezifázové síly jsou zanedbávány. Výhodou teorie je možnost realistických výpočtů lepeného spoje, ale zanedbáváme otázky příčiny vzniku spoje.

1.2 Výhody lepení [1] [4] [5] [6] [7]

Lepení dílů karosérie má řadu výhod. Jednou z nich je rychlé a snadné použití této technologie. Značnou výhodou lepených spojů je jejich prověřená odolnost vůči nárazům. Odolností vůči nárazům se myslí zvýšená tuhost karoserie a ta je důsledek plošného uchycení plechů při lepení. Lepené spoje jsou vytvrzovány při okolní teplotě nebo může být vytvrzování urychleno zvýšením teploty. V porovnání s jinými často používanými technologiemi (svařování, nýtování apod.) charakterizuje lepení rovnoměrné rozložení zatížení viz obr. 7. Dále u lepených spojů nedochází k tepelnému ovlivnění okolí spoje nebo také narušení materiálu vrubem, a tak výsledná konstrukce vykazuje vyšší pevnost.



Obr. 8 Průběh napětí u lepeného, nýtovaného a svarového spoje [7]

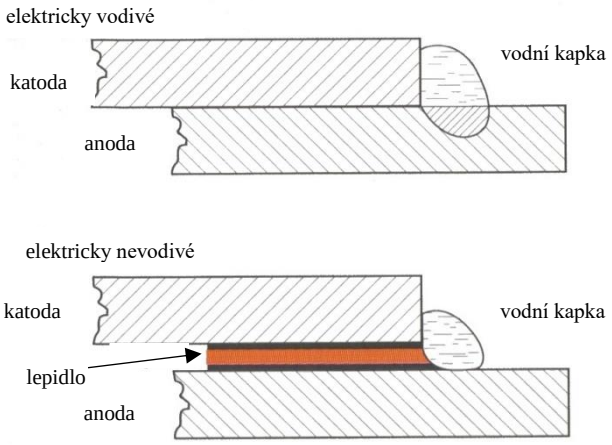
Lepený spoj má dobrou pružnost. Lepený spoj je nevodivé povahy a proto nevytváří galvanické články viz obr. 8, a tak nedochází ke vzniku elektrolytické koroze a umožňuje tak slepit materiály s rozdílnými vlastnostmi.

Mezi významné výhody lepení patří těsnost spoje a tlumící schopnost. Mezi spojovanými plechy nedochází ke klepání nebo skřípání a to výrazně zvyšuje akustický komfort vozidla. Lepený spoj zabraňuje vniku vlhkosti, a tak snižuje šanci vzniku koroze.

Lepené konstrukce mají nižší hmotnost než konstrukce spojované svařováním. Úspora hmotnosti je dosahována snížením tloušťky plechu vzhledem k použití spoje s vyšší stykovou plochou. Dále komponentů jako kolíků, nýtů, šroubů apod.

Mimo funkční výhody lze zmínit i estetickou stránku. Spojované díly se vyznačují vysokou kvalitou vzhledu povrchu v místě spoje. Nemalou výhodou je také snížení výrobních nákladů. Povrch spoje je naprosto hladký, a tak odpadá nákladná operace začišťování.

Výhodou je i možnost montáže dílů, které jsou již zpracovány povrchovou úpravou (např. pochromované oceli), protože lepení probíhá za nízkých teplot, tak tato povrchová vrstva není narušena.



Obr. 7 Elektrolytická koroze [7]

1.3 Nevýhody lepení [1] [4] [5] [6] [7]

Technologie lepení má i některé nevýhody, na které je zapotřebí se také zaměřit. Především lepený spoj je nerozebíratelný, nedává možnost dalších úprav. Z toho důvodu vyžaduje lepení velmi přesnou práci. Po začátku lepení zbývá zpravidla krátký čas na dokončení operace, ale zároveň požadovaná pevnost je dosažená za delší časový úsek než u svařování. Obecně lepený

spoj má relativně horší tepelnou odolnost. Klasické lepené spoje – lepidla vytvrzovaná za teplot okolo 20 °C dosahují tepelné odolnosti v pásmu teplot 80 – 100 °C. Lepené spoje vytvrzované za teploty 140 °C dosahují tepelné odolnosti v pásmu 100 – 250 °C. Syntetická lepidla pak 350 – 450 °C. Nejvyšší tepelné odlnosti lze dosáhnout při použití keramických lepidel, které dosahují teplotní odolnosti až 1 000 °C. Nevýhodou je také fakt, že zkouška kvality lepeného spoje je možná pouze porušením daného spoje.

1.4 Návrh lepeného spoje [1] [3]

Volba správného lepeného spoje je úkolem konstruktéra. Lepený spoj musí být hodnocen z mnoha hledisek. Rozlišujeme dvě základní hlediska:

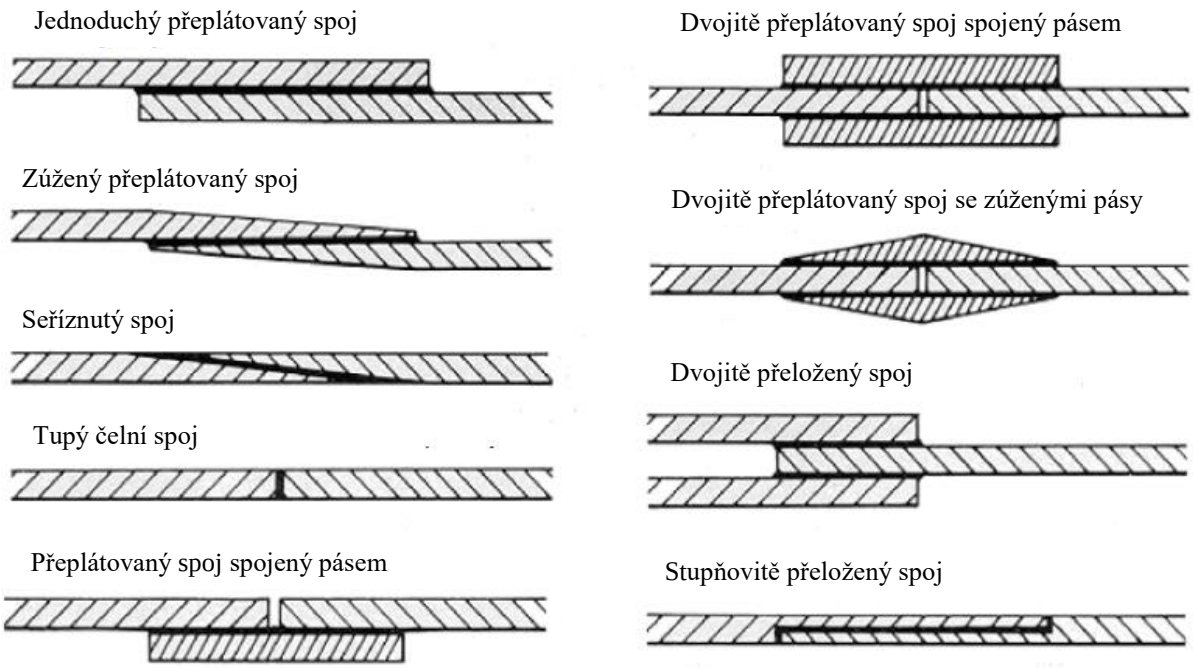
- v případě dané konstrukce se snaží konstruktér zvolit vhodný spoj
- z hlediska únosnosti spoje přiřadit vhodnou aplikaci.

Základní konstrukční možnosti tvořené technické konstrukce jsou limitovány:

- fyzikálně - mechanickými vlastnostmi lepených materiálů
- fyzikálně - mechanickými vlastnostmi použitého lepidla
- charakterem a velikostí adhezivních sil na rozhraní lepidlo – základní materiál
- geometrií spojů,
- vlivem dalších technologií spojování použitých v konstrukci.

1.4.1 Základní typy lepených spojů [1]

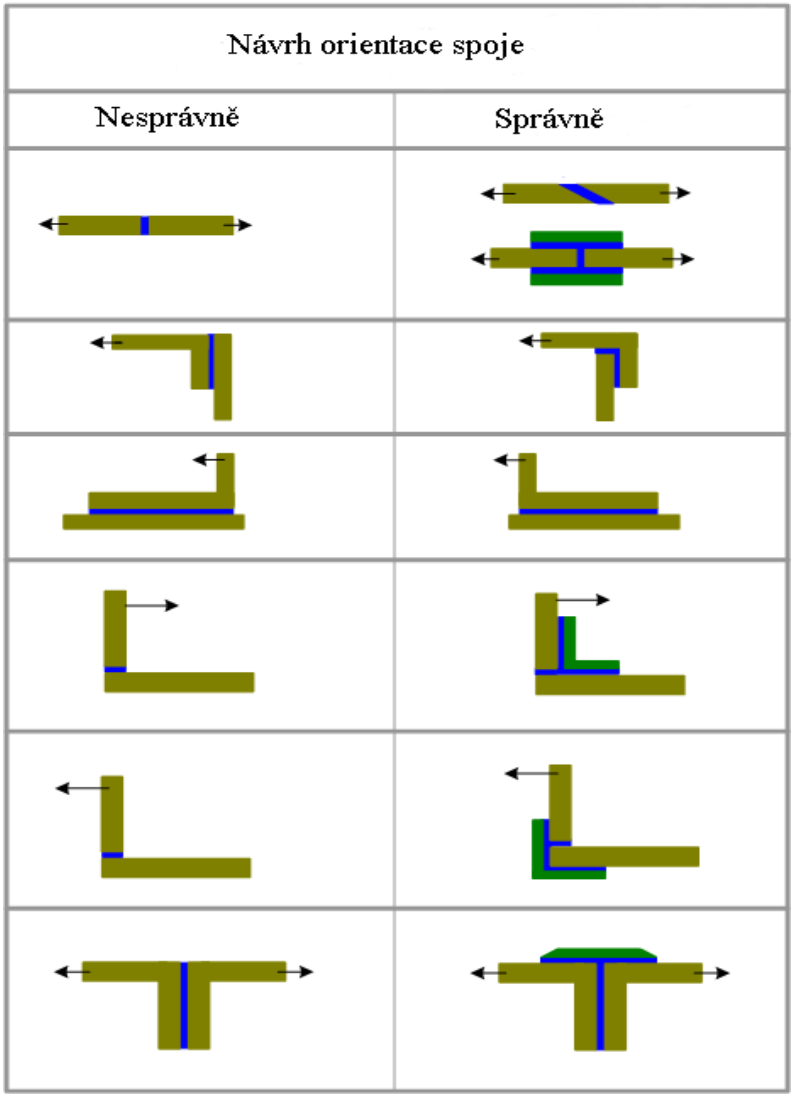
Spoje využívané ve strojírenství jsou vidět na obr. 9. V praxi se nejvíce používá spoj jednoduchý s přeplátováním. Kombinací těchto základních spojů lze vytvořit i další, složitější lepené spoje. Rozhodujícím faktorem je ovšem i nadále způsob namáhání spoje. Odlupování je pro lepený spoj velmi nevhodné, zatímco smykové zatížení je výhodné. Význam má také je-li zatížení statické nebo dynamické.



Obr. 9 Typy lepených spojů [1]

1.4.2 Zásady navrhování lepených konstrukcí [1] [8]

Lepené konstrukční spoje najdeme v automobilovém průmyslu v množství obměn jak už z hlediska konstrukčního provedení, tak i z hlediska funkčního namáhání. Požadovaná pevnost a únosnost je zaručena hlavně vhodnou konstrukcí spoje. Charakteristickou vlastností lepených spojů je vysoká pevnost ve smyku, pevnost v tahu je ovšem značně nižší. Výhodným namáhání pro lepený spoj je napětí tlakové, tahové a smykové, protože zde dochází k rozložení působícího zatížení v celé ploše spoje. Naopak namáhání na odlup a rozštěp má působiště sil na přímce a lepený spoj má výrazně nižší pevnost při tomto namáhání. Vůbec nejméně pevné jsou lepené spoje při namáhání na odlup. Zásady navrhování lepeného spoje jsou určeny povahou použitého lepidla a také potřebou omezit, pokud možno co nejvíce, namáhání na tah a odlup viz obr. 10. Pokud není možné zamezit skutečnosti vzniku namáhání na odlup a tah a zároveň je z hlediska aplikace nutné zaručit spolehlivost spoje, tak musí být použita kombinace lepení s jinou technikou spojování.



Obr. 10 Příklady orientace lepeného spoje [13]

Následující seznam zásad při navrhování lepených konstrukcí je platný u obecného lepení a některé zásady nelze při lepení automobilových karosérii, z hlediska výrobních podmínek a povahy karoserie jako celku, dodržet:

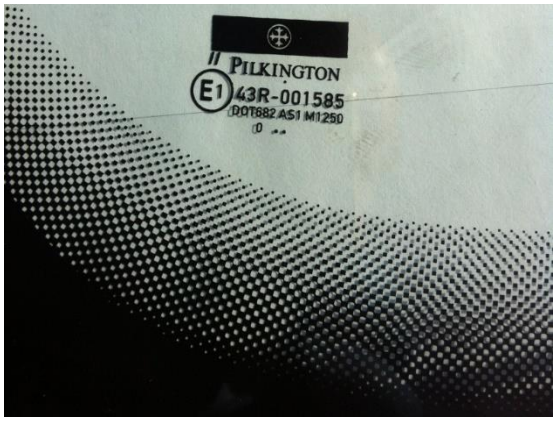
- návrh spoje tak, aby docházelo v provozních podmínkách k namáhání z velké části smykovým zatížením
- pokud nelze zamezit silám namáhájícím spoj v odlupování, tak je nutné spoj v místě zesílit nebo kombinovat spoj s nýtováním, šroubování či svařováním. Spoje lepené a šroubované nebo nýtované pak dosahují nejvyšších hodnot při tzv. únavové pevnosti
- dílce s velkým a složitým zakřivením nejsou pro technologii lepení vhodné, snažíme se navrhovat spoje jednoduché bez komplikovaných ploch a křivek
- lepidlo by mělo mít menší tuhost než mají lepené díly, jinak musí být přikročeno k dodatečnému vystužení
- během lepení je důležité striktně postupovat dle technologického postupu, snažit se o lepení všech míst spoje v jeden čas, dvojité lepení není žádoucí

- úpravy povrchu kvůli jiné technologii spojování musí být provedena zásadně před lepením
- pokud nelze jinak dodatečné operace spojení až po ukončení lepení
- vhodná úprava povrchu lepených povrchů zvlášť v případě lepení různých druhů materiálu
- je nutné zvolit optimální tloušťku lepidla ve spoji podle typu lepidla a jeho aplikace
- lepších výsledků z hlediska pevnosti je dosahováno u tenčích spojů.

1.4.3 Vliv prostředí na lepený spoj [3] [9]

Vystavení lepeného spoje účinkům UV záření způsobuje degradaci lepeného spoje a snižuje životnost spoje. Pro ochranu před UV zářením se například u lepeného autoskla používá světlo nepropouštějící keramická vrstva v místech spoje viz obr. 11.

Jedním z výrazných vlivů prostředí je u lepeného spoje vliv teploty a času. Tento vliv se nazývá stárnutí. Projevuje se změnami mechanických vlastností, zvláště pak snížením pevnosti spoje a také zhoršením spolehlivosti spoje.



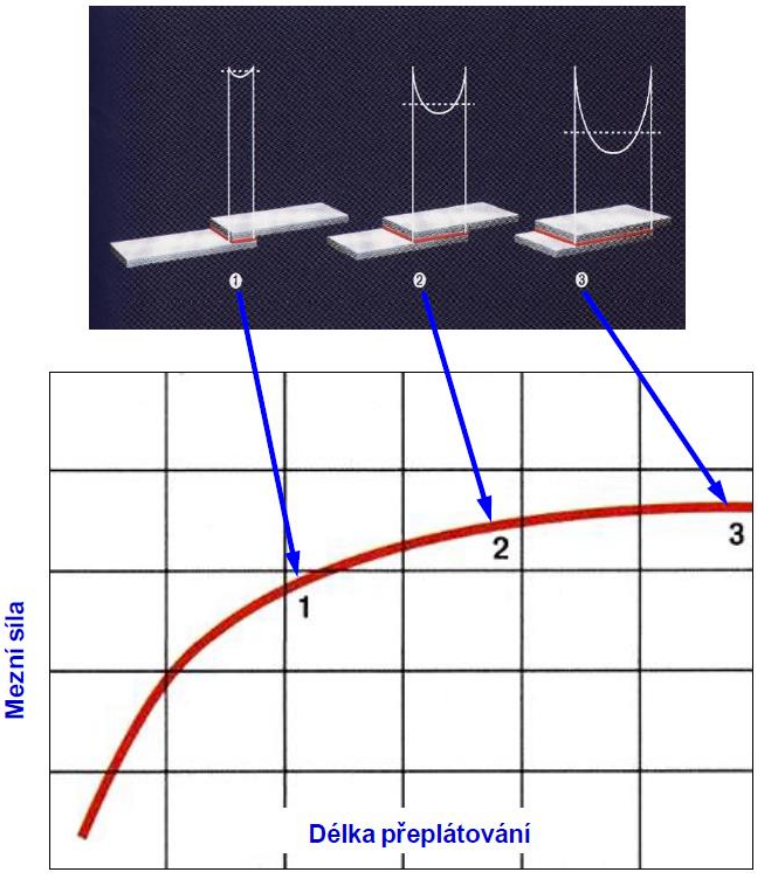
Obr. 11 Ochranná vrstva čelního skla automobilu [14]

1.4.4 Rozložení napětí v lepeném spoji [1]

Cílem návrhu lepeného spoje je dosažení co nejrovnoměrněji rozloženého napětí na lepené ploše. Lepené spoje jsou často namáhány kombinovaným zatěžováním. V případě namáhání na tah je napětí rozloženo rovnoměrně jenže toto namáhání se u lepených spojů nevyskytuje tak často. Spíše dochází k namáhání na smyk, odlup a štěpení. Při reálném zatížení vznikají napěťové špičky podél spoje. Vzhledem k těmto skutečnostem se snažíme dodržovat následující zásady:

- zabránit působení excentrických sil, protože ve spoji vzniká ohybový moment v důsledku nesouososti působících sil a projevuje se zvýšením tahového napětí na koncích spoje.
- zvolit vhodnou tloušťku lepidla ve spoji, zvýšení tloušťky lepidla způsobí rozložení napětí do větší plochy, a proto dojde ke snížení lokálního napětí v lepidle a tím se sníží i napěťové špičky
- minimalizovat zatížení loupáním a štěpením, protože je to nejméně vhodné namáhání pro lepený spoj. Lze minimalizovat konstrukční úpravou, ale existují i jiné způsoby.

- maximalizovat lepenou plochu lze dvěma způsoby. První způsobem je rozšíření spoje, kdy nedochází k ke změně rozložení napětí a platí, že čím širší spoj, tím větší síla je potřebná k jeho porušení. Druhým způsobem je optimalizace přeplátování spoje. Zde nelze jednodušše prodloužit spoj za účelem dosažení vyšší pevnosti. S roustoucí délkou spoje roste i síla, která je potřebná k jeho porušení, ovšem zároveň s délkou rostou špičky napětí na koncích spoje, kde nakonec dojde k jeho porušení viz obr. 12. Pokud je tedy potřeba zvýšit plochu spoje je výhodnější lepený spoj rozšířit než prodloužit



Obr. 12 Vliv délky přeplátování na rozložení napětí v lepeném spoji [1]

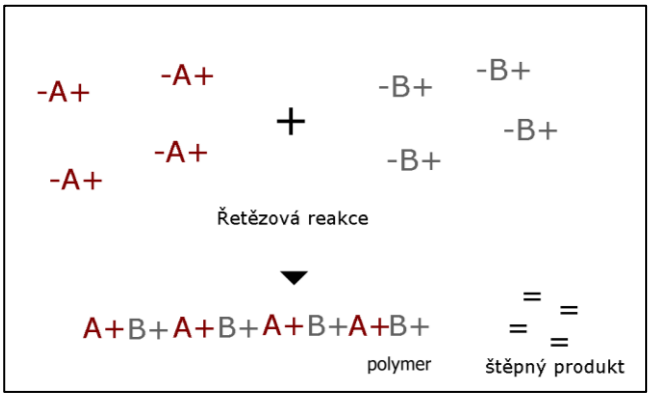
1.5 Rozdělení lepidel [1] [2]

Dělení podle chemického složení na přírodní a syntetická. Přírodní můžeme dále dělit na organická a anorganická. Organická lepidla jsou lepidla živočišného či rostlinného původu např. škroby, živočišné klihy apod. Anorganická obsahují např. vodní sklo, sádru, cement atd. Syntetická dále dělíme na lepidla na bázi reaktoplastů, termoplastů, elastomerů a směsná. Dělení podle fyzikálního charakteru: Pevná, polopevná a tekutá. Tekutá můžeme dělit na roztoková, disperzní, pasty a pěny.

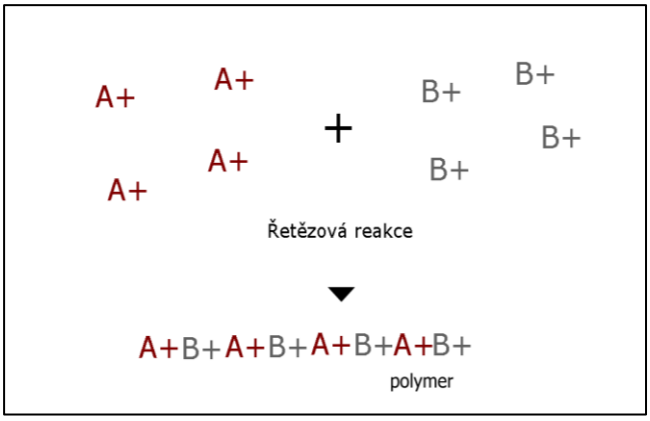
- podle počtu složek
  - jednosložková
  - dvousložková i vícesložková.
- podle vytvrzovací teploty, což není zcela přesné, protože urychlení vytvrzování lze dosáhnout u většiny studených lepidel.
  - studená
  - horká.
- podle principu tuhnutí
  - vodná roztoková jejichž mechanimus tuhnutí je vsáknutím a odpařením vody. Předpokladem použití je pórovitost a propustnost nejméně jednoho lepeného materiálu pro plyny. Vodná roztoková lepidla jsou levná, ale nejsou voděodolná. Především pro lepení papíru apod. Zástupci této skupiny jsou klihová (glutinová) lepidla, kaseinová lepidla, škrobová a dextrinová lepidla, lepidla na bázi derivátů celulózy, lepidla na bázi polyvinylalkoholu a anorganická lepidla (vodní sklo apod.).
  - vodná disperzní mnohdy chybně označována jako latexy. Tuhnutí probíhá vsáknutím popřípadě odpařením vody. Poté dochází ke slinutí malých částic polymerů v jednotnou lepivou vrstvu. Podmínkou je tzv. minimální „filmotvorná“ teplota, která není stejná u různých disperzních lepidel. Do této skupiny se řadí tyto lepidla: akrylátová, styrenakrylátová, polyvinylacetátová kaučuková (převážně přírodní), polyuretanová, kopolymerní vinylacetátová
  - roztoková jako např. Kaučuk, PS, PUR atd. Mají dobrou rozpustnost v organických rozpouštědlech. Po rozpuštění vzniká viskózní roztok, který přilne k různým materiálům. Spoj vzniká odpařením rozpouštědla. Avšak vytvářejí jen velmi tenký film, takže nejsou schopné vyplnit povrchy s velkými nerovnostmi. Také nevýhodou je dlouhodobé zadržování zbytků rozpouštědla ve spoji a z toho vyplývá, že konečná povnost tohoto spoje se dostaví až po nějaké době. Mezi tato lepidla řadíme: lepidla kaučuková, lepidla polyamidová, lepidla polystyrenová, lepidla polyvinylacetátová lepidla na bázi PVC a chlorovaného PVC, lepidla ze sloučenin celulózy, lepidla polyakrylátová a polymetakrylátová atd.

- lepidla reaktivní tuhnoucí vlivem zvýšené teploty jsou lepidla na bázi reaktoplastických hmot (epoxidové, fenolické a další pryskyřice). Rozsáhlé využití v průmyslu. Nejtypičtějším zástupcem této skupiny lepidel jsou epoxidy. Mají střední až vysokou pevnost, dobře vyplňují spáry a nepodléhají tolik vlivům prostředí. Ale nevýhodou je, že s časem dochází ke stárnutí samovolným průběhem vytvrzovací reakce a to ho znehodnocuje. Tento proces je urychlován zvyšující se teplotou prostředí. Tato lepidla můžeme najít především v oblasti konstrukce automobilů a letadel a nebo ve stavebnictví.
- lepidla reaktivní tuhnoucí vlivem vlhkosti okolního prostředí, ke kterým řadíme například kyanoakrylátová lepidla, silikonová lepidla a jednosložkové polyuretany.
- lepidla reaktivní tuhnoucí kontaktem s kovy, u kterých tuhnutí probíhá za nepřístupu vzdušného kyslíku ve spáře mezi kovovými součástmi. K tuhnutí je zapotřebí katalýza povrchu spojovaného kovu. Vysoký vzlínavý účinek umožňuje vyplnění i těch nejužších spár. Zajišťování šroubů, hřídelí, pouzder a matic apod.
- lepidla reaktivní tuhnoucí přidáním tvrdidel jsou zastoupena lepidly epoxidovými, u kterých jakost výsledného spoje závisí mimo jiné na dokonalém promísení epoxidové pryskyřice a tvrdidla. Zpravidla se nanášejí jen na jednu z lepených ploch v takovém množství, aby vznikl film lepidla o tloušťce cca 0,1 až 0,3 mm.Vytvrzené spoje jsou nerozpustné a netavitelné, tvrdé, ale také křehké. Dalším zástupcem jsou dvousložkové polyuretany, která jsou vhodná k lepení různých druhů materiálů, ale především kovů, pryže a termoplastů. Spoj je přesný, pružný a odolný k dynamickému namáhání a okolním vlivům. Poměr jednotlivých složek je zpravidla 1:1 až 1:3. Výhodou je zpracovatelnost i za nízké teploty.
- lepidla tavná tuhnoucí na principu taveniny. Nejprve se tyto lepidla zahřejí na teplotu 120 až 200°C, nanesou se na povrch ve formě taveniny a nechají se ztuhnout. Tavná lepidla jsou termoplasty a tato vlastnost je zachována i po ztuhnutí v lepeném spoji. Z toho vyplývá, že lepený spoj lze opětovně nahřát a rozpojit. Ovšem tepelná odolnost spoje je omezena bodem tání lepidla. Horší je i odolnost proti rozpouštědlům. Mezi tavná lepidla řadíme: lepidla z polyethylenu, tavná lepidla polyesterová, tavná lepidla z polyvinylacetátu lepidla polyamidová a další.
- lepidla stále lepivá (citlivá na tlak) jsou zastoupena samolepícími páskami, fóliemi a štítky s lepící vrstvou. Vrstva na pásce či fólii obsahuje kaučuk nebo termoplastický polymer, syntetickou nebo přírodní pryskyřici, změkčovadlo a další aditiva. Nejvíce využíváno v obalové technice a papírenském průmyslu
- lepidla vytvrzovaná ultrafialovým zářením jsou lepidla obsahující tzv. fotoaktivátory, u kterých dochází k štěpení vlivem UV záření. Štěpení umožňuje vznik volným radikálům a ty slouží jako startéry polymerace. Důležité pro vznik spoje u těchto lepidel bývá správná délka vystavení UV pro dané lepidlo. Lepidla vytvrzovaná UV zářením jsou velice specifická. Jsou využívána spíše k vytváření povrchových povlaků. Znakem těchto lepidel je schopnost lepit velké spáry, jednoduchá dávkovatelnost a chemická odolnost.

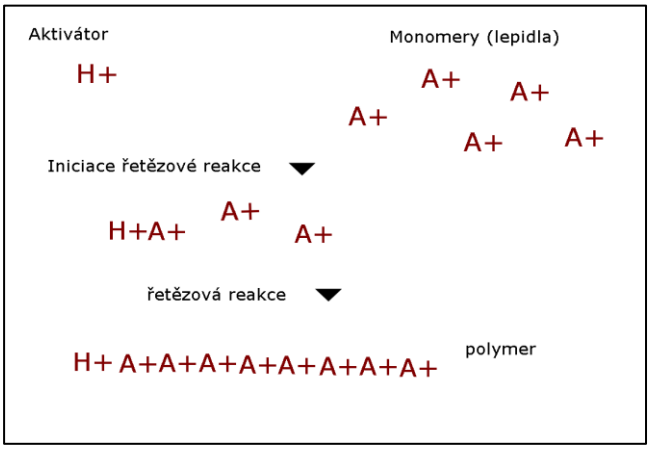
- podle chemické reakce probíhající v lepidle při vytvrzování
  - polykondenzace neboli slučování většího množství molekul stupňovitým mechanismem za vzniku makromolekul a souběžným odštěpováním molekul vody, alkoholu apod viz obr. 13. Pomalá reakce, která lze přerušit a znovu iniciovat.
  - polyadice probíhá podobného reakčního mechanismu jako polykondenzace tj. postupný mechanismus. Avšak nedochází k odštěpování látky s nízkým počtem molekul, protože funkční skupina jedné ze složek se mění na dvojnou vazbu viz obr. 15.
  - polymerace je spojování molekul monomeru řetězovým mechanismem bez odštěpování vody nebo jiné látky viz obr. 14.



Obr. 13 Schéma Polykondenzace [15]



Obr. 14 Schéma Polyadice [15]



Obr. 15 Schéma Polymerace [15]

- dělení lepidel podle některých významných výrobců se využívá protože je nemožné pojmout všechny lepidla používaná v průmyslové praxi vzhledem k jejich množství a množství aplikací. Navíc neexistuje jednotné dělení lepidel a každý výrobce dělí své výrobky jiným způsobem. Z tohoto důvodu se budu v této části práce soustředit jen na některé renomované výrobce pro automobilní průmysl.
  - firma Loctite nabízí řešení například pro automobilní průmysl, strojírenství, zdravotnický průmysl, železnici nebo energetický průmysl. Základní rozdělení lepidel pro automobilový průmysl od firmy Henkel najdeme pod značkou Terason:

    - 1-K nereaktivní
      - butylkaučuky
      - 1-K vytvrzovaná teplotou
      - butylkaučuky
      - epoxidy
      - PVC-plastisoly
      - PMMA-plastisoly
    - 1-K vytvrzované vzdušnou vlhkostí
      - polyuretany
      - MS-polymery
      - silikony
    - 2-K reaktivní
      - butylkaučuky
      - epoxidy
      - MS-polymery
      - silikony
- firma Sika nabízí rozsáhlé množství lepidel pro různá průmyslová odvětví podobně jako firma Locitite, ale navíc má i řešení pro stavebnictví. Řešení pro automobilový průmysl od společnosti Sika jsou SikaFlex, SikaPower a SikaForce. SikaPower je na bázi Epoxy - PUR a dosahuje nejlepších mechanických vlastností. Základní dělení všech lepidel od společnosti Sika je následující:

    - konstrukční 1 - komponentní lepidla
    - lepidla na bázi polyuretanu pro lepení autoskel
    - lepidla na bázi polyuretan - hybridu
    - teplem urychlovaná lepidla
    - lepidla pro zasklívání
    - flexibilní lepidla
    - rychlá lepidla
    - laminární lepidla
    - tavná lepidla
    - kyanoakrylátová lepidla
    - UV lepidla

1.6 Technologický postup lepení [1] [2] [8]

Postup výroby lepeného spoje má čtyři základní fáze příprava spojovaného materiálu, příprava lepidla nanášení lepidla a montáž spoje. Metoda lepenéje velmi citlivá na dodržení správného technologického postupu. Jednotlivé fáze, tak jak na sebe navazují, jsou popsány v dalších podkapitolách.

1.6.1 Příprava spojovaného materiálu (adherendu) na lepení. [1] [2] [8]

Klíčová je smáčivost adherendu lepidlem. Proto je povrch upravován fyzikálními i chemickými povrchovými úpravami za účelem zvýšení smáčovosti povrchu lepidlem. Základním nedostatkem povrchu, který negativně ovlivňuje adhezi je přítomnost nečistot nebo koroze. Z tohoto důvodu upravujeme povrch adherendu před lepením. Metody dělíme na fyzikální, speciální a chemické. Mezi fyzikální povrchové úpravy patří broušení, tryskání viz obr. 16, obrábění, brokování, kartáčování, lapování, leštění a další. Speciální fyzikální operace jsou ozařování, čištění ultrazvukem, polarizace plamenem, přesušování. Chemické operace zahrnují odmašťování (např. v průmyslových pračkách), moření, fosfátování, anodickou oxidaci, použití reaktivních základních nátěrů (primerů) apod. Všechny uvedené metody ovlivňují povrch lepeného spoje a tím i jeho kvalitu. Nelze však přesně určit vliv jednotlivé úpravy povrchu na materiál. Pro různé kombinace základního materiálu a lepidla se hodí pouze určité povrchové úpravy. Odmašťování má značný význam při lepení kovů v případě, že se na povrchu vyskytuje nějaká chemická látka nebo sloučenina (prach, řezná kapalina, konzervanty nebo zbytky oleje). V obecném případě lepeného spoje je pro vznik lepeného spoje nezbytné danou látku odstranit. Proto se v praxi používají odmašťovací prostředky, které se vyznačují tím, že se po vyčištění povrchu odpařují beze zbytku. Jsou to například uhlovodíky, ketony, alkoholy a vodní emulze. Přísné požadavky na odmaštění vyžaduje např. lepení částí trupů letadel nebo lodí. Obvykle v průmyslovém prostředí se používají speciální odmašťovací lázně. Například parní odmašťovací lázeň, kdy je rozpoštědlo ohříváno na bod varu, odpařuje se a páry kondenzují na součásti. Ve velké části průmyslového odmašťování je dostačující použití tzv. rychločističe. Je to jednorázové odmaštění povrchu zahrnující i odstranění ostatních mechanických částic pomocí speciálního chemického prostředku. Dále se provádí rozpouštědlové čištění v průmyslových odmašťovacích pračkách viz obr. 17. V této pračce navíc působí na povrch mechanické kartáčování a vířivé proudy rozpouštědla. Také některá zařízení mají nucenou recirkulaci vzduchu, kde na povrch působí velmi malé bublinky vzduchu, které odírají z povrchu nežádoucí nečistoty nebo mastnotu. Pouhé obnažení a odmaštění kovu však využívá potenciál lepidla jen asi z 50 až 60 % z maxima hodnot, které dosahujeme na aktivovaném povrchu.

Obr. 17 Tryskání [16]

Obr. 16 Průmyslový odmašťovací stroj [17]

1.6.2 Příprava lepidla [1] [2] [8]

Způsob přípravy lepidla závisí na čtyřech základních faktorech druhu lepidla, chemické struktuře, počtu složek a době životnosti. Doba životnosti se odvíjí od druhu lepidla, chemického složení a podmínách ve kterém je uskladněno. Za dobu uskladnění lepidla může v lepidle docházet k nežádoucím reakcím např. u těkavých lepidel dochází k tzv. vytěkání lepidla a tím jeho houstnutí. Dříve byl také častý jev tzv. sedimentace. Jinak řečeno usazení rozpuštěné složky na dně balení lepidla. Dnes je tento jev díky vývoji lepidel téměř eliminován. Výhodou dvousložkových lepidel je oddělení chemických složek a tím zabránění vzniku jakékoliv nežádoucí změny po dobu skladování, a tak je lze skladovat po neomezenou dobu. Toto neplatí pro lepidla vytvrzovaná např. pomocí tepelné aktivace, kde dochází ke stárnutí.
Způsob nanášení je určitá mezifáze, která odděluje přípravné operace od vlastního vytvoření lepeného spoje. Cílem tohoto podprocesu je vytvoření souvislé a rovnoměrné vrstvy lepidla s určitou tloušťkou. Lepidlo je nanášeno na obě lepené plochy. Při lepení karosářských výlisků pouze na jednu stranu. Způsob nanášení určuje konzistence lepidla a tvar a velikost lepených ploch. Starší způsoby nanášení lepidel především v kusové výrobě (nanášení štětcem, válečkem apod.) vyžadovaly přípravné operace s lepidlem. V dnešní průmyslové praxi se již využívá vytlačovacích pistolí, které nanáší přesné požadované mmnožství i na velké plochy. Moderní systémy si již pro danou aplikaci upraví teplotu a tím může měnit viskozitu apod. Vzhledem k tomu není nutné nijak zvlášť připravovat lepidlo vzhledem k nanášení.
Způsob vytvrzování závisí hlavně na typu lepidla a jeho struktuře. Lze předpokládat, že na vytvrzování bude potřeba určitý tlak a teplota. Podle toho jaký způsobem vytvrzování probíhá, tak volíme upínací a polohovací přípravky. Může docházet k uvolňování těkavých látek, proto je důležité odsávání. Dalším způsobem vytvrzování je například tuhnutí taveniny nebo napěnění.

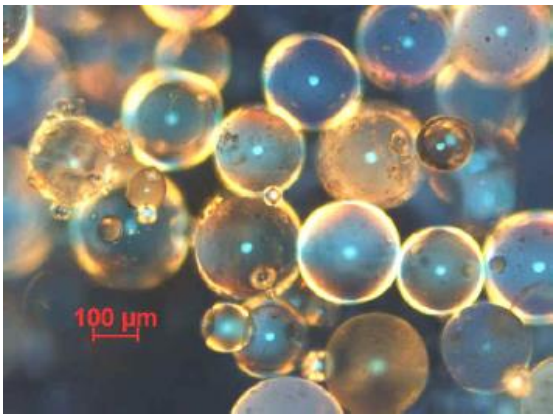
1.6.3 Nanášení lepidla [1] [2] [8]

Základní parametr nanášecího zařízení je tvar a velikost housenky. Existuje široká škála nanášecích zařízení. Nanášet lze ručně nebo strojně. Ruční nanášení se využívá například v opravárenství, kusové nebo prototypové výrobě. K ručnímu nanášení se většinou používají vytlačovací pistole buď s elektrickým nebo vzduchovým posuvem. Pistole se liší pro jedno a dvoukomponentní lepidla. Pro dvoukomponentní lepidla mají speciální mísiče. Můžeme je rozlišit na statické a dynamické mísiče viz obr.18. Tento způsob nanášení je levný, ale nelze zaručit přesné parametry nanášeného množství. Proto například v automobilním průmyslu, ale i v jiné sériové výrobě používáme moderní dávkovací a nanášecí systémy. Nanášecí systém se skládá z trysky, která aplikuje lepidlo na povrch zatímco dávkovací systém dopravuje lepidlo za určitého tlaku a teploty. Komplexní robotizované pracoviště umožňuje přesné nastavení nanášecích parametrů.

Obr. 18 Statický mísič od firmy Loctite [18]

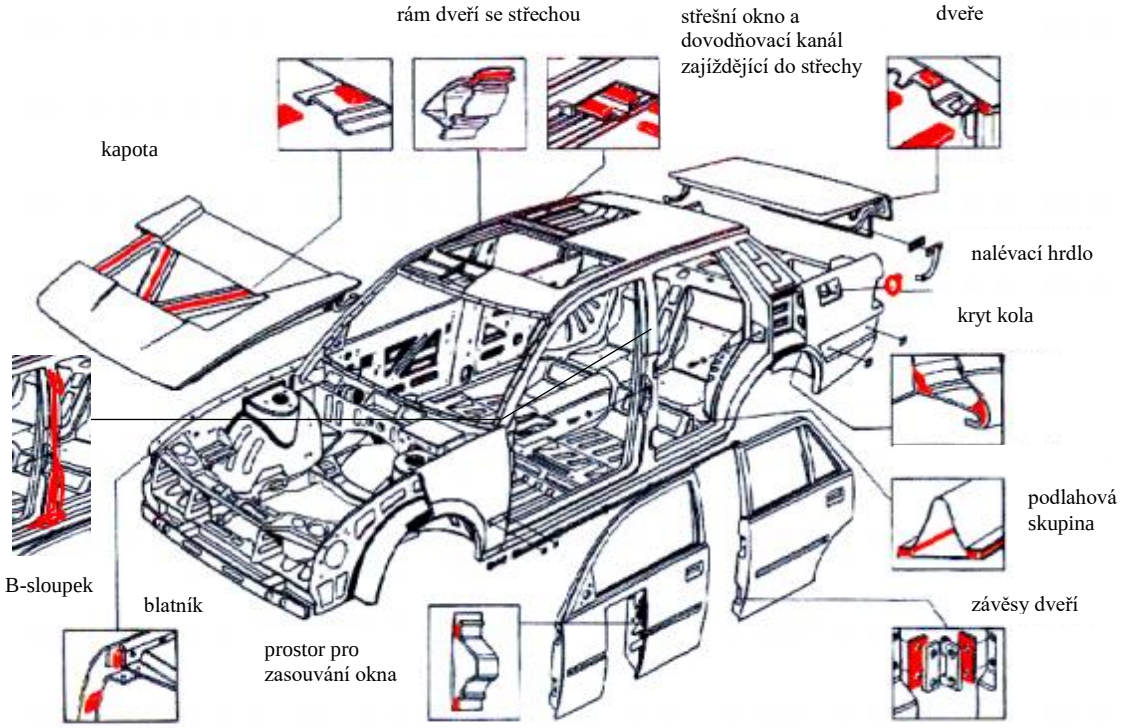
1.6.4 Montáž spoje [1] [2] [8]

Zafixujeme (pomocí přípravků) lepené díly za určitého předepsaného tlaku k sobě, tím vytvoříme fyzikální a chemické podmínky pro vznik pevných vazeb. Ponecháme do vytvoření adhezního spojení (odpaření, vytvrzení, polymerace apod.) Je nutné tlak působící na spoj během tvrdnutí spoje ponechat po celou dobu reakce. Zvláštností automobilového průmyslu je, že většinou je tento tlak nutný k vytvoření kvalitního spoje zaručován už samotnou konstrukcí spoje např. spoje lemů. Pokud jde o spoj bez lemu, tak je potřebný tlak dosahován bodovým svařováním, mechanickým spojením nebo lisováním. Při montáži spoje jehož primární účel je zabránění šíření hluku a vibrací, tak vzhledem k použitému lepidlu, není nutné používat přítlačnou sílu. Je to z důvodu, že jednou z vlastností lepidla je několiknásobné zvýšení objemu během vytvrzování. Tím dojde k bezproblémovému vyplnění spáry. Důležitým prvek montáže spoje jsou tzv. distance. V automobilním průmyslu se využívá několik typů distancí. Jedním typem distancí mohou být konstrukční prolisy na slepované součásti, které zaručují správnou vzdálenost slepeného spoje. Další možností je použití speciálních příměsí do lepidel, které obsahují distanční tělíska. Velikost tělísek odpovídá optimální tloušťce lepidla ve spoji (cca 0,2 mm) viz obr. 19. V laboratorních podmínkách lze použít drátků (ocel, měď, plast, teflon apod.) jako distančních tělísek. Ovšem kvůli technologickému postupu se uvedené typy distancí při stavbě karoserie nepoužívají.



Obr. 19 Distanční kuličky [1]

V automobilním průmyslu je potřeba dosahovat určité produktivity práce, a tak nelze před aplikací lepidla či svařováním povrch plechů nějakým způsobem odmašťovat a ani v praxi se tak neděje. Tato skutečnost omezuje výběr lepidla pro použití v automobilním průmyslu na lepidla, která jsou schopná přilnout k povrchu s určitou tloušťkou maziva. Po zpracování v hutích se na plechy nanáší vrstva konzervačního maziva, které chrání plechy před korozí a zároveň by mělo mít pro daný povrch dobré technologické vlastnosti. Vrstva maziva je běžně v rozmezí 1 až 3 gm-2. Lepidla, která se používají na výztuhy jsou vytvrzována současně s vytvrzováním laku karoserie. Lepidla na lepení lemů karoserie lze použít rychlé částečné vytvrzení pomocí indukčního ohřevu v průběhu montáže. Ovšem celkové vytvrzení lepidla je dokončeno při vytvrzování laku karoserie v peci. Složení a typ lepidla pro aplikaci při stavbě karoserie se odvíjí od požadované funkce spoje. Lze rozlišovat lepidla pro utěsnění, vyztužení nebo zpevnění. Příklady lepených spojů na karoserii automobilu vidíme na obr. 20 a v tab. 2.



Obr. 20 Příklady lepených spojů na karoserii automobilu [2]

Tab. 2 Druhy lepených spojů [2]

Druh lepeného spoje	Příklady použití	Lepidla	Vlastnosti lepeného spoje
drážkové přírubové lepení	kapota	Epoxidové pryskyřice	pevnost, tuhost, chování při nárazu, ochrana před štěrbinovou korozí
výztuhové lepení	dveře, kapota	Polyuretany, PVC, Syntetické kaučuky	neohebnost torze, vzhledový díl nesmí být deformovaný
lepení nosné struktury	sloupky, profily, přírubové švy	Epoxidová pryskyřice	pevnost, tuhost, chování při nárazu
přímé zasklívání	přední, zadní a pevné boční tabule	Polyuretany	tuhost karoserie, těsnost, nepropustnost
těsné lepení	hrdlo nádrže, utěsnění švu	PVC, Syntetické kaučuky	těsnost, odolnost vůči korozi

2 MATERIÁLY KAROSERIE [10] [11]

Požadavky na materiálové vlastnosti jednotlivých dílů karoserie jsou rozdílné viz obr 21. Navíc dochází ke specifikaci těchto požadavků, proto jsou výrobci nuceni k vývoji specializovaných výrobkoů pro úzký okruh aplikací. Některé specializované výrobky jsou zmíněny v rozdělení níže.

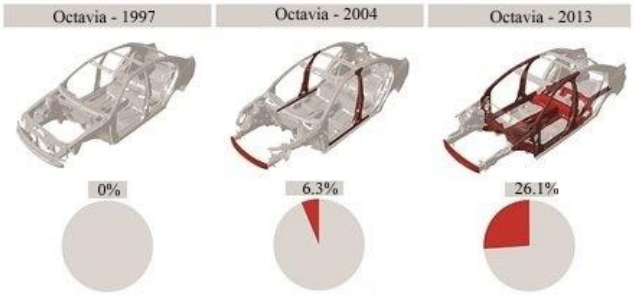
Obr. 21 Schématické zobrazení moderní karoserie automobilu [19]

podle metalurgie se ocele vhodné pro konstrukci karoserií dělí na:

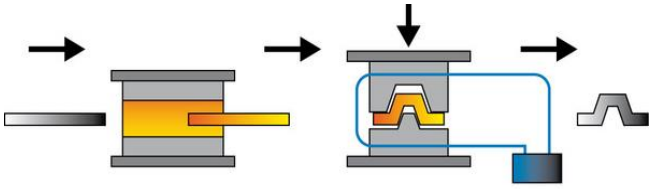
- nízkopevnostní oceli – měkké hlubokotažné oceli s řízenou mezí kluzu
  - IF (*Interstitial Free*) oceli nemájí ve struktuře žádné intersticiální atomy, takže nedochází ke zpevnění této oceli. Struktura oceli je tvořena čistým feritem a vlastnosti ocele se řídí velikostí feritického zrna. IF oceli mají enormně vysokou tažnost a nízkou mez kluzu a jsou tedy ideální pro hlubotažné tvarové komplikované díly karoserií.
  - MILD oceli jsou to tažné nízkouhlíkové oceli s nižší pevností, mají feritickou strukturu. Příkladem MILD ocelí jsou CS (commercial steel) DS (Drawing steel) FS (Forming steel) atd.
- oceli s vyšší pevností – nejpoužívanější konvenční oceli
  - IF-HS (I*nterstitial Free – High Strength*) jde o IF oceli, ale jsou zpevňovány přísadou Mn, Si, P v tuhém roztoku feritu. Vyznačují se nízkým poměrem mezi mezí pevnosti a mezí kluzu. Jsou vhodné pro složité součásti, které mají mít zároveň vysokou pevnost.
  - BH (*Bake Hardenable)* oceli, u kterých dochází ke zvýšení pevnosti při vypalování laku karoserie. Tento proces je založený na nízkoteplotním stárnutí za statického napětí. Dochází ke stabilizaci dislokací intersticiálními atomy C a N. Řízené stárnutí je prováděno za teplot okolo 170 °C po dobu 20 min. Tyto oceli mají před lisovaním nízkou mez kluzu a vysoké parametry plasticity. Během vytvrzování laku dochází k nárustu pevnostních vlastností o 30-70 MPa. Tato ocel se využívá např. na vnější díly dvěří nebo kapoty. U těchto ocelí nedojde k tak velkému zpevnění během tváření a BH efekt následně zvyšuje stabilitu a tuhost těchto dílů
  - HSLA (*High Strength Low Alloy*) oceli jejichž výroba je prováděna válcováním za studena i za tepla. Tyto oceli se vyznačují nízkým obsahem C a také dobrou plasticitou. Zpevnění je u těchto ocelí dosahováno mikrolegury V, Ti, Nb, které vytvářejí nitridy, karbidy a karbonitridy. Díky tomu dochází k jemné precipitaci karbidů a ke zjemnění a zpevnění matrice. To přispívá ke snížení tranzitní teploty přechodu tvárného

a křehkého lomu a zvýšení pevnosti. HSLA oceli jsou vhodné na konstrukční a výztuhové díly karoserie.

- pokročilé oceli s vyšší pevností – speciální materiály s vyšší pevností než oceli s vyšší pevností určené na bezpečnostní a nosné prvky automobilové konstrukce
  - DP (*Dual Phase*) dvoufázové oceli které jsou schopné absorbovat energii a zároveň mají velmi dobré hodnoty v oblasti únavové pevnosti, a proto jsou vhodné k použití v automobilovém průmyslu na konstrukční a bezpečnostní díly. Dosahují meze pevnosti v rozmezí 500 – 1 200 MPa (podélné a příčné nosníky a různé výztuhy). Mají feriticko - martenzitickou mikrostrukturu. Charakteristickým rysem dvojfázových ocelí je struktura, která se skládá z 70 až 90 % feritu a 10 až 30 % martenzitu.
  - CP (Complex Phase) – multifázové, využívané pro automobilové díly jednoduchých tvarů a pro díly s malou deformací (dveřní lišty, příruby sedadel). Jejich důležitým znakem je vysoká mez kluzu při zachování meze pevnosti v tahu
  - TRIP (Transformation Induced Plasticity) jsolu s CP ocelemi jsou označované jako multifázové, protože obsahují minimálně dvě rozdílné strukturální složky. Například relativně měkkou fázi, která tvoří matrici (ferit) a umožňuje dosáhnutí nízké meze kluzu a dobré lisovatelnosti a tvrdou fázi pro dosáhnutí vysoké meze pevnosti. Jsou to tzv. oceli s transformačně indukovanou plasticitou. Při plastické deformaci dochází u těchto ocelí k přeměně austenitu na martenzit, což je označováno jako tzv. TRIP efekt. TRIP oceli kombinují zdánlivě protichůdné vlastnosti pevnosti a tažnosti. Tyto oceli mají relativně vyšší obsah uhlíku z důvodu stabilizace nepřeměněného zbytkového austenitu. Schopnost pohlcovat velké množství energie nárazu a dobré únavové vlastnosti předučují TRIP oceli k tomu, aby se využívaly jako automobilové konstrukční a bezpečnostní díly (B-sloupky, nárazníky, nosníky apod.)
- oceli s vyšší pevností, za tepla tvářené oceli – manganborové oceli s nejvyšší pevností, bezpečnostní prvky karoserie
  - MS (Martensitic Steel) oceli, jsou oceli s nejvyšší mezí pevnost v tahu mezi vícefázovými ocelemi tj. až 1700 MPa. U Martenzitických ocelí dochází ke kalení při tváření viz obr. 23. Vzhledem k tak vysoké mezi pevnosti jsou tyto oceli vhodné k použití u dílů se zvýšenou odolností proti nárazům např. části předního a zadního nárazníku, prahové výztuže a střešní příčníky viz obr. 22.
  - manganoborové oceli jsou vhodné především jako konstrukční nosné (příčné a podélné nosníky, uchycení nárazníku, součásti podvozku apod.) a bezpečnostní části karosérie (A-sloupek, B-loupek, boční výztuhy dveří). Využívané všude, kde je vyžadována vysoká odolnost proti nárazu.



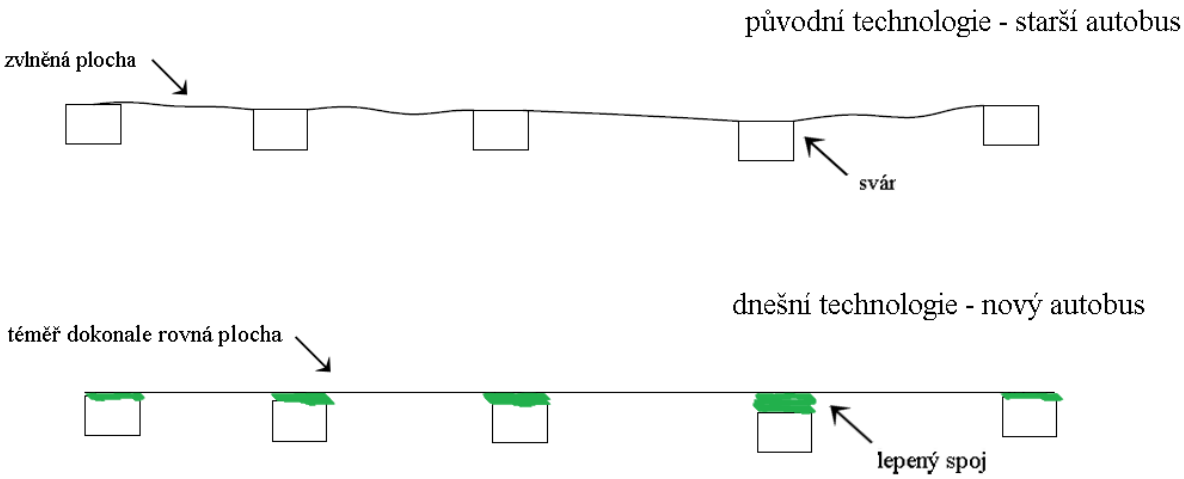
Obr. 22 Procento dílů kalených při tváření z martenzitických ocelí mezigeneračně u modelu Škoda Octavia [10]



Obr. 23 Schéma kalení při tváření [20]

3 POROVNÁNÍ TECHNOLOGIÍ VYUŽÍVANÝCH PŘI STAVBĚ KAROSERIE AUTOBUSU [21]

U karoserie autobusu stejně jako u osobních automobilů dochází v poslední době k širokému uplatnění technologie lepení. Tuto technologii lze rozpoznat v některých případech i pouhým pohledem na karoserii. Technologie lepení se hojně využívá při lepení opláštění karoserie,



Obr. 24 Porovnání způsobu spojování u starších a nových vozů hromadné dopravy

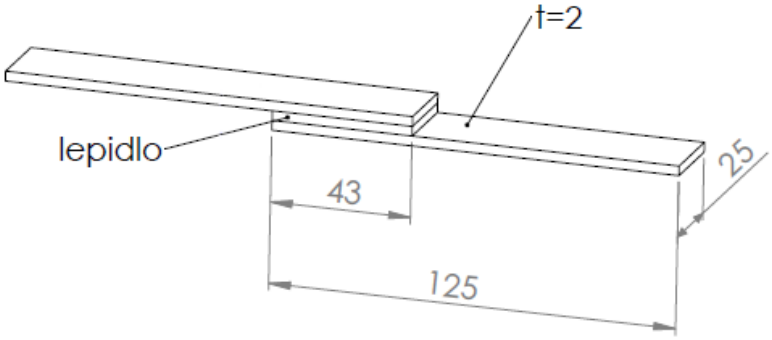
lepení střech apod. Při použití lepení lze vypozorovat charakteristické vlastnosti již na povrchu karoserie. Jak můžeme vidět na obr. 25 lepený spoj se vyznačuje téměř dokonale rovnou plochou. Při nalepování dílu na karoserii se nejprve díl nalepí na krajích a zbylé příchytné body na karoserii se dolepí podle potřeby rozdílnou tloušťkou lepidla. Je to z důvodu nerovností, které na karoserii vždy budou. Jiná situace je u technologie svařování. Zde jak můžeme vidět na obr. 26 vznikají na povrchu nerovnosti. Nerovnosti vznikají na povrchu plechu v místě přivaření k nedokonale rovné konstrukci karoserie. Nedochází zde k vyrovnání jako tomu je u lepení. Vzniklé nerovnosti se vytmelují, a tak se dorovnávají. Nevýhodou tohoto řešení je vyšší hmotnost a stále ne příliš rovný povrch.

Obr. 25 Opláštění lepeno

Obr. 26 Opláštění svařováno

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Pro experimentální část práce byla zvolena zkouška smykové pevnosti v tahu. Jako vzorky byly použity plechy tloušťky 2 mm spojené jednoduchým přeplátováním. Pro lepení bylo použito epoxidového lepidla SPT Epoxy 0215 viz obr. 28. Orientace a rozměry vzorku voleny viz obr. 27.



Obr. 27 Orientace a rozměry vzorku

Obr. 28 Epoxidové lepidlo SPT Epoxy 0215

4.1 Popis experimentu

Z teorie vychází, že v realizace lepeného spoje v automobilní průmyslu je založena na přilnutí na lakovaný povrch karoserie. V experimentu byly porovnány možné přístupy v úpravě povrchu lepeného kovového povrchu před lepením.

V první sadě vzorků byl povrch odmaštěn Isopropylakoholem (C_3H_8O). V další sadě bylo zkombinováno odmaštění a tryskání. V poslední třetí skupině byly vzorky nalakovány běžně dostupným akrylovým autolakem značky Motip viz. obr. 31 bez další povrchové úpravy. Všechny vzorky byly poté slepeny viz obr. 30. Bylo použito epoxidové lepidlo SPT Epoxy 0215 viz obr. 28. Ke ztuhnutí lepidla došlo za nezvýšené teploty a za dobu přibližně 48 hodin.

Obr. 29 Trhací zařízení MS Criterion Model 43

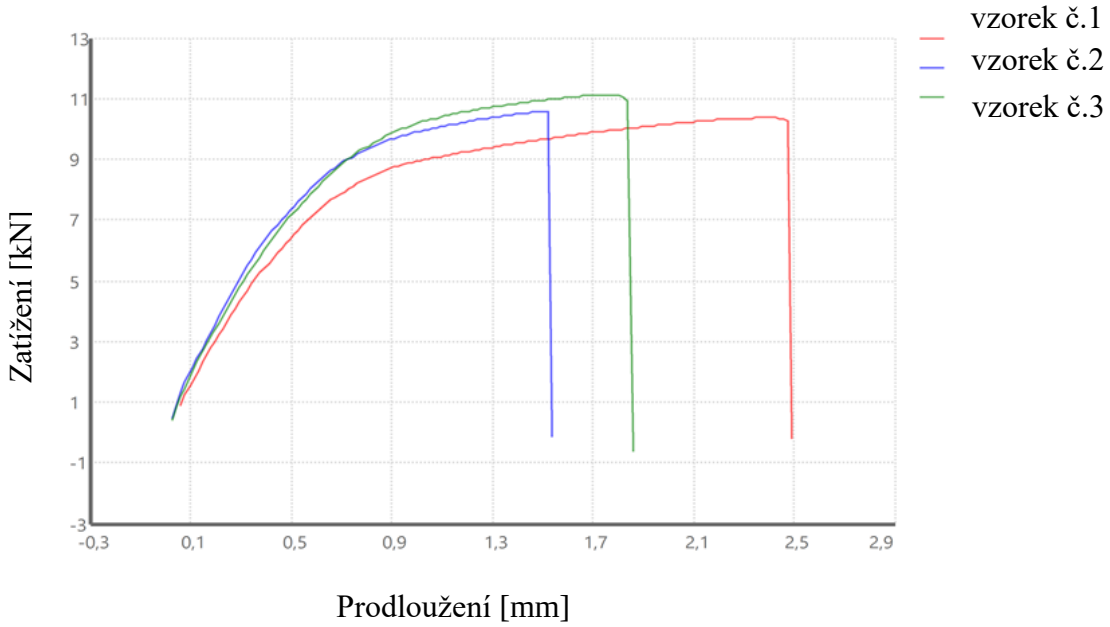
Poté, co došlo k vytvoření pevného spoje, byly vzorky upnuty do čelistí trhacího zařízení MS Criterion Model 43 viz obr. 29 a s použitím ovládacího softwaru byly nastaveny parametry vzorku. Mezi tyto parametry patří délka přeplátování a šířka vzorku. Následně byla zahájena tahová zkouška.

Po dokončení tahové zkoušky byly hodnoty zatížení a prodloužení vykresleny do tahového diagramu. Hodnoty maximálního zatížení, smykové pevnosti a prodloužení byly zaznamenány a dopočítány pomocí ovládacího softwaru trhacího přístroje. Tahová zkouška byla opakována pro každý vzorek. Následovalo vyhodnocení tahové zkoušky.

Obr. 30 Sady vzorků po aplikaci epoxidového lepidla SPT Epoxy 0215 na povrchy s různou povrchovou úpravou

Obr. 31 Autolak ve spreji značky Motip

- skupina vzorků č. 1 – odmaštěno.



Obr. 32 Tahový diagram vzorků s odmaštěným povrchem

Výpočet smykové pevnosti:

$$S = a \cdot b \tag{4.1}$$

Kde: S – plocha přeplátování [mm^2]
a – délka přeplátování [mm]
b – šířka vzorku [mm]

$$\tau_s = \frac{F_{max}}{S} \tag{4.2}$$

Kde: F_{max} – maximální zatížení [N]
S – plocha přeplátování [mm^2]
τ_s – smyková pevnost [MPa]

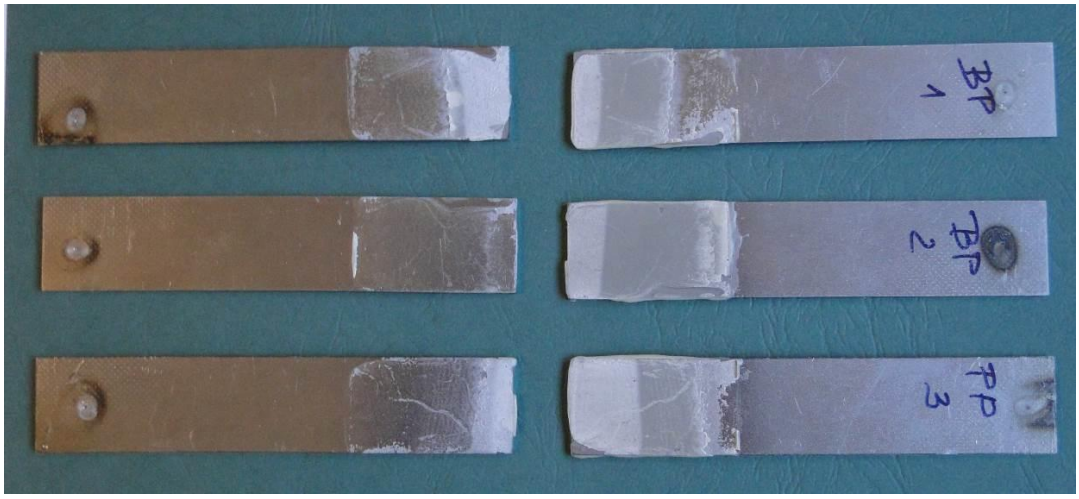
Vzorek číslo 1 – vzorový výpočet:

$S = a \cdot b = 42 \cdot 25 = 1050\ mm^2$

$$\tau_s = \frac{F_{max}}{S} = \frac{10368{,}995}{1050} = 9{,}875\ MPa$$

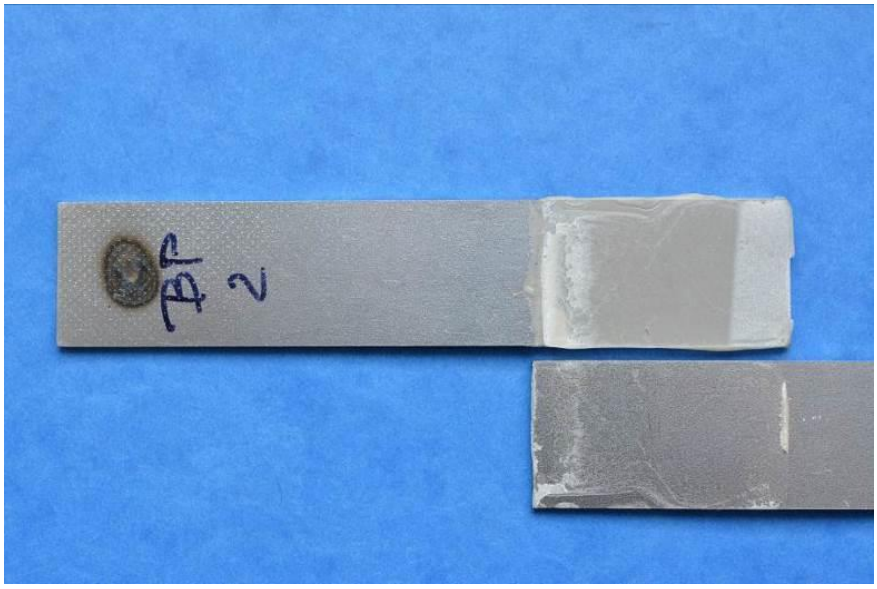
Tab. 3 Vyhodnocení zkoušených vzorků skupiny č. 1 - odmaštěno

Číslo vzorku [-]	Maximální zatížení [N]	Smyková pevnost v tahu [MPa]
1	2,47	9,88
2	1,53	9,83
3	1,85	10,35
Průměrná smyková pevnost v tahu		10,02

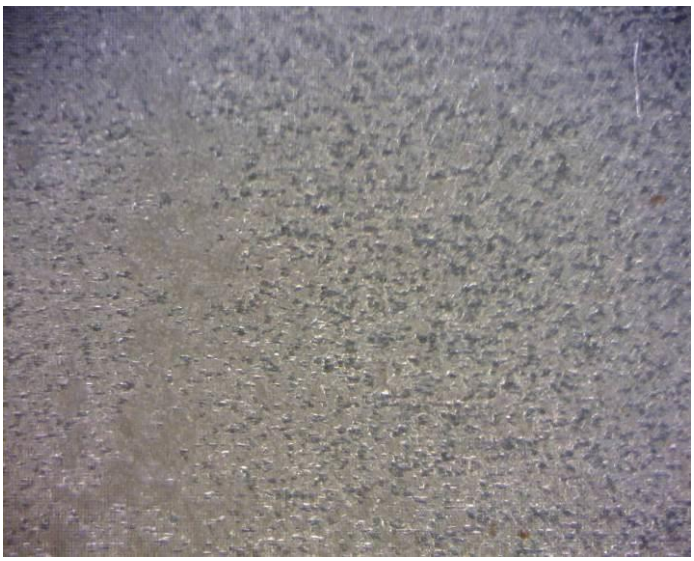


Obr. 33 Skupina vzorků č. 1 – odmaštěno - po tahové zkoušce

Pro detailnější možnost zhodnocení charakteru lomu viz obr. 35. a obr. 34. Při detailním pohledu na vzorek č. 2, který byl zvolen jako reprezentativní pro skupinu vzorků s odmaštěným povrchem, lze pozorovat adhezivní lom po celé ploše vzorku.

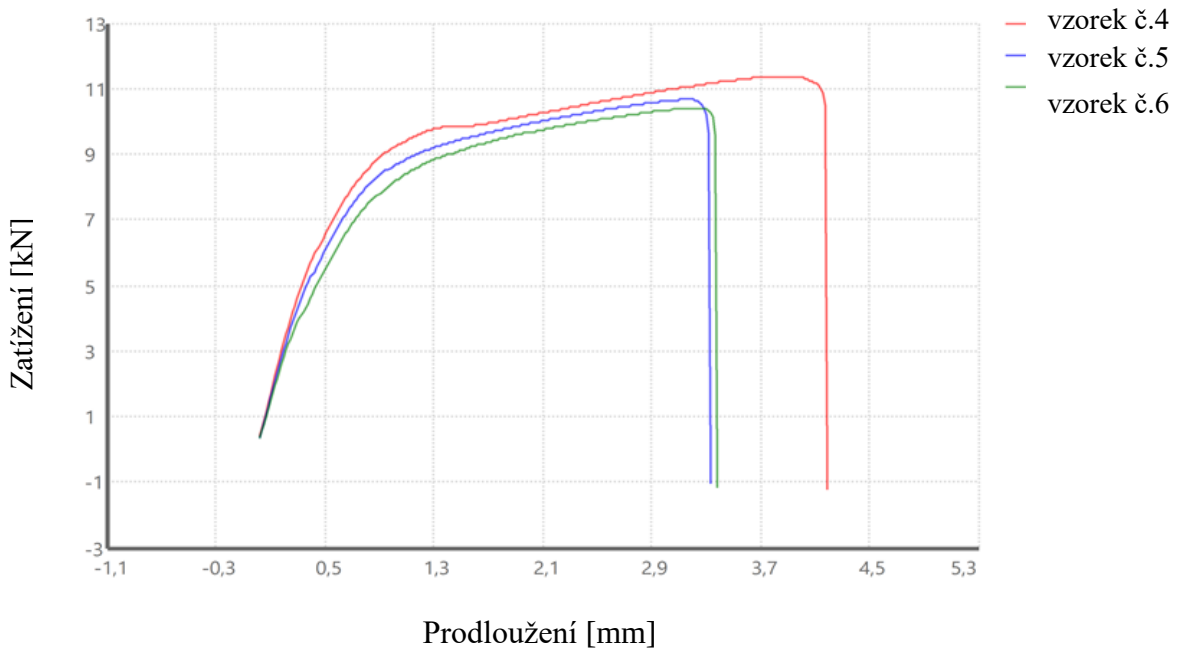


Obr. 35 Vzorek č. 2 - detail



Obr. 34 Vzorek č. 2 – mikroskopický pohled na lom

- skupina vzorků č. 2 – tryskáno.



Obr. 36 Tahový diagram vzorků s odmaštěným a tryskaným povrchem

Výpočet smykové pevnosti:

$$S = a \cdot b \tag{4.3}$$

Kde: S – plocha přeplátování [mm^2]
a – délka přeplátování [mm]
b – šířka vzorku [mm]

$$\tau_s = \frac{F_{max}}{S} \tag{4.4}$$

Kde: F_{max} – maximální zatížení [N]
S – plocha přeplátování [mm^2]
τ_s – smyková pevnost [MPa]

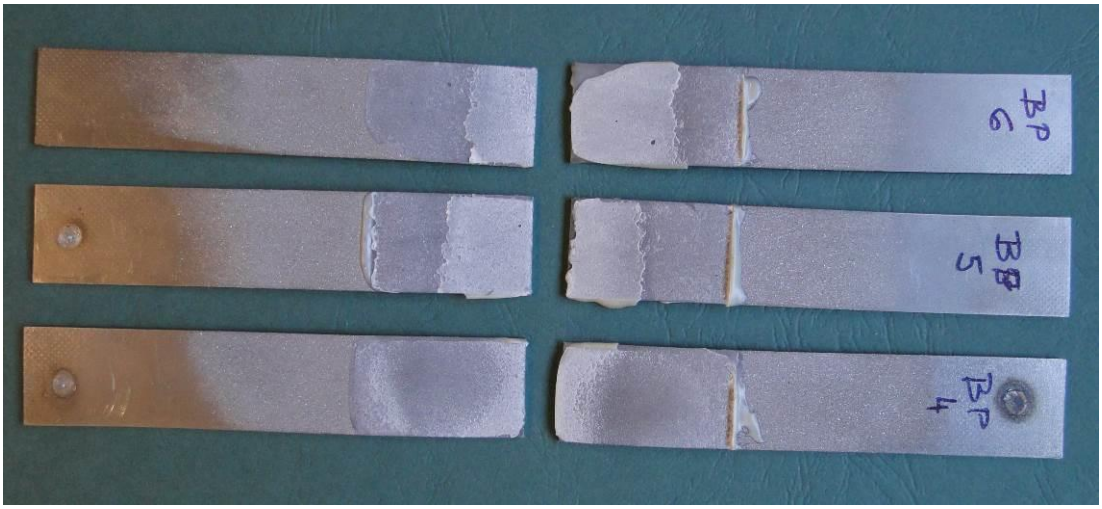
Vzorek číslo 4 – vzorový výpočet:

$$S = a \cdot b = 43 \cdot 25 = 1075 \text{ mm}^2$$

$$\tau_s = \frac{F_{max}}{S} = \frac{11359{,}032}{1075} = 10{,}567 \text{ MPa}$$

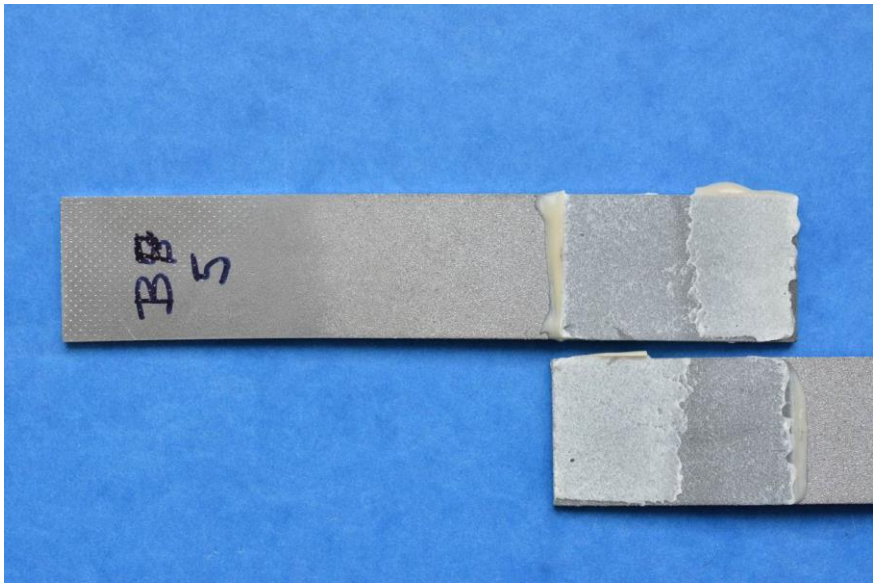
Tab. 4 Vyhodnocení zkoušených vzorků skupiny č. 2 - tryskáno

Číslo vzorku [-]	Maximální zatížení [N]	Smyková pevnost v tahu [MPa]
4	11359,03	10,57
5	10660,03	10,40
6	10409,34	9,68
Průměrná smyková pevnost v tahu		10,22



Obr. 37 Skupina vzorků č. 2 – tryskáno - po tahové zkoušce

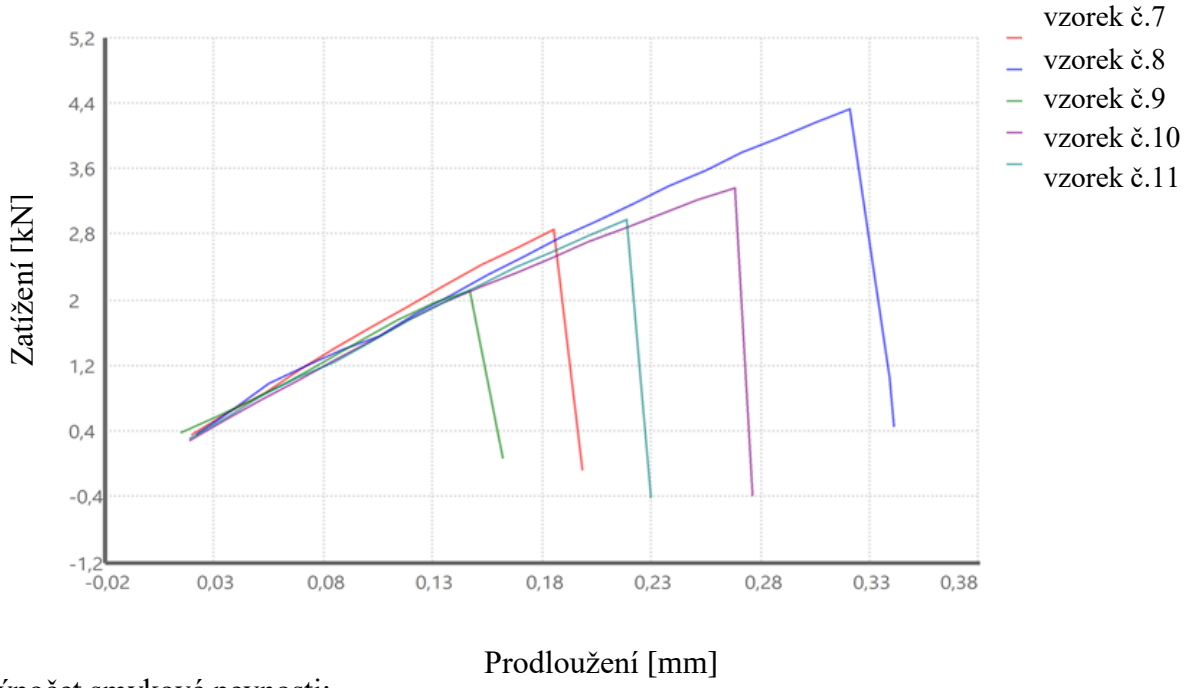
Pro detailnější možnost zhodnocení charakteru lomu viz obr. 38. a obr. 39. Při detailním pohledu na vzorek č. 5, který byl zvolen jako reprezentativní pro skupinu vzorků s odmaštěným a otryskaným povrchem, lze pozorovat kohezivní lom po celé ploše vzorku.



Obr. 39 Vzorek č. 5 - detail

Obr. 38 Vzorek č. 5 – mikroskopický pohled na lom

- skupina vzorků č. 3 – lakováno.



Výpočet smykové pevnosti:

$$S = a \cdot b \tag{4.5}$$

Kde: S – plocha přeplátování [mm^2]

Obr. 40 Tahový diagram vzorků s odmaštěným povrchem

a – délka přeplátování [mm]
b – šířka vzorku [mm]

$$\tau_s = \frac{F_{max}}{S} \tag{4.6}$$

Kde: F_{max} – maximální zatížení [N]
S – plocha přeplátování [mm^2]
τ_s – smyková pevnost [MPa]

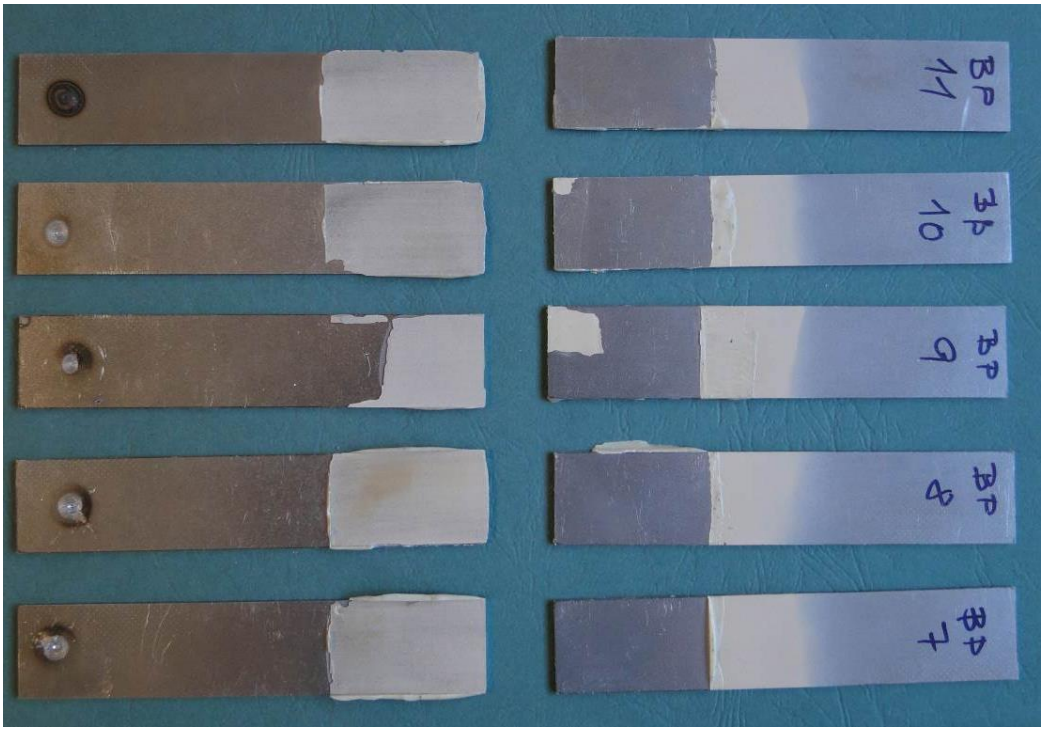
Vzorek číslo 7 – vzorový výpočet:

$$S = a \cdot b = 42 \cdot 25 = 1050 \text{ mm}^2$$

$$\tau_s = \frac{F_{max}}{S} = \frac{2851{,}91}{1050} = 2{,}716 \text{ MPa}$$

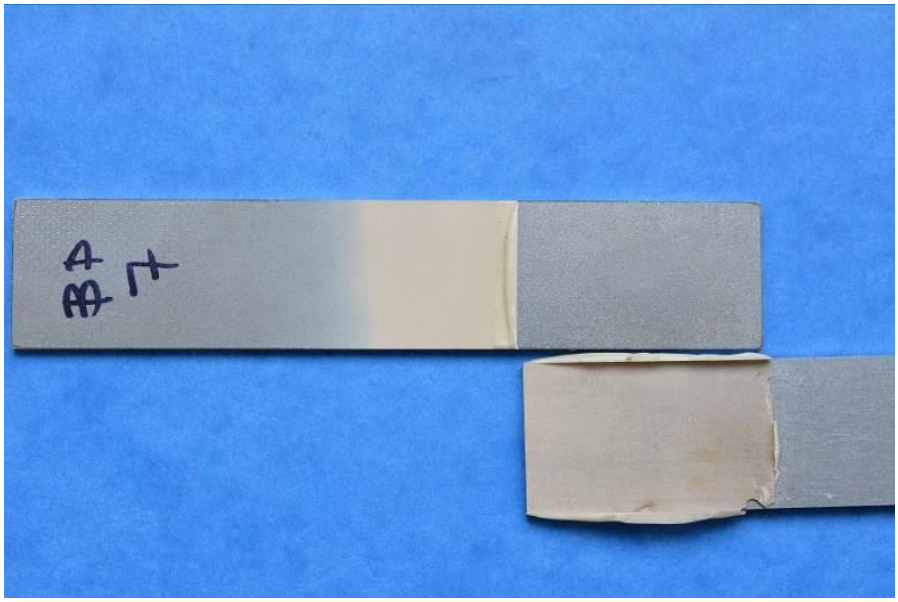
Tab. 5 Vyhodnocení zkoušených vzorků skupiny č. 3 - lakováno

Číslo vzorku [-]	Maximální zatížení [N]	Smyková pevnost v tahu [MPa]
7	2851,91	2,72
8	4329,25	4,12
9	2119,48	2,04
10	3360,90	3,20
11	2974,99	2,77
Průměrná smyková pevnost v tahu		2,97

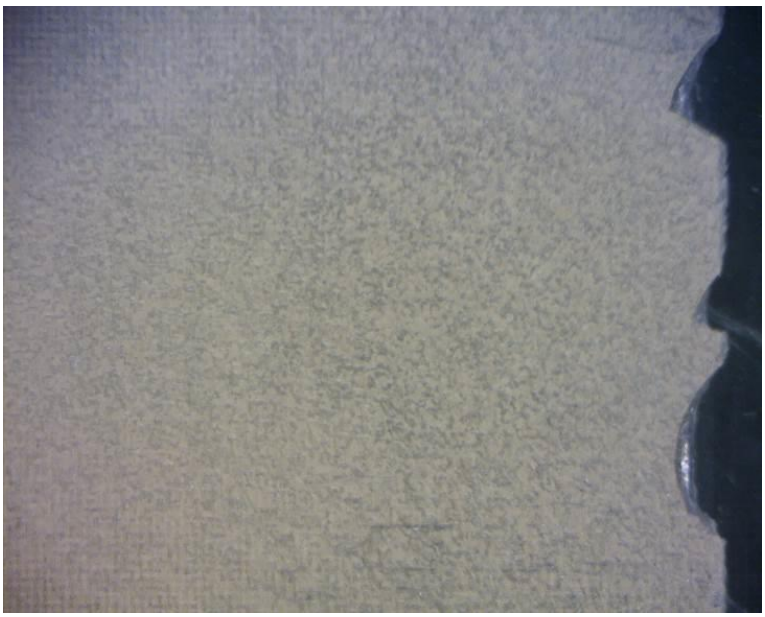


Obr. 41 Skupina vzorků č. 3 – lakováno - po tahové zkoušce

Pro detailnější možnost zhodnocení charakteru lomu viz obr. 43. a obr. 42. Při detailním pohledu na vzorek č. 7, který byl zvolen jako reprezentativní pro skupinu vzorků s lakovaným povrchem, lze pozorovat adhezivní lom po celé ploše vzorku.



Obr. 43 Vzorek č. 7 - detail



Obr. 42 Vzorek č. 11 – mikroskopický pohled na lom

4.2 Vyhodnocení a technické zhodnocení

V první skupině vzorků, které měly odmaštěný povrch bylo dosaženo průměrné smykové pevnosti 10,02 MPa a podle obr. 35 lze usoudit, že se jednalo o lom převážně adhezivní. V druhé skupině s povrchovou úpravou tryskáním bylo dosaženo smykové pevnosti v tahu v průměru 10,22 MPa a z obr. 39 lze vyhodnotit, že se jednalo o lom kohezivní. Poslední třetí skupina vzorků lakovaná autolakem dosáhla smykové pevnosti v tahu průměrně 2,97 MPa při stoprocentě adhezivním lomu viz obr. 43. Z těchto výsledků lze usoudit, že nejpevnější lepený spoj byl vytvořen při odmaštění a tryskání povrchu. Velmi podobnou pevnost má i spoj s povrchem pouze odmaštěným. Nejnižší hodnoty pevnosti bylo dosaženo při aplikaci lepidla na povrch nalakovaného vzorku. Na obr. 43 je zřetelně vidět, že lom byl čistě adhezivní a k porušení došlo v oblasti laku. Proto hodnota smykové pevnosti lepeného spoje na lakovaný povrch vypovídá spíše o smykové pevnosti samotného laku.

Z těchto výsledků vyplývá, že povrchová úprava je pro lepení velmi důležitá, protože výrazně ovlivňuje pevnost lepeného spoje. V první skupině odmaštěných vzorků bylo dosaženo vzhledem k předpokladům poměrně vysoké pevnosti průměrně 10,02 MPa. Nevyšší hodnota smykové pevnosti druhé skupiny tryskaných vzorků potvrdila očekávání a ukazuje se, že je to stále pravděpodobně nejlepší povrchová úprava pro danou technologii mimo specifické aplikace. Naopak u vzorků třetí skupiny bylo dosaženo podstatně nižší smykové pevnosti. Lakování pouze na odmaštěný povrch bylo zvoleno z důvodu přiblížení se reálným podmínkám automobilního průmyslu.

Nízkou hodnotu smykové pevnosti lze odůvodnit několika odchylkami od skutečné sitauce při lepení karoserie a experimentálních podmínkách. Třetí skupina vzorků s lakovaným povrchem neprošla celým cyklem povrchové úpravy karoserie jako tomu bývá na výrobní automobilové lince (odmaštěním s fosfátováním, kataforézou s vypálením v peci, nanášením několika vrstev a znovu vypálením.) Tím se výrazně zvýší pevnost a odolnost lakovaného povrchu. U experimentálních vzorků byla snížena pevnost barvy, protože zde byl proveden pouze nástřik autolakem ve spreji na odmaštěný povrch. Dále při výrobě karoserie dochází k lepení na pozinkovanou ocel a u experimentálních vzorků bylo prováděno lepení na ocel, což může mít také vliv na výslednou hodnotu pevnosti lepeného spoje. Nelze tedy říci, že výsledek popírá metody praxe automobilního průmyslu, pouze nebylo možné se za dané situace těmto podmínkám dostatečně přiblížit.

5 ZÁVĚRY

Lepení je technologie, která už není jen doplňkovou technologií spojování, ale v některých případech nahrazuje konvenční technologie jakou je např. svařování. Není pravda, že by dokázala zcela nahradit svařování, ale vzhledem ke zlepšujícím se vlastnostem lepidel a jejich možnostem značného přizpůsobení pro danou aplikaci lze předpokládat její další rozvoj.

Čím dál častější využívání lepeného spoje lze přisoudit výhodám této technologie mezi které bezesporu patří nížší náklady, nižší hmotnost lepeného spoje, vysoká vzhledová kvalita povrchu, pevnost ve smyku nebo těsnící vlastnosti spoje a další. Lepený spoj má mnoho výhod, ale jako každá technologie má i nevýhody. Nevýhodou lepení je náročnost na přesnost při výtváření spoje, nerozebiratelnost nebo nízká pevnost při namáhání na odlup. Výhody však značně převyšují nevýhody této technologie, a tak lepení má velký potenciál do budoucna.

Lepení se využívá v mnoha odvětvích jako je například letecký nebo automobilní průmysl. Například v automobilním průmyslu se používá jako technologie spojování při stavbě karoserie. Jedná se o například o zasklívání, výztuhové lepení nebo lepení nosné struktury a další. Lepení v automobilním průmyslu je specifické v tom, že při lepení dílců se lepí na již nalakovanou karoserii. Proto cílem experimentální části bylo porovnat tři rozdílné povrchové úpravy lepeného spoje z hlediska smykové pevnosti vzorku. První skupina vzorků měla odmaštěný povrch Ispropylalkoholem, druhá skupina odmaštěný a otryskaný povrch a třetí nalakovaný povrch.

Lze říci, že hodnoty smykové pevnosti u jednotlivých povrchových úprav odpovídaly teoretickým předpokladům. Ukázalo se, že tryskaný povrch je obecně pro lepení nejvhodnější. Velmi podobné výsledky vykazoval i odmaštěný povrch. Nejnižší hodnoty smykové pevnosti bylo dosaženo u vzorku s nalakovaným povrchem. Důvodem tohoto výsledku byla nedostatečná pevnost laku a jeho následné porušení. Ve vrstvě lepidla vzorku skupiny tři nedošlo k lomu. Ukazálo se, že přesnost postupu při lepení hraje velkou roli a experiment ve všech podmínkách přesně nereflektoval postup při lepení karoserie a to způsobilo tento výsledek.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [22]

1. DOUBEK, Pavel a Michaela KOLNEROVÁ. *Základy technologie lepení karosářských výlisků*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita, 2014, 119 s. ISBN ISBN978-80-7494-170-2.
2. KOLNEROVÁ, Michaela. Technologie lepení v automobilovém průmyslu [online]. Technická univerzita v Liberci, [cit. 2018- 02-09]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz /cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/spt/lepeni.pdf
3. MRŇA, Libor. *Lepení materiálů* [online]. Ústav strojírenské technologie - Fakulta strojního inženýrství - Vysoké učení technické v Brně, [cit. 2018-02-09]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv_specialni_metody_svarovani_lepeni_materialu_mrna.pdf
4. KHOREL, Ladislav. *Lepení autobusů a nákladních vozidel* [online]. Integrovaná střední škola technická, Vysoké Mýto, [cit. 2018- 02- 09]. Dostupné z: http://www.isstvm.cz/sites/default/files/stranka/312/vy_32_inovace_tec_3u_kh_14_02.pptx
5. KHOREL, Ladislav. *Lepidla a lepení při opravách karoserií osobních automobilů* [online]. Integrovaná střední škola technická, Vysoké Mýto, b.r. [cit. 2018-02-09]. Dostupné z: http://www.isstvm.cz/sites/default/files/stranka/312/vy_32_inovace_tec_3u_kh_14_01.pptx
6. BRIŠ, Petr, Jiří KUBĚNA a Jan ŠTRKAŇ. *Lepení v praxi*. První vydání. Praha: Grada Publishing, 2017. ISBN 978-80271-0247-1.
7. LOCTITE CORPORATION. *Loctite worldwide design handbook 1996/97*. 1st ed. Rocky Hill: Loctite North America, 1995. ISBN 09-645-5900-5.
8. OSTEN, Miloš a Josef MLEZIVA. *Práce s lepidly a tmely*. Vyd. 3., přeprac. a zkrác., v Gradě vyd. 1. Praha: Grada, 1996. ISBN 80-716-9338-3.
9. MÜLLER, Miroslav, Rostislav CHOTĚBOŘSKÝ, Petr HRABĚ a David HERÁK. Teplota a čas - vliv na pevnost lepených spojů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2005, 12.10.2005 [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/clanek/teplota-a-cas-vliv-na-pevnost-lepenych-spoju.html
10. Svařitelnost ocelí pro automobilové karoserie. *Mmspektrum* [online]. 2017 [cit. 2018-02-09]. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/clanek/svaritelnost-oceli-pro-automobilove-karoserie.html
11. HERDITZKY, Attila, Mária KICKOVÁ a Mariana OLEXOVÁ. Moderne koncipované ocele použité pri výrobe automobilovej karoserie. *Transfer inovácií* [online]. Mäsiarska 74, 040 01 Košice, 2008 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: https://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/12-2008/pdf/106-109.pdf

12. *The Physics of Adhesives* [online]. [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: http://ffden-2.phys.uaf.edu/webproj/212_spring_2014/Connor_Mattson/connor_mattson/physics.html
13. Adhesive joint design. In: *Substech Substances & Technologies* [online]. [cit.2018- 03- 25]. Dostupné z: http://www.substech.com/dokuwiki/lib/exe/detail.php?id=adhesive_joints&cache=cache&media=adhesive_joint_design.png
14. Čelní sklo černé tečky. In: *http://www.autoforum.cz* [online]. [cit. 2018-02-09]. Dostupné z:http://www.autoforum.cz/tmp/magazin/ce/Celni_sklo_cerne_pruhy_tecky_02_800_600.jpg
15. BAND, Julian a K. DILGER. *Evropský lepičský praktik*. Übach - Palenberg, Carlstrasse 50: TC-Kleben GmbH, 2015
16. Průmyslové tryskání materiálů. In: MM Tryskání Lakování [online]. [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: http://www.tryskarna-lakovna.cz/images/tryskani/tryskani-piskovani-05.jpg
17. *Průmyslová pračka bez ohřevu K* [online]. In: . [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: https://www.cisticiprostredky-ekogrado.cz/prumyslove-pracky/prumyslova-pracka-bez-ohrevu-k/
18. Řešení pro konstrukční lepení. In: *Loctite* [online]. [cit. 2018- 03- 25]. Dostupné z: http://www.henkeladhesives.cz/czc/content_data/95032_neten_pro_konstrukn_lepen_katalog.pdf
19. Materiály moderní karoserie. In: *Automobilrevue.cz* [online]. [cit. 2018-03-21]. Dostupné z: https://www.automobilrevue.cz/rubriky/automobily/technika/audi-space-frame-mix-materialu_45805.html
20. In: *AcelorMittal Europe - Flat Products* [online]. [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: http://fce.arcelormittal.com/saturnus/sheets/images/large/Traitement_thermique_emboutissage_chaud_usibor_EN.jpg
21. KUBÍČEK, Jaroslav. osobní sdělení vedoucího bakalářské práce (VUT – Ústav strojírenské technologie, Technická 2, Brno), dne 19.dubna 2018.
22. CITACE PRO. Generátor citací [online]. 2018 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: http://citace.lib.vutbr.cz/info

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
a	Délka přeplátování	[mm]
b	Šířka vzorku	[mm]
F_{max}	Maximální zatížení	[N]
S	Plocha přeplátování	[mm^2]
τ_S	Smykové napětí	[MPa]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Karoserie automobilu....9
Obr. 2 Adheze a koheze lepidla k lepenému materiálu [1]....10
Obr. 3 Smáčivost lepidel – α elevační úhel [1]....11
Obr. 4 Podstata elektrostatické teorie adheze [12]....12
Obr. 5 Podstata mechanické teorie [12]....12
Obr. 6 Podstata difúzní teorie [12]....12
Obr. 7 Elektrolytická koroze [7]....13
Obr. 8 Průběh napětí u lepeného, nýtovaného a svarového spoje [7]....13
Obr. 9 Typy lepených spojů [1]....14
Obr. 10 Příklady orientace lepeného spoje [13]....15
Obr. 11 Ochranná vrstva čelního skla automobilu [14]....16
Obr. 12 Vliv délky přeplátování na rozložení napětí v lepeném spoji [1]....17
Obr. 13 Schéma Polykondenzace [15]....20
Obr. 14 Schéma Polyadice [15]....20
Obr. 15 Schéma Polymerace [15]....20
Obr. 16 Tryskání [16]....22
Obr. 17 Průmyslový odmašťovací stroj [17]....22
Obr. 18 Statický mísič od firmy Loctite [18]....23
Obr. 19 Distanční kuličky [1]....24
Obr. 20 Příklady lepených spojů na karoserii automobilu [2]....25
Obr. 21 Schématické zobrazení moderní karoserie automobilu [19]....26
Obr. 22 Procento dílů kalených při tváření z martenzitických ocelí mezigeneračně u modelu Škoda Octavia [10]....27
Obr. 23 Schéma kalení při tváření [20]....27
Obr. 24 Porovnání způsobu spojování u starších a nových vozů hromadné dopravy....28
Obr. 25 Opláštění lepeno....28
Obr. 26 Opláštění svařováno....28
Obr. 27 Orientace a rozměry vzorku....29
Obr. 28 Epoxidové lepidlo SPT Epoxy 0215....29
Obr. 29 Trhací zařízení MS Criterion Model 43....30
Obr. 30 Sady vzorků po aplikaci epoxidového lepidla SPT Epoxy 0215 na povrchy s různou povrchovou úpravou....30
Obr. 31 Autolak ve spreji značky Motip....30
Obr. 32 Tahový diagram vzorků s odmaštěným povrchem....31
Obr. 33 Skupina vzorků č. 1 – odmaštěno - po tahové zkoušce....32
Obr. 34 Vzorek č. 2 – mikroskopický pohled na lom....33
Obr. 35 Vzorek č. 2 - detail....33
Obr. 36 Tahový diagram vzorků s odmaštěným a tryskaným povrchem....34
Obr. 37 Skupina vzorků č. 2 – tryskáno - po tahové zkoušce....35
Obr. 38 Vzorek č. 5 – mikroskopický pohled na lom....36
Obr. 39 Vzorek č. 5 - detail....36
Obr. 40 Tahový diagram vzorků s odmaštěným povrchem....37
Obr. 41 Skupina vzorků č. 3 – lakováno - po tahové zkoušce....38
Obr. 42 Vzorek č. 11 – mikroskopický pohled na lom....39
Obr. 43 Vzorek č. 7 - detail....39

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Povrchové napětí látek [3] 10
Tab. 2 Druhy lepených spojů [2] 25
Tab. 3 Vyhodnocení zkoušených vzorků skupiny č. 1 - odmaštěno 32
Tab. 4 Vyhodnocení zkoušených vzorků skupiny č. 2 - tryskáno 35
Tab. 5 Vyhodnocení zkoušených vzorků skupiny č. 3 - lakováno 38

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Technický list lepidla SPT Epoxy 0215

Příloha 1 (1/6)

Sourcing Point Technology, s.r.o
Holandská 878/2
639 00 Brno - Štyřice

SOURCING POINT TECHNOLOGY

SPT Epoxy® 0215

Použití

SPT Epoxy 0215 je pastovité dvousložkové lepidlo. Vytvrzující jak při pokojové, tak zvýšené teploty. Vhodné pro lepení sklolaminátů, kovů a dalších materiálů. Možno také použít jako tmel pro vyplňování spár o max. tloušťce 10 mm.

Speciální vlastnosti

SPT Epoxy 0215 se vyznačuje výbornou pevností ve smyku, tepelnou odolností a odolností vůči slané vodě.

Druh

dvousložkové epoxidové lepidlo/tmel

Způsob použití

Před lepením je nutno lepený materiál (substrát) řádně odmastit (např. aceton čistý, iso-propanol). Následně definovaně zdrsnit lepený povrch a znovu očistit. Postup přípravy povrchu lepení je nutné odzkoušet.

Složky se smíchají v následujícím poměru (A:B):

- objemově: 1:1
- hmotnostně: 1:1

Předepsaný mísící poměr je nutno dodržet s přesností 1 % složky B na složku A. Pro dokonalé promíchání je vhodné použít směšovací zařízení, pokud není k dispozici, nutno důkladné promíchat (zejména u stěn a na dně nádoby). Lepidlo se nanese na jednu nebo obě předem upravené plochy, a to v optimální tloušťce 0,05 – 1 mm. Životnost namíchaného lepidla při 25°C je 30-40 minut (ve 100 g).

Při prvním použití nové kartuše, kdy písty kartuše a pistole nejsou srovnané, může zpočátku dojít k vytlačení jen jedné komponenty. Proto je nutné před započetím lepení alespoň jeden objem mixeru vytlačit a zneškodnit.

SPT Epoxy 0215 vytvrzuje již při pokojové teplotě. Systém začne tuhnout cca po 60-90 minutách. Dostatečnou pevnost pro manipulaci získá po 4 hodinách. Maximální pevnost lepidlo získá po 48 hodinách vytvrzování při pokojové teplotě. Vytvrzování je možné urychlit pomocí zvýšené teploty, např.:

- 60 min/80°C
- 20 min/120°C

Objednávky: logistika@sptechnology.cz
Administrativa: office@sptechnology.cz
Laboratoř: laborator@sptechnology.cz

IČ: 01980131
DIČ: CZ01980131
Bank connection: 263608261/0300

Příloha 1 (2/6)

Sourcing Point Technology, s.r.o
Holandská 878/2
639 00 Brno - Štýřice

SOURCING POINT TECHNOLOGY

Technická data

A. SPT Epoxy 0215 (složka A)

Vlastnosti nevytvrzené pryskyřice

Vlastnost	**Metodika kontroly**	**Charakteristická hodnota**
Vzhled	vizuální	nahnědlá tixotropní pasta
Měrná hmotnost	ISO I675 /SN 656I99/	1,49 -1,54 g/cm^3
Epoxidový ekvivalent		0,44-0,46 mol/100 g

B. SPT Epoxy 0215 (složka B)

Vlastnosti tvrdidla

Vlastnost	**Metodika kontroly**	**Charakteristická hodnota**
Vzhled	vizuální	nažloutlá tixotropní pasta
Měrná hmotnost	ISO I675 /SN 656I99/	1,40-1,45 g/cm^3

C. Vlastnosti lepeného spoje po vytvrzení:

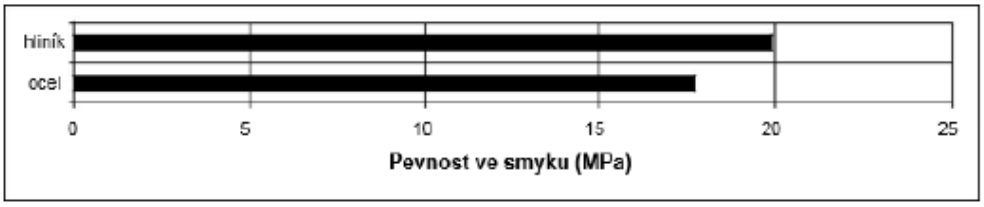
Měrná hmotnost	ISO I675 /SN 656I99/	1,45-1,50 g/cm^3
T_g (48 hod při pok. tep.)	DSC	55-60 °C
T_g (max)	DSC	77 °C

2

Mechanické vlastnosti

Pevnost ve smyku na kovech:

- metoda: ČSN EN 1465
- vytvrzení: 24 hodin/23°C + 1 hodina/80°C
- testováno při 23°C



Objednávky: logistika@sptechnology.cz
Administrativa: office@sptechnology.cz
Laboratoř: laborator@sptechnology.cz

IČ: 01980131
DIČ: CZ01980131
Bank connection: 263608261/0300

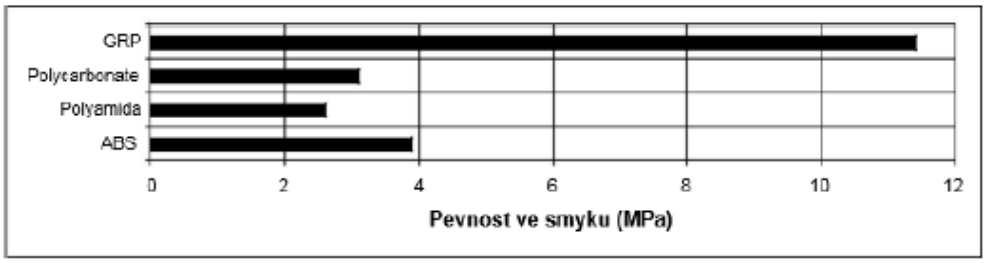
Příloha 1 (3/6)

Sourcing Point Technology, s.r.o
Holandská 878/2
639 00 Brno - Štýřice

SOURCING POINT TECHNOLOGY

Pevnost ve smyku na plastech:

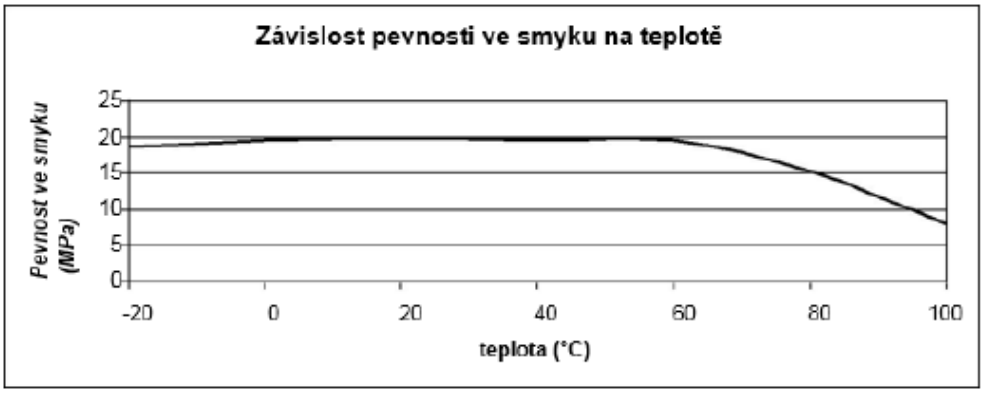
- vytvrzení: 24 hodin/23°C + 1 hodina/80°C
- úprava povrchu: odmaštění iso-propanolem a lehce zbroušen
- testováno při 23°C



Pevnost ve smyku při různých teplotách:

- metoda: ČSN EN 1465
- vytvrzení: 24 hodin/23°C + 1 hodina/80°C
- materiál: hliníkový plech o šířce 25 mm a tloušťce 1,6 mm

3



Pevnost v odlupu (přes válečky): 4,2 N/mm

- vytvrzení: 24 hodin/23°C + 1 hodina/80°C
- materiál: hliníkový plech 150x30x0,6 mm
- testováno při 23°C

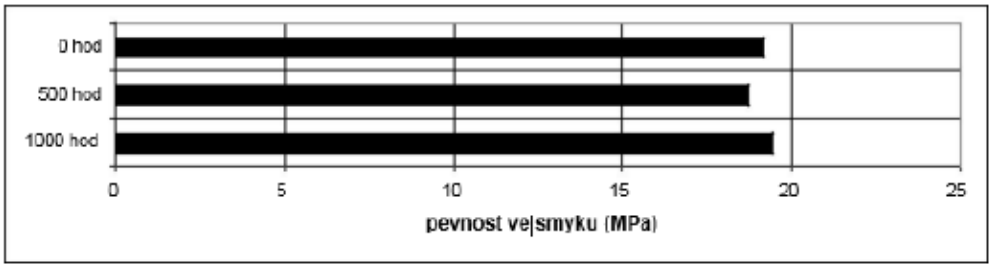
Příloha 1 (4/6)

Sourcing Point Technology, s.r.o
Holandská 878/2
639 00 Brno - Štýřice

SOURCING POINT TECHNOLOGY

Pevnost ve smyku po x hodinách vystavení teplotě 160°C (tepelná odolnost):

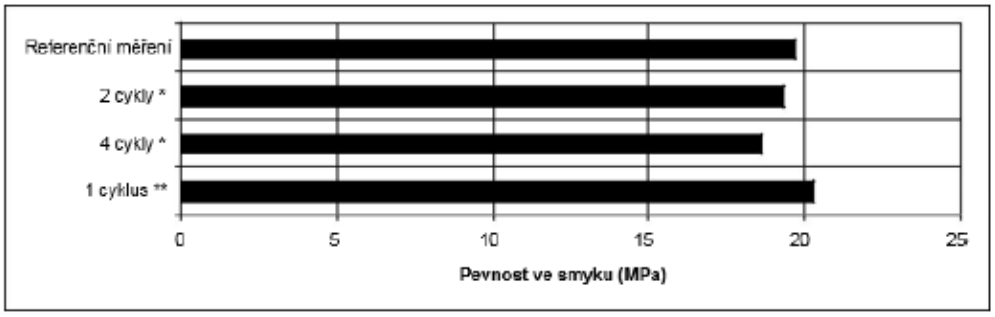
- metoda: ČSN EN 1465
- vytvrzení: 24 hodin/23°C + 1 hodina/80°C
- materiál: hliníkový plech o šířce 25 mm a tloušťce 1,6 mm
- testováno při 23°C



Pevnost ve smyku po cyklických zkouškách:

- metoda: ČSN EN 1465
- vytvrzení: 24 hodin/23°C + 1 hodina/80°C
- materiál: hliníkový plech o šířce 25 mm a tloušťce 1,6 mm
- testováno při 23°C
- vlhkost: 100%
- provedení: plechy zabaleny do bavlněných látek namočených ve vodě a do PE fólie

4



*+70°C/150hod + -20°C/16hod
**+70°C/22 dnů + -30°C/16 dnů

Objednávky: logistika@sptechnology.cz
Administrativa: office@sptechnology.cz
Laboratoř: laborator@sptechnology.cz

IČ: 01980131
DIČ: CZ01980131
Bank connection: 263608261/0300

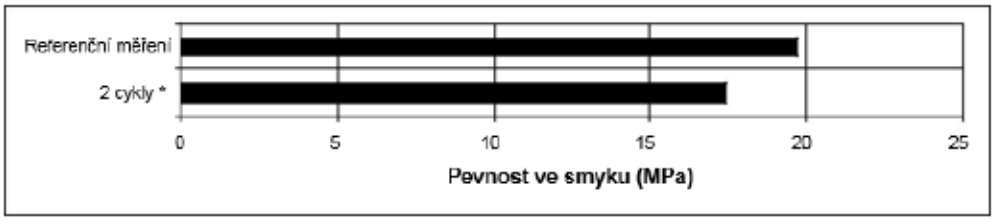
Příloha 1 (5/6)

Sourcing Point Technology, s.r.o
Holandská 878/2
639 00 Brno - Štýřice

SOURCING POINT TECHNOLOGY

Pevnost ve smyku po cyklických zkouškách ve slané vodě (odolnost slané vodě):

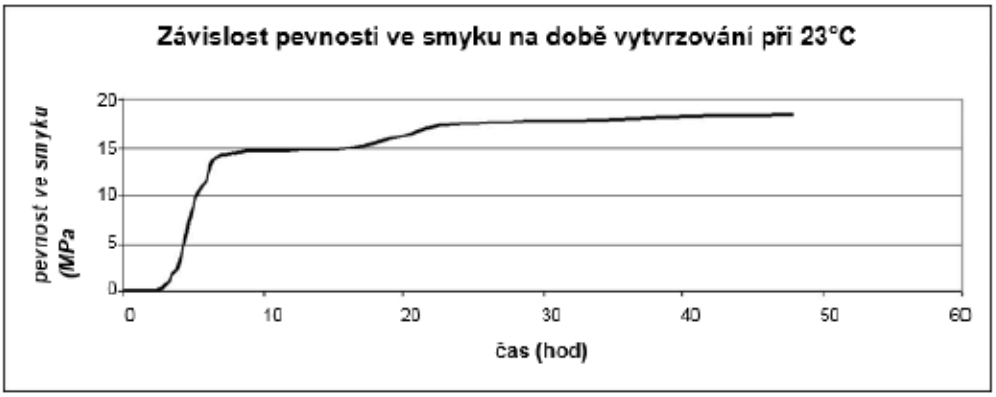
- metoda: ČSN EN 1465
- vytvrzení: 24 hodin/23°C + 1 hodina/80°C
- materiál: hliníkový plech o šířce 25 mm a tloušťce 1,6 mm
- testováno při 23°C
- vlhkost: 100%
- provedení: plechy zabaleny do bavlněných látek namočených v 5% roztoku NaCl a do PE fólie



* +70°C/150hod + -20°C/16hod

Vývin pevnosti ve smyku v čase při dotvrzování:

- metoda: ČSN EN 1465
- vytvrzování: při 23°C
- materiál: hliníkový plech o šířce 25 mm a tloušťce 1,6 mm
- testováno při 23°C



Objednávky: logistika@sptechnology.cz
Administrativa: office@sptechnology.cz
Laboratoř: laborator@sptechnology.cz

IČ: 01980131
DIČ: CZ01980131
Bank connection: 263608261/0300

Příloha 1 (6/6)

Sourcing Point Technology, s.r.o
Holandská 878/2
639 00 Brno - Štýřice

SOURCING POINT TECHNOLOGY

Ostatní data

Skladovací teplota:	min. + 10°C, max. + 30°C
Doba skladovatelnosti:	6 měsíců v uzavřené nádobě

Balení

5 a 10 kg nádoby, 20L Hobbock, 180 ml Kartuše

Bezpečnost při práci

viz bezpečnostní list

Objednávky: logistika@sptechnology.cz
Administrativa: office@sptechnology.cz
Laboratoř: laborator@sptechnology.cz

IČ: 01980131
DIČ: CZ01980131
Bank connection: 263608261/0300