

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní



**VLIV TLOUŠŤKY VRSTVY LEPIDLA NA
PEVNOST LEPENÉHO SPOJE**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

PETR PICEK

2006

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program B2341 Strojírenství

Strojírenská technologie
zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

VLIV TLOUŠTKY VRSTVY LEPIDLA NA PEVNOST LEPENÉHO SPOJE

THE INFLUENCE OF ADHESIVES' THICKNESS ON THE STRENGTH OF BONDED JOINT

Petr Pícek
KSP – TP – B15

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Mirko Král, CSc. - TU v Liberci
Konzultant bakalářské práce: Ing. Pavel Hisem, Ph.D. - TU v Liberci
Konzultant bakalářské práce: Ing. Michaela Kolnerová - TU v Liberci

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	45
Počet tabulek	2
Počet příloh	5
Počet obrázků	20

Datum: 26.5.2006

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program: B2341 Strojírenství

Jméno a příjmení: Petr Pícek

Téma práce: Vliv tloušťky vrstvy lepidla na pevnost lepeného spoje
The influence of adhesives' thickness on the strength of bonded joint

Číslo BP: KSP - TP - B15

Vedoucí: doc. Ing. Mirko Král, CSc

Konzultant: Ing. Pavel Hisem, Ph.D.

Konzultant: Ing. Michaela Kolnerová

Abstrakt:

Bakalářská práce se zabývá problematikou zjišťování vlivu tloušťky lepidla na smykovou pevnost v tahu lepeného spoje u lepidel Betamate 1040 a Betamate 5103-2, které se používají v automobilovém průmyslu. V teoretické části jsou popsány výhody a použití lepených spojů v automobilovém průmyslu, jednotlivé zkoušky hodnocení lepidel a uvedeny charakteristiky vybraných lepidel. V experimentální části jsou realizovány zkušební testy dle příslušných zkušebních metod a jejich hodnocení je provedeno na základě naměřených hodnot.

Abstract:

The bachelor thesis deals with the influence of adhesive thickness on tensile shear strength of bonded joint, when using adhesives Betamate 1040 and Betamate 5103-2, which are commonly used in automotive industry. In the theoretical part of thesis the following is described: advantages and usage of adhesive bonded joints in automotive industry, particular tests and evaluation of adhesives, characteristics of selected adhesives. The experimental part includes tests realized with respect to the appropriate testing methods and their evaluation is done according to measured values.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci , 26. května 2006

.....
Petr Pícek
Spikaly 31
294 25 Katusice

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Pavlu Hisemovi, Ph.D. za odbornou pomoc při provádění experimentální části, za cenné připomínky a podněty poskytnuté během vypracovávání zvoleného tématu. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Michaelu Kolnerové, Ing. Svatopluku Foučkovi a Ing. Lubomíru Rolečkovi za poskytnutí potřebných informací a odbornou pomoc.

Obsah

1.	Úvod.....	8
2.	Teoretická část.....	10
2.1.	Teorie lepených spojů.....	10
2.1.1.	Lepený spoj.....	10
2.1.2.	Teorie adheze a koheze.....	10
2.1.3.	Požadavky na vlastnosti lepidel a lepených spojů.....	13
2.2.	Druhy lepidel.....	15
2.2.1.	Epoxidová lepidla.....	17
2.2.2.	Použití epoxidových lepidel.....	19
2.3.	Lepené spoje ve stavbě karoserií.....	19
2.3.1.	Specifické vlastnosti lepených spojů.....	19
2.3.2.	Aplikace lepidel v automobilovém průmyslu.....	20
2.4.	Ovlivnění pevnosti tloušťkou vrstvy lepidla.....	23
2.5.	Hodnocení lepeného spoje.....	25
2.5.1.	Rozdělení zkoušek.....	25
3.	Experimentální část.....	27
3.1.	Cíl a zaměření práce.....	27
3.2.	Volba metodiky zkoušení a parametrů vytvrzování lepených spojů.....	28
3.2.1.	Stanovení smykové pevnosti při zatěžování v tahu dle normy VW PV 12.05.....	28
3.3.	Vyhodnocení typu porušení lepeného spoje.....	29
3.4.	Použité materiály.....	30
3.4.1.	Použitá lepidla.....	30
3.4.2.	Použitě mazivo.....	31
3.4.3.	Použitý základní materiál (substrát).....	31
3.5.	Příprava vzorků.....	31
4.	Vyhodnocení výsledků.....	37
4.1.	Vyhodnocení výsledků experimentální části.....	37
5.	Diskuse výsledků.....	40
6.	Závěr.....	42
7.	Seznam použité literatury.....	44
8.	Seznam příloh.....	45

Seznam použitých zkratk a symbolů

AF	-	adhezní porušení
CF	-	kohezní porušení
SCF	-	speciální kohezní porušení
EG	-	ocelový plech galvanicky pozinkovaný
HDG	-	ocelový plech žárově pozinkovaný
s	-	směrodatná odchylka
$\bar{x}$	-	aritmetický průměr
x_i	-	měřená hodnota každého zkušebního vzorku
n	-	počet měření
τ	-	smyková pevnost [MPa]
S	-	plocha lepeného spoje
B	-	Betamate (lepidlo)
$\Delta\tau_1$	-	rozdíl maximální a minimální smykové pevnosti v rozsahu 0,2 až 0,6 mm tloušťky vrstvy lepidla B. 1040
$\Delta\tau_2$	-	rozdíl maximální a minimální smykové pevnosti v rozsahu 0,2 až 0,6 mm tloušťky vrstvy lepidla pro B. 5103-2
$\Delta\tau_{c1}$	-	rozdíl maximální a minimální smykové pevnosti v rozsahu 0,2 až 1,2 mm tloušťky vrstvy lepidla pro B. 1040
$\Delta\tau_{c2}$	-	rozdíl maximální a minimální smykové pevnosti v rozsahu 0,2 až 1,2 mm tloušťky vrstvy lepidla pro B. 5103-2

1. Úvod [1, 2]

Lepidla a technologie lepení jsou známa již několik tisíc let. Lepení se používalo ke spojování různých materiálů.

Prakticky až do druhé světové války byly lepeny jen materiály, které byly schopné lepidlo vsáknout – dřevo, kůže, textil a papír. V současné době existují jak lepidla universální (velmi dobrých vlastností) tak i lepidla „šitá na míru“ pro savé i nesavé materiály.

V dnešní době se lepení jeví jako velice perspektivní a progresivní metoda, která se stává nedílnou technologií při stavbě karoserií automobilů.

Předností lepených spojů je jejich malá hmotnost, která právě přispěla k rozvoji lepených spojů v průmyslu, zejména v automobilovém průmyslu a to nejen tam, kde není možno z technologických důvodů využít svařované, nýtované nebo šroubované spoje. Požadavky výrobců automobilů na vlastnosti lepidel a lepených spojů jsou různé, přičemž rozhodující je především jejich použití. Z tohoto důvodu se provádí různé zkoušky s lepidly. Konkurence nutí jednotlivé výrobce hledat technologie, kterými by bylo možno odstranit nejen namáhavou práci lidí ale i zlevnit a zkvalitnit výrobu. Zavedení lepených spojů při výrobě automobilů přináší kromě lepší korozní odolnosti i menší výrobní tolerance a hladkost spojovaných ploch. Lepením se nesnižuje pevnost vlastního materiálu v místě spoje jako například při vrtání otvorů pro nýtování a šroubové spoje.

Technologie lepení se vyznačuje mnoha výhodami, ale i některými limitujícími činiteli. Při rozhodování o typu spoje je třeba zvážit přednosti a nedostatky této technologie ve srovnání s ostatními způsoby spojování. Nutno podotknout, že v současnosti se lepení stává nenahraditelnou technologií spojování v automobilovém průmyslu.

Cílem řešení bakalářské práce bylo zjišťování vlivu tloušťky vrstvy lepidla na pevnost lepeného spoje u vybraných lepidel a daných kovových substrátů používaných při stavbě karoserie automobilu s ohledem na specifické požadavky automobilového průmyslu na testování lepených spojů. Zadání bylo řešeno ve spolupráci se ŠKODA AUTO a.s. Mladá Boleslav s katedrou strojírenské technologie TU v Liberci.

Toto téma bylo vybráno též vzhledem k mé odborné praxi vykonávané ve ŠKODA AUTO a.s, v oddělení sériového plánování, kde jsem byl s problematikou lepení podrobněji seznámen vedoucím odborné praxe. Zajímala mne především otázka pevnosti lepených spojů a toto zadané téma bakalářské práce se s tématem shodovalo.

2. Teoretická část

2.1. Teorie lepených spojů [1, 2,11]

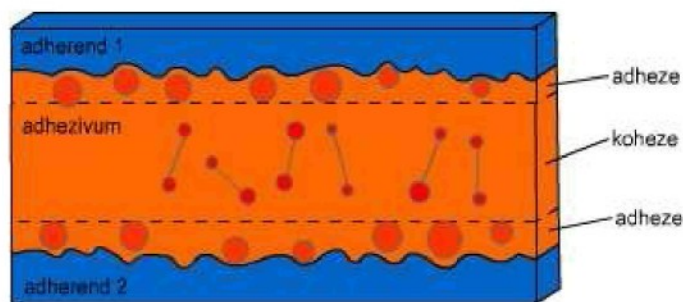
2.1.1. Lepený spoj

Lepení je spojování součástí v nerozebíratelný celek, kde lepený spoj může mít velkou, nebo naopak malou křivkovou či bodovou stykovou plochu. Právem se řadí mezi moderní trendy ve spojování pro svou jednoduchost a ekonomičnost.

K tomu, aby nám lepené spoje dobře sloužily, je důležité znát nejen vlastnosti lepidel a lepených materiálů, ale i způsob, jakým budou lepené materiály namáhány.

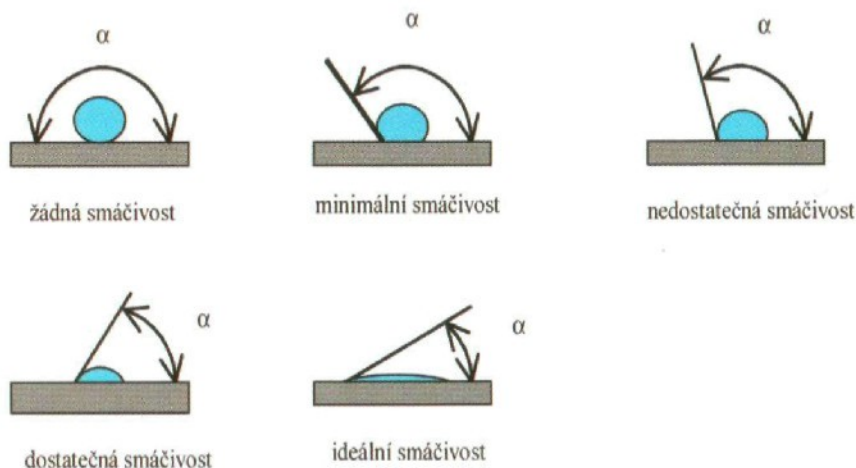
2.1.2. Teorie adheze a koheze [1, 2,11]

Vznik lepeného spoje se uskutečňuje vzájemným chemickým a fyzikálním působením adheziva (lepidla) a adherendu (spojovaného materiálu). Princip lepeného spoje spočívá na dvou nejdůležitějších činitelích a to na adhezi lepidla s lepeným povrchem a vlastní kohezi samotného lepidla, jak je znázorněno na obr.1. Adheze neboli přilnavost je přitažlivá síla lepidla na kontaktních površích materiálů. Základem adhezního jevu jsou fyzikální síly přitažlivosti a absorpce, které jsou popisovány jako síly Van der Waalsovy, které mají pro lepení zásadní význam. Vliv těchto mezimolekulárních sil je značně nižší, jestliže se lepidlo nedostane do těsného styku s povrchem lepeného materiálu např. vlivem relativní drsnosti jeho povrchu, způsobené jeho mechanickým opracováním. Je tedy nutné, aby lepidlo vniklo přímo do povrchových nerovností a smáčelo dokonale povrchy lepených ploch.



Obr. 1 Princip lepeného spoje

Pevnost lepeného spoje tak závisí jak na smáčení povrchu (pro dosažení co nejúplnějšího mezimolekulárního kontaktu), tak na přilnavosti.



Obr. 2 Smáčivost lepidel

Při daném povrchovém napětí lepidla závisí smáčení na povrchové energii lepeného materiálu a na viskozitě lepidla. Smáčení může být rovněž sníženo, jsou-li na povrchu znečištěná místa. Z tohoto důvodu je důležité věnovat úpravě povrchu před lepením velkou pozornost.

Způsob, jakým se lepidlo vlivem adheze přichytí na povrchu adherendu je dán dvěma způsoby, adhezí mechanickou a specifickou.

Mechanická adheze vzniká u pórovitých ploch s velkou drsností povrchu. Po ztuhnutí si lepidlo vytvoří mechanické můstky, které se pevně zakotví v pórech smáčeného materiálu a vytvoří s ním adhezní spojení. Typickým příkladem je lepení dřeva, pro lepení kovů má mechanická adheze jen nepatrný význam.

Mezimolekulární napětí, jenž vzniká na rozhraní lepidlo – kov, určuje tzv. specifickou adhezi. Podmínkou pro přilnutí lepidla na kov je přímý styk povrchu adherendu s lepidlem.

Dobře smáčivé jsou látky u nichž je elevační (krajový) úhel menší než 90° . Tento úhel určuje rozdíl povrchových napětí lepidla a vzduchu. Je-li rozdíl kladný, pak je elevační úhel ostrý a lepidlo dobře smáčí povrch viz obr. 2. Pokud je tomu naopak (rozdíl je záporný => úhel je tupý), pak lepidlo povrch nesmáčí viz. obr. 2). Povrchové napětí mezi kovem a lepidlem je vždy menší, než mezi vodou a kovem, proto bude-li dobrá smáčivost povrchu vodou, lze předpokládat, že s lepidlem tomu bude také tak.

Koheze neboli soudržnost určuje vlastní pevnost lepidla a je spojena s jeho tloušťkou. Tloušťka lepidla mezi adherendy není vždy stejná, lepidlo není namáháno jen na stykových plochách, ale také uvnitř sebe samotné. Velikost koheze udává tzv. kohezni energie, kterou je možno vyjádřit jako energii potřebnou k oddělení částice lepidla od ostatních. Skládá se z mezimolekulární přitažlivé Van der Waalsovy síly a síly vzájemného propletení řetězců molekul polymerů mezi sebou. Každý řetězec je tak pevný, jak pevný je jeho nejslabší článek. Adhezní a kohezni síly v lepeném spoji by měly být přibližně v rovnováze.

V procesu lepení, tedy při adhezním spojování dílů, se uplatňují fyzikální síly, chemické vazby a mezimolekulární síly. Adhezi jako jev vysvětluje řada teorií, tyto teorie se opírají o vztahy molekul a jejich vzájemné působení.

V současné době se nejčastěji citují následující teorie:

a) Molekulová teorie (adsorpční)

Dnes nejvíce přijímaná teorie adheze vychází z analogie jevu smáčení, adsorpce a adheze. Základem adheze je vzájemné působení molekul adherendu a adheziva (lepidla), proto je nevyhnutelné, aby oba druhy molekul měly polární funkční skupiny schopné vzájemného působení. Proces vzniku adhezního spoje lze rozdělit na dvě stadia:

- 1) transport molekul adheziva, k povrchu adherendu
- 2) vzájemné působení mezimolekulárních sil (Van der Waalsovy) po přiblížení molekul adheziva na vzdálenost menší než 0,5 nm. Tento proces trvá až do dosažení adsorpční rovnováhy. Za předpokladu dostatečného kontaktu adherendu a adheziva (na molekulární úrovni) postačují Van der Waalsovy síly vzhledem ke své vysoké četnosti a dobré pevnosti adhezního spojení. Příčina malé pevnosti adhezního spoje je spatřována především v omezeném kontaktu adherendu a adheziva, a proto úzce souvisí s dokonalostí smáčení povrchu adherendu adhezivem.

b) Elektrostatická teorie

Tato teorie předpokládá dvojitou vrstvu vytvořenou dotykem dvou rozličných substancí ve spoji jako základ pro vznik adheze. Podle toho je spoj kondenzátorem, jehož rozdílně nabitě desky se přitahují. Jakmile je oddělíme,

vzniklý potenciálový rozdíl se musí vybit nebo vyzářit jako elektronová emise. Při podrobnějších studiích však nebyla prokázána korelace mezi velikostí povrchového elektrostatického náboje a pevností odpovídajících adhezních spojení.

c) Mechanická teorie

Tato teorie vychází z představy, že po proniknutí kapalného adheziva do trhlin a kavit lepeného povrchu, dojde po ztuhnutí adheziva k jeho "zaklínění" v povrchu adherendu. Mechanické teorie adheze jsou užívány sporadicky jen ve specifických případech, jako je například adheze pryžových směsí k textilním vláknům, či výroba překližek.

d) Difúzní teorie

Podle této teorie pevnost spoje vzniká vzájemnou difúzí polymerů (nebo jiných materiálů) napříč rozhraním. Základem tohoto tvrzení je skutečnost, že některé látky (například polymery) mohou navzájem difundovat a průběh této difúze, který závisí především na čase, teplotě, viskozitě, relativní molekulové hmotnosti polymerů, kompatibilitě adherendu a adheziva pak ovlivňuje pevnost spoje. Tato teorie však nevysvětluje možnost spojení materiálů, které vzájemně nedifundují, ale úspěšně se lepí (např. sklo - kov). Adhezivní jevy není však možné vysvětlit jen pomocí této teorie.

e) Chemická teorie

Na získání pevného spoje touto teorií, který nebude vykazovat adhezivní, ale jen kohezivní lom musíme splnit určitou podmínku. Podmínkou je reakce spojovaných materiálů za vzniku primárních chemických vazeb napříč rozhraním. Vytváří se primární chemické (kovalentní) vazby. Takovéto vazby sice někdy vznikají, všeobecně však lepení probíhá v termodynamických podmínkách, které vznik chemických vazeb neumožňují. I když dojde ke vzniku těchto vazeb, nelze jednoznačně tvrdit, že zvyšují pevnost spoje, neboť snahy zavést do adheziv či adherendů reakceschopné funkční skupiny často nevedly ke zlepšení vlastností adhezivního spoje.

2.1.3. Požadavky na vlastnosti lepidel a lepených spojů [1, 2]

Požadavky stanovené na lepidla používaná v automobilovém průmyslu vycházejí jednak z nynější konstrukce a jednak z požadovaných vlastností

montážních dílů. Základním předpokladem je schopnost zahrnout postup lepení do stávajícího průběhu výroby automobilu.

Nejdůležitější výrobní požadavky kladené na lepidla:

- a) Podmínky zdraví – Obecným podkladem pro hodnocení lepidel je předpis o nebezpečných látkách
- b) Automatické zpracování v krátkých časových taktech – Za povšimnutí zde stojí aplikace pásů bez tvoření vláken. (Lepicí pásy provařitelné v nezatvrdlém stavu – bodové svařování).
- c) Přilnavost k naolejovanému povrchu – Olejování plechů se nelze z důvodů dočasné ochrany proti korozi před a během zhotovení zříci. Naolejování bývá obvykle 3 až 4 g/mm² a může být i podstatně více.
- d) Přilnavost k různým druhům plechů – Vedle nepokryvaných hlubokotažných ocelí se stále více prosazují plechy se zušlechtěným povrchem, zejména pozinkované žárově nebo elektrolyticky, především z důvodu efektivnější ochrany proti korozi. Plechy pozinkované žárově nacházejí uplatnění především v neviditelných místech karoserie, zatímco elektrolyticky pozinkované plechy na vnějších místech.
- e) Podmínky postupu lakování – lepidlo musí být přelakovatelné a odolné vůči následným procesům schnutí. Vytvrzování lepidel probíhá během schnutí základního nátěru v trvání asi 20 min. při teplotě okolo 190°C. Teplotní nebo časové výkyvy v rozsahu 10 až 20°C od dané hodnoty jsou běžné.

K dalším požadavkům kladeným na lepidla patří konstrukční požadavky:

- a) Mechanické vlastnosti lepidel – z hlediska konstrukce jsou obecně požadované takové charakteristiky lepidel, které popisují chování napětí – přetvoření, např. modul pružnosti nebo maximální pevnost. Smrštění objemu během tvrdnutí a následné ochlazení jako i protažení vlivem teploty, vedou k vnitřním napětím v lepidle. Způsobují tím prokreslení lepidla na povrchu lepené plochy a tedy i estetické vady na dílech vyráběného automobilu viditelné především po přelakování. Požadují se proto lepidla s malými součiniteli tepelné roztažnosti nebo s dostatečnou pružností.

- b) Trvanlivost vyšší než životnost vozu – Strukturální vlastnosti lepených spojů musí samozřejmě zůstat dodrženy i po uplynutí doby životnosti vozu. Tím se rozumí zejména pevnost a schopnost absorpce práce spárových zón. Provádějí se k tomu i časové testy, které vydávají srovnatelné výpovědi o trvanlivosti styků, především proti namáhání slanou vodou, srážkovou vodou, změnami podnebí a teploty v rozsahu -40°C do $+120^{\circ}\text{C}$.
- c) Provozní pevnost – Životnost u lepeného montážního dílu se provádí obvykle zkouškami provozní pevnosti, jako i zkouškami jízdy s ohledem na vlivy prostředí. Zkouší se tu lepidla v montážním dílu, která vydala ve srovnatelném časovém testu nejlepší výsledky.

2.2. Druhy lepidel [1, 2, 13]

Způsobů klasifikace lepidel je mnoho, ale žádný z nich sám o sobě nemůže být dostačující. Níže uvádím rozdělení lepidel podle literatury [13].

Rozpouštědlová lepidla na bázi plastů

Do této kategorie lepidel zařazujeme roztoky různých termoplastů v organických rozpouštědlech.

Lepidly se dají spojovat univerzálně nejrozličnější materiály a práce s nimi je neobyčejně rychlá. Nevýhodou je, že spoj nevyniká velkou pevností a neodolává zvýšené teplotě ani mechanickému namáhání. Další nevýhodou je, že lepidla obsahují hořlavá a zdravotně závadná rozpouštědla.

Jako základ těchto lepidel mohou být použity i polymery s mimořádně vysokou tepelnou odolností.

Kaučuková rozpouštědlová lepidla

Vyrábějí se z přírodního i syntetického kaučuku rozpouštěním v organických rozpouštědlech. Jedná se většinou o lepidla jednosložková.

Důležitou předností spojů je to, že vytvářejí pružné spoje a jsou vhodné pro lepení dvou rozdílných materiálů. Nevýhodou je toxicita výparů a hořlavost.

Lepidla na bázi syntetických pryskyřic

Lepidla na bázi syntetických pryskyřic jsou chemicky reaktivní bezrozpouštědlová lepidla. Pouze někdy obsahují kapalnou složku zlepšující tekutost pryskyřice. Přitom tato složka tvoří součást filmu lepidla a je reaktivní. Působením chemických sil vzniká spoj jako výsledek chemické reakce mezi složkami lepidla. Vytvořené spoje proto vynikají mimořádnou pevností a výbornou odolností proti působení tepla, povětrnostním vlivům, vlivu prostředí, chemikáliím a podobně.

Lepidla na bázi syntetických pryskyřic jsou zpravidla dvousložkové tj. pryskyřice a tvrdidlo. Mají vysokou smykovou pevnost, ale jsou bohužel křehké.

Typickým příkladem těchto lepidel jsou epoxidové pryskyřice. Vynikají mimořádnými vlastnostmi, zejména výbornou adhezí ke kovům, keramice a podobně. I tepelná odolnost epoxidů je velmi dobrá, snášejí tepelné zatížení až 160°C. Výborná je i mechanická pevnost, zejména smyková pevnost. Z elektrických vlastností vyniká zejména hodnota izolačního odporu a elektrické pevnosti. Také chemicky jsou epoxidy velmi odolné. Nová skupina vysoce účinných modifikovaných akrylátových strukturních lepidel je určena pro spojování široké řady kovů a to i bez zvláštní preparace lepených povrchů.

Další etapou ve vývoji těchto lepidel jsou lepidla chemicky blokováná. To jsou takové látky, které v důsledku své chemické povahy zjevně snadno reagují, přičemž průběh reakce je možné blokovat kontaktními inhibitory nebo vyloučením určitých chemických sloučenin.

Z řady novějších systémů jsou nejznámější kyanoakryláty. Kyanoakrylátová lepidla se používají jak v konečné fázi výroby, tak i při opravách a řemeslné práci pro lepení malých kovových ploch a plastů a to zvláště tam, kde není možno využít klasických metod jako letování a svařování.

Do skupiny reaktivních lepidel je možno zařadit i tzv. anaerobní lepidla, která zůstávají kapalná za přítomnosti vzduchu a po jeho odstranění tvrdnou. Jsou proto vhodná k jištění, těsnění a spojování kovových součástí. V současné době nové typy tepelně odolných lepidel vykazují malou závislost na teplotě.

Další hodnotnou skupinu lepidel představují epoxidonovolakové kopolymery. Odpovídají téměř všem požadavkům na konstrukční lepidla. Jsou silně adhezivní a kohezivní. Na druhé straně je k jejich vytvrzení potřeba vysoké teploty (100-200°C) a poměrně dlouhé doby, čímž se možnosti využití snižují.

Disperzní lepidla

Jako disperzní lepidla označujeme vodné disperze plastů nebo jejich směsi s přísadami. Použité přísady jsou ve vodě jak rozpustné tak i nerozpustné.

Tato lepidla jsou použitelná k lepení řady materiálů, přičemž však aspoň jeden musí být savý (dřevo, textil, beton a podobně). Lepený spoj je pevný a současně pružný.

Nevýhodou je, že pro nesavé povrchy se nehodí (sklo, kov, plasty atd.). Použití lepidla není vhodné tam, kde jsou zvýšené teploty, kde budou spoje ve styku s organickými rozpouštědly nebo trvale vystaveny mechanickému namáhání.

Tavná lepidla

Tavná lepidla se dodávají ve formě drobných kousků, granulí nebo prášku. Vkládají se mezi lepené plochy, které se zahřejí. Po ochlazení vzniká pevný spoj. Nevýhodou spoje je malá tepelná odolnost.

Nověji vedl požadavek na spojování velkoplošných částí k vývoji za horka tavitelných lepidel ve formě fólií. Tento způsob lepení má mnoho výhod. Neobsahují rozpouštědla, zaručují rovnoměrnou tloušťku filmu lepidla.

Kontaktní lepidla

Jako kontaktní lepidla označujeme lepidla, která tvoří spoj při pokojové teplotě po krátkém působení tlaku. Jejich adhezi způsobují hydrodynamické síly a dokonalé přizpůsobení se hladkému povrchu.

2.2.1. Epoxidová lepidla [1,2,8]

Vzhledem k zaměření mé bakalářské práce a typu použitých lepidel se vracím v samostatné kapitole k epoxidovým lepidlům.

Jedná se o skupinu lepidel, která je v mnoha směrech pokládána za velmi perspektivní. V současnosti jsou modifikovaná epoxidová lepidla v popředí konstrukčních lepidel pro spoje kovů, provozovaných do teplot kolem 150°C.

Dnes se vyrábí velké množství různých druhů epoxidových pryskyřic. Každý druh může mít podle délky řetězce molekul řadu typů, lišících se viskozitou, od nízkoviskózních kapalin až po tuhé látky s vysokou teplotou tání. Tak vzniká nepřehledné množství epoxidových lepidel. Mohou být dodávána jako

dvousložková i jednosložková. Pro vytvrzování při pokojové teplotě jsou voleny většinou dvousložkové systémy. Epoxidová lepidla určená pro práci při vyšších teplotách zpravidla vyžadují také vyšší vytvrzovací teploty a jsou křehčí než lepidla určená pro nižší teploty.

Podle účelu použití jsou to buď práškové hmoty, někdy slisované do tvaru tyčinek, jindy jsou to viskózní kapaliny, fólie bez nosiče i s nosičem nebo pasty. Podobně jsou i tvrdidla kapalná, práškovitá nebo pastovitá. Protože jsou epoxidové pryskyřice snášitelné s řadou jiných pryskyřic, dá se z nich připravit mnoho modifikací, z nichž většina poskytuje vyhovující pevnosti spojů ve značném rozmezí tloušťek vrstvy lepidla.

Dřívější malá pevnost epoxidových lepidel v odlupování byla dynamickým vývojem epoxidových lepidel vhodnými modifikacemi výrazně zvýšena. Tím se získávají vynikající konstrukční lepidla, používaná prakticky ve všech průmyslových odvětvích. Jejich velkou výhodou je, že k vytvrzení často nepotřebují tlak, takže většinou doporučený tlak 0,3 MPa slouží jen ke slícování lepených ploch a k jejich zajištění proti posunutí. Při vytvrzování se neuvolňují žádné zplodiny. Lepidla mají malou objemovou smrštivost, obvykle od 0,05 do 5%. Protože obsahují řadu polárních skupin, jako epoxidové, nitridové, hydroxylové, aminové a podobně, mají dobrou adhezi k řadě adherendů. Vysoká kohezní pevnost samotného lepidla často převyší pevnost lepeného adherendu.

Epoxidová lepidla modifikovaná vysokomolekulárními polyamidy jsou velmi houževnatá, mají dobré pevnosti v odlupování (a to i za mrazu), spoje snášejí trvale teplotu asi -100°C . Pro tato lepidla je typická velmi nízká viskozita a nízké povrchové napětí na začátku vytvrzování, které jsou příčinou, že se při spojování dobře přiléhajících rovnoběžných ploch v podstatě ani nemusí při vytvrzování používat tlak. Lepidla také dobře vyplňují spáry v důsledku dobré vztlakovosti. Epoxidová lepidla modifikovaná vysokomolekulárními polyamidy jsou náchylná k navlhavosti, pokud se do lepidla dostane vlhkost před vytvrzením, pak se během vytvrzování uvolní pára a vznikají póry. Odolnost vytvrzených spojů proti vlivu vlhkosti lze zvýšit použitím vhodného primeru.

2.2.2. Použití epoxidových lepidel [8]

Epoxidová lepidla se uplatňují v letectví jako vysoce kvalitní konstrukční lepidla, dobře spojují vyztužené a lehčené plasty, také pryže a dřeva. Podstatného uplatnění dosahují epoxidová lepidla v elektronice, stavebnictví a ve strojním průmyslu.

2.3. Lepené spoje ve stavbě karosérií

2.3.1. Specifické vlastnosti lepených spojů v automobilovém průmyslu [2]

Za jednu z největších oblastí využití techniky lepení je možno považovat zpracování plechů.

Lepení okrajů příruby a spodních výstelek se provádí již řadu let ve stavbě kostry. Mechanické zatížení těchto lepených spojů je však nízké. Bezpečnostní díly ocelové karoserie jako např. podélníky a příčníky nebo skupina pojezdového ústrojí se spojují výhradně svařováním.

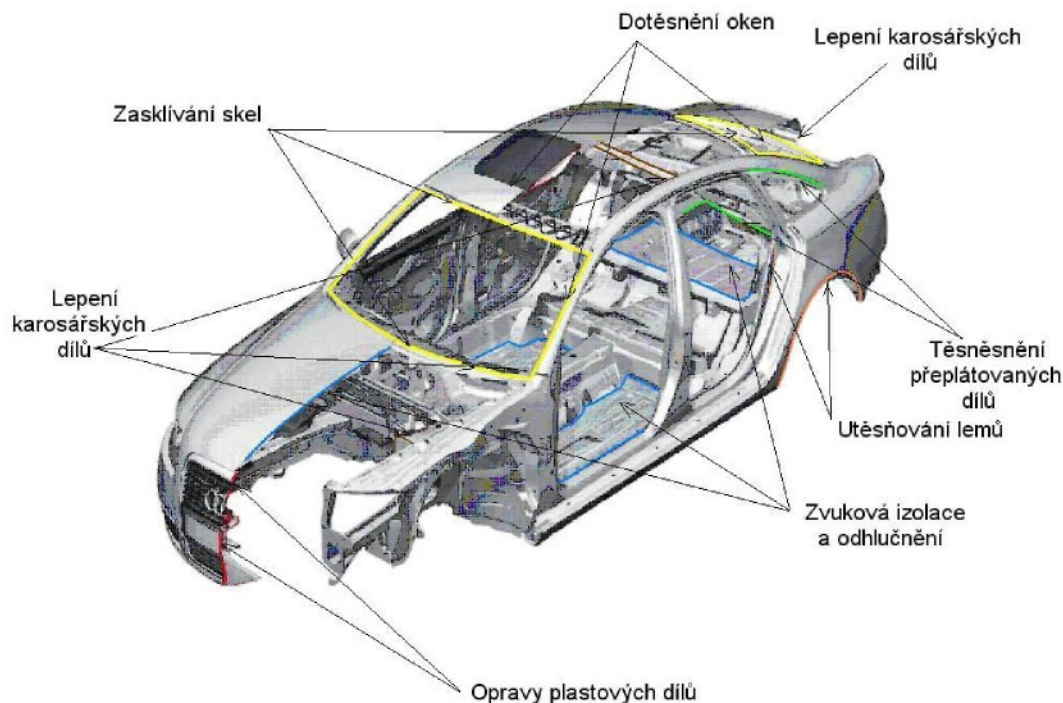
Protože spotřeba pohonných hmot je z velké části závislá na celkové hmotnosti vozu získává postupně na významu požadavek na lehkou konstrukci automobilu. Zároveň, ale musí být brány v potaz stoupající nároky na bezpečnost vozů, pohodlí jízdy nebo životnost a hospodárný způsob výroby.

Vzniká tedy snaha nasadit techniku lepení také pro vysoce náročné montážní díly kostry karoserie. Ve srovnání se současně používaným svařováním (odporové bodové svařování) se dosáhne technikou lepení těchto výhod:

- a) úspora hmotnosti snížením tloušťky plechů v důsledku využití plošších a tím i zlepšených materiálů, např. v kombinaci s bodovým svařováním
- b) zvýšení tuhosti montážních dílů v porovnání s bodovým svařováním na podkladě uzavřených spojovacích švů
- c) umožnění nového montážního postupu: Zahmutí vnějšího nosného pláště do nosné kostry, tzn. uzavření otevřených vyztužujících profilů vnějším pláštěm; spáry a místa, která nejsou vůbec nebo jen částečně dostupná pro bodové svařování
- d) ochrana proti korozi a tlumení kmitání spojovací vrstvou
- e) žádné poškození ochranné vrstvy pozinkovaných plechů
- f) malá průtažnost montážních dílů pro nízkou teplotu spár.

2.3.2. Aplikace lepidel v automobilovém průmyslu [1]

Jak bylo již v úvodu řečeno nachází lepení stále větší uplatnění v různých průmyslových odvětvích. Příkladem může být aplikace lepení v automobilovém průmyslu, obr. 3.



Obr.3 Příklad použití různých lepidel

Rozmanitost použití lepených spojů a lepidel v automobilové výrobě neumožňuje přesný a vyčerpávající popis, proto pro získání určité představy o aplikacích lepidel byly vybrány jen některé příklady.

Lepení frikčních materiálů

Lepení obložení brzd je dnes ve světě běžnou záležitostí. Lepené spoje mají zhruba tyto přednosti.:

- zvýšení účinnosti v důsledku zvětšení třecí plochy
- zvýšení účinnosti v důsledku lepšího odvodu tepla
- zvýšení životnosti obložení
- zlepšení kvality brzdových bubnů
- snížení výrobních nákladů a zrychlení výroby

Konstrukční lepené spoje karoserie

Důvody využití techniky lepení pro spojování částí karoserie lze odvodit z již dříve uvedených obecných charakteristik:

- plošné uchycení plechů zajišťuje karoserii větší pevnost a tuhost
- povrch spojovaných míst je zcela hladký, odpadájí nákladné operace začišťování
- spoje jsou těsné, není je třeba utěsňovat dodatečně, což platí i pro palivové nádrže
- těsnost spojů má pronikavý vliv na korozní odolnost karoserie, která dnes určuje životnost vozu
- vrstva lepidla je elektroizolant, při styku různých kovů nemůže dojít k elektrolytické korozi
- lepený spoj se vyrovnává integrální konstrukcí, mezi spojovanými plechy nemůže dojít k žádnému klepání a skřípání, což podstatně snižuje nežádoucí hlučnost karoserie
- u větších konstrukcí lze nalepením zabránit kmitání

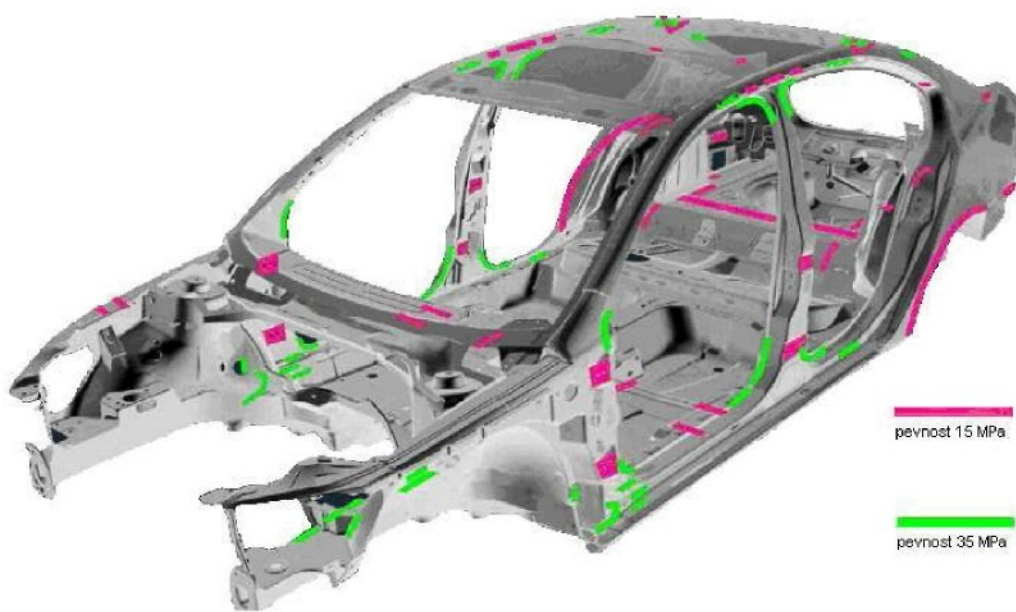
Jedním z hlavních požadavků na lepidla pro stavbu karosérií je schopnost lepit i mírně zamaštěné plochy a udržet se ve spoji i po průchodu běžně používanými lázněmi až do okamžiku vytvrzení s nátěrem karoserie.

Pro vytvoření kvalitního lepeného spoje je třeba zajistit optimální smáčivost lepidla se substrátem. U karosářských výlisků vyráběných z plechových svitků nebo tabulí je substrát nakonzervován z hutí konzervačním olejem, který se před vlastním lepením již neodstraňuje. Ten působí negativně na smáčivost lepidla. Všeobecně se dá říci, že maziva snižují smáčivost substrátu lepidlem, což negativně ovlivňuje proces lepení. Jelikož mazivo slouží jako ochrana plechů proti korozi a také zlepšuje tribologické podmínky při lisování je nutné zohlednit přítomnost maziva u lepených spojů. Dnešní lepidla musí zajistit dobrou smáčivost lepidel se substrátem i přes vrstvu maziva. Neustálým vývojem nových lepidel a zlepšování jejich vlastností se snižuje citlivost lepidla na přítomné množství maziva v lepeném spoji.

Technika konstrukčního lepení karoserie se uplatnila i u krytů motorů a zavazadlového prostoru, při výrobě dveří a střech karosérií. Lepené díly jsou obvykle zajištěny zalemováním nebo prostým přehnutím rohů, pojištěným

bodovými svary. Pro konstrukční lepené spoje karoserie dnes přecházíme ve větší míře z plastizolů na použití lepidel na bázi epoxidových pryskyřic.

Na obr. 4 jsou znázorněna a barevně odlišena dle pevnosti místa použití epoxidových lepidel na karoserii automobilu.



Obr.4 Příklad umístění epoxidových lepidel na karoserii vozu

S přihlédnutím k technologickému postupu výroby automobilu se aplikují lepidla a tmely nejen ve svařovně, ale i v lakovně.

Tmelení karoserie

Můžeme ho rozdělit na tmelení vnitřních bodově svařovaných spojů, které nejsou přímo vystaveny slunci a povětrnosti a na tmelení vnějších spojů, které musí být pro lakování hladké, zároveň snášet vlivy povětrnosti a slunce a zejména vytvořit takové spoje, které by po nanesení nátěrových systémů neměly sklon k praskání, vytváření map atd. Moderní tmely pro vnitřní prostory se nanášejí bezvzduchovými pistolemi, nepotřebují zabrušování a vytvrzují se obvykle spolu s nátěrovými systémy, se kterými se musí dobře snášet. Základem těchto polymerů je často pryž. Takové tmely plní zároveň i funkci antivibračních a protikorozních povlaků.

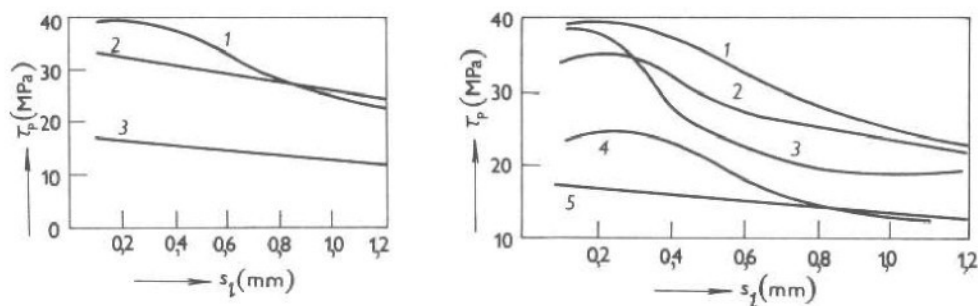
Lepení okenních skel

Pomocí lepidla dojde k integrálnímu spojení skla a karosérie, a to bez použití patek nebo vnitřních výlisků. Lepidlo eliminuje i jisté nepřesnosti, které vzniknou při výrobě. Vlepováním skel se významně zlepšuje tuhost spoje i celého skeletu. Lepený spoj navíc odolává povětrnostním vlivům a vibracím. Zlepšuje se též vzhled vozu. Při výměně skla pak stačí odstranit staré lepidlo a nanést nové.

Nejčastěji se používají polyuretanová lepidla, buď jednosložkové nebo dvousložkové, které se vytvrzují atmosférickou vlhkostí. Sklo při vlepu do karosérie vytváří celistvý pevný skelet, tudíž lepidlo musí mít odpovídající vlastnosti v celém spektru teplot, ve kterých se může automobil pohybovat, a to po celou jeho životnost.

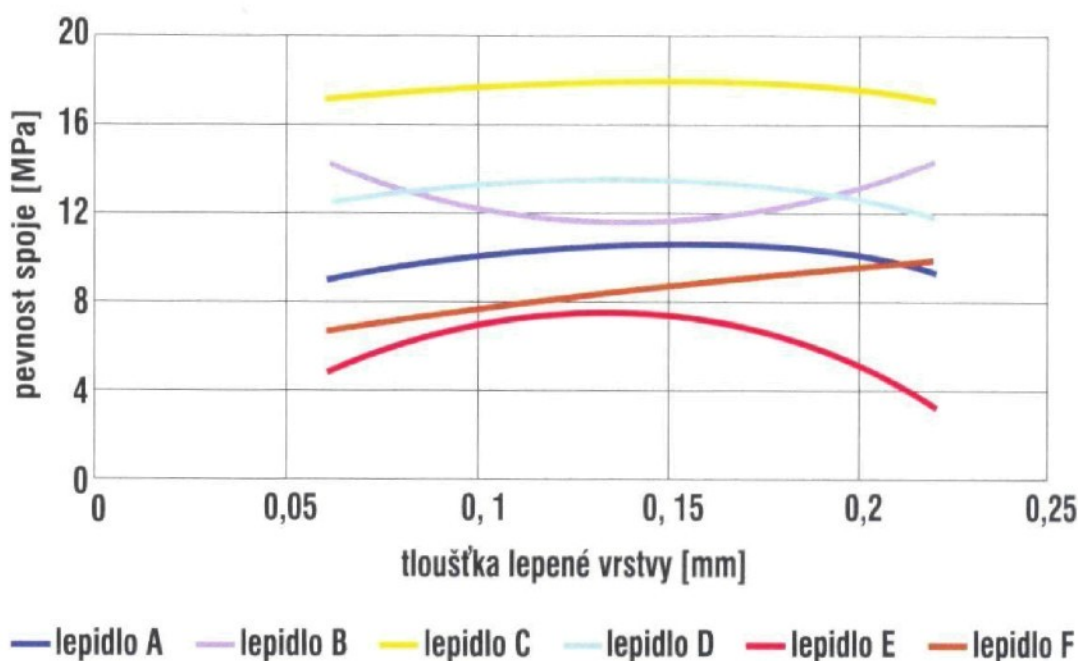
2.4. Ovlivnění pevnosti tloušťkou vrstvy lepidla [1,3]

Pevnost ve smyku může být ovlivněna i tloušťkou vrstvy lepidla, jak je vidět z obr. 5. Předpokládáme-li, že lepidlo musí svými deformacemi sledovat deformace adherendu, by se dalo odvodit, že na koncích překlápání, kde dojde k poměrně velkému protažení lepidla, by mělo být lepidlo v tlustší vrstvě méně zatěžováno než v případě, kdy je vrstva lepidla tenká. Při větší tloušťce vrstvy lepidla by pak měly být na koncích překlápání menší špičky napětí, a tím by měla stoupnout pevnost spoje ve smyku. To nesouhlasí s obr. 5, kde pevnost ve smyku se stoupající tloušťkou vrstvy lepidla klesá. Vysvětlení by mohlo být ve vyztužujícím vlivu mezifázového rozhraní lepidlo-adherend, kde se zřejmě uplatňují větší adhezní síly proti kohezním silám uvnitř vrstvy lepidla. Při pohledu na výsledky mnohaletých zkoušek s různými lepidly je skutečností, že u dobrých spojů naprosto převládají kohezní poruchy nad poruchami adhezními. Pokud je představa o vyztužujícím vlivu mezifázového rozhraní správná, pak je pravděpodobné, že se u tenčí vrstvy lepidla uplatňuje více a může vést ke zvýšení pevnosti lepených spojů. U tenčí vrstvy lepidla je i menší pravděpodobnost chybných míst v kvalitě lepení a menší smrštění, což může rovněž přispět ke zvýšení pevnosti spoje. Z uvedeného vyplývá, že vrstva lepidla musí být tenká. Pro každé lepidlo existuje optimální tloušťka, která je funkcí nanášeného množství lepidla a vytvrzovacích podmínek. Při jejím dodržení jsou zaručeny pevnosti spojů.



Obr. 5. Závislost tloušťky vrstvy lepidla na pevnost lepeného spoje
 (s_l je tloušťka vrstvy lepidla τ_p je smyková pevnost)

Na vliv tloušťky vrstvy lepidla poukazují také závěry práce řešení grantu [3] (Faktory ovlivňující pevnost lepeného spoje), kdy při zkouškách 6ti druhů epoxidových lepidel vyšla optimální pevnost u většiny lepených spojů při tloušťkách lepidla mezi 0,1 až 0,16 mm, ale také výsledky ukazují, že průběh závislosti na tloušťce může být u různých lepidel odlišný viz obr. č. 6. Nelze tedy jednoznačně stanovit optimální tloušťku vrstvy lepidla, která by byla univerzálně použita pro všechna epoxidová lepidla.



Obr.č.6 Graf vlivu tloušťky vrstvy lepidla na pevnost lepeného spoje epoxidových lepidel

2.5. Hodnocení lepeného spoje [2]

Při zkoušení spojů se rozlišuje, zda jsou fyzikálně definované veličiny měřitelné na předložených materiálech nebo zda má být zjištěno komplexní chování při namáhání (například pevnost lepeného spoje). Zatímco v první řadě se používají fyzikální zkušební metody, tak ve druhém případě se jedná o technologické zkoušky, pomocí nichž můžeme popsat namáhání lepených spojů v praxi.

Po zhotovení lepeného spoje se zkouší hlavně pevnost a ostatní mechanické vlastnosti. Tyto vlastnosti závisí od konstrukce a tvaru spoje, od materiálů, ze kterých se spoj skládá, od směru, způsobu a velikosti namáhání. Z uvedeného vyplývá, že zkoušek mechanických vlastností je hodně a ve své práci je uvádím pouze informativně.

2.5.1. Rozdělení zkoušek [1,2,5]

V praxi se zkoušky mechanických vlastností rozlišují na dvě hlavní skupiny

- destruktivní
- nedestruktivní

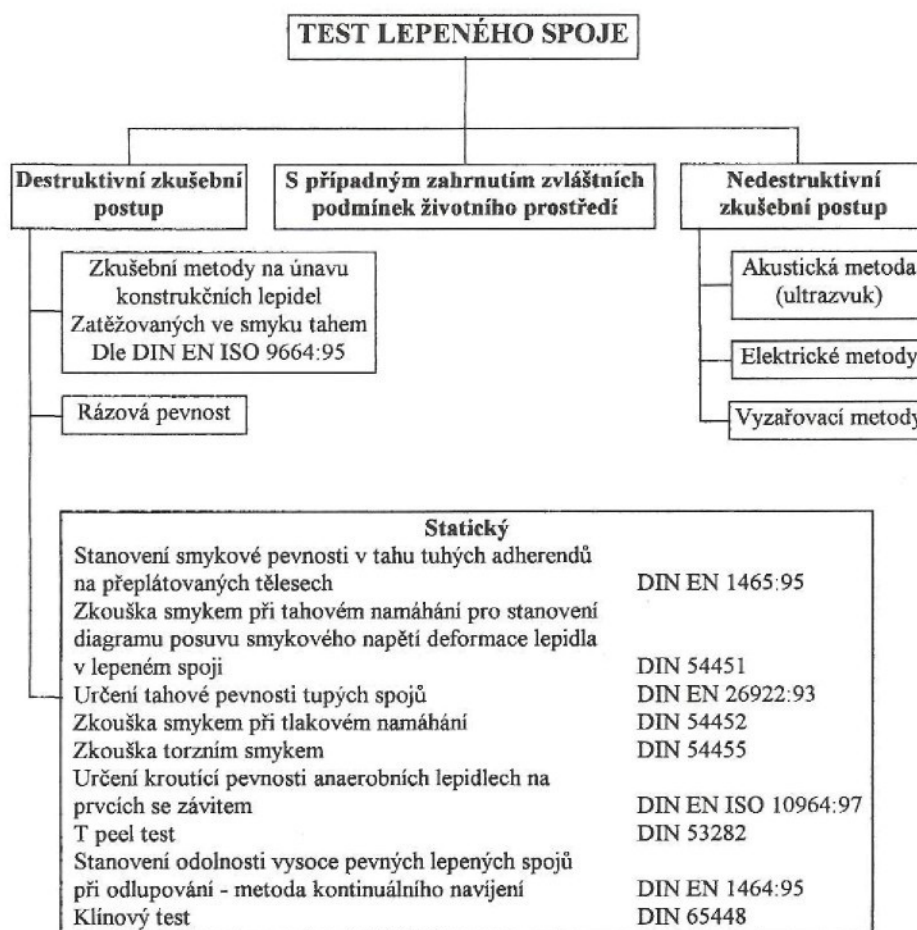
Destruktivní zkoušky se nejvýhodněji rozdělují do skupin dle charakteru zkoušek na metody:

- nerovnoměrného odtrhnutí (zkoušky spoje tuhých materiálů a zkoušky spojů, ve kterých je aspoň jeden substrát ohybný, respektive pružný)
- rovnoměrného odtrhnutí (zkoušky systému guma-kov, plast-kov, případně jiné kombinace)
- s využitím napětí ve smyku

Princip zatížením ve smyku se využívá při zkoušce pevnosti tuhých spojů překrývanými spoji. Smykové napětí působí v rovině spoje a vzniká při namáhání tahem, tlakem. Tato metoda se uplatňuje hlavně na plošné spoje.

K destruktivním zkouškám dále patří i únavové zkoušky.

Nejdůležitější rozdělení zkoušek lepených spojů je shrnuto na obr .7.



Obr. 7 Rozdělení zkoušení lepených spojů

Poznámka:

Testování lepených spojů probíhá před i po korozním zatížení. Po korozním zatížení se zkoušky provádějí dle norem VW PV 12.10, VDA621-415 a DIN 50021

3. Experimentální část

3.1. Zaměření a cíl práce

Cílem provedených laboratorních experimentů bylo stanovení průběhu závislosti smykové pevnosti lepeného spoje na tloušťce lepené vrstvy vybraných epoxidových lepidel. K experimentálnímu posouzení vlivu tloušťky lepidla na pevnost byly provedeny zkoušky dle normy VW PV12.05 (Lepidla. Určení smykové pevnosti v tahu pro strukturní lepidla). Tato norma zahrnuje specifické požadavky na testování lepených spojů v automobilovém průmyslu.

Posuzovány byly dva typy epoxidových lepidel a to Betamate 1040 a Betamate 5103-2, která se používají na strukturní spoje na karoserii automobilů. Většinou se jedná o lemové spoje, u kterých se vzhledem ke konstrukci spoje pohybuje tloušťka vrstvy lepidla nejčastěji v rozmezí 0,2 až 0,6 mm. Pro experiment jsem zvolil rozsah tloušťek vrstvy lepidla 0,2 až 1,2 mm, proto aby se zjistila závislost smykové pevnosti jak pro běžné tloušťky tak i pro méně příznivé rozměrové parametry lepeného spoje, které by v krajním případě mohly nastat.

Pro testování byly v rámci experimentu použity základních typy plechů a běžné mazivo používané v automobilovém průmyslu pro stavbu karoserií automobilu.

3.2 Volba metodiky zkoušení a parametrů vytvrzování lepených spojů

Volba metodiky zkoušení a parametrů vytvrzování lepených spojů byla ovlivněna zadaným tématem mé bakalářské práce, které bylo konzultováno s oddělením vývoje a výroby ve Škoda AUTO a.s. Vzhledem k případnému využití mé bakalářské práce v praxi ve ŠKODA AUTO a.s. jsem zvolil koncernovou normu VW PV 12.05 - stanovení smykové pevnosti v tahu, která je platná v celém koncernu VW.

Tato norma (viz, příloha 1) stanovuje rozměry zkušebních substrátů, množství maziva, délku vytvrzování a teplotu vlastního vytvrzení. Simuluje namáhání lepeného spoje v praxi (to je smyková pevnost, která je důležitým

faktorem lepeného spoje) včetně simulace vytvrzování, které je obdobné technologickému postupu ve výrobě automobilů, kde vytvrzování probíhá v tzv. „sušárnách“ v prostorách lakoven při sušení první vrstvy katoforézně nanášeného laku.

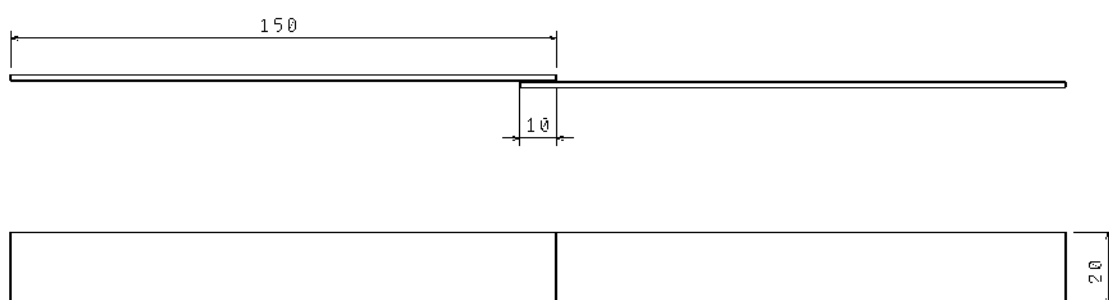
Na základě normy VW PV 12.05 a dle kritérií Škoda Auto a.s. byly zvoleny tyto podmínky vytvrzování: objektová teplota 180 °C po dobu 20 minut.

3.2.1. Stanovení smykové pevnosti při zatěžování v tahu dle normy VW PV 12.05

Při tahovém namáhání vzorku dochází k působení sil ve směru jeho podélné osy. Vlivem přesazení plechů vzniká ohybové napětí, které namáhá lepenou vrstvu na tah, dochází tedy ke kombinovanému namáhání vzorku. Norma PV 12.05 tuto skutečnost předpokládá a pevnost ve smyku, toto přídatné ohybové napětí již v sobě zahrnuje.

Pro zjištění hodnot pevnosti ve smyku bylo nutné zjistit sílu potřebnou k roztržení jednotlivých vzorků. K tomuto účelu posloužilo statické trhací zařízení TIRAtest 2300 s použitím tenzorové měřicí hlavy o rozsahu 0 až 10 kN. Pomocí software Labtest v 3.11 bylo možno přímo určit napětí ve smyku.

Pro každou tloušťku i každé lepidlo byly zhotoveny čtyři zkušební vzorky. Tvar a rozměry vzorků jsou patrné z obr. 8. (rozměry v mm)



Obr. 8 Tvar zkušebních vzorků dle PV 12.05

Pevnost ve smyku τ [MPa] se počítá podle vztahu (1)

$$\tau = \frac{F_{MAX}}{S} \quad (1)$$

kde: τ je pevnost ve smyku při zkoušce tahem [MPa]
 F_{MAX} je maximální tahová síla působící na lepený spoj [N]
 S je plocha lepeného spoje [mm²]

Střední hodnota smykové pevnosti je vypočtena podle vztahu (2). Ke každému průměru je dopočítána směrodatná odchylka s podle vztahu (3).

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (2)$$

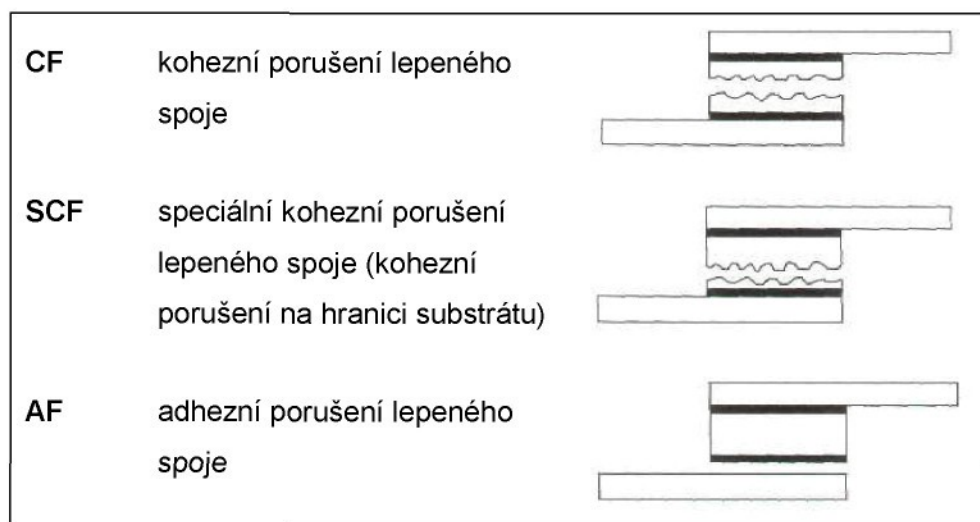
kde: x je aritmetický průměr smykové pevnosti,
 n je počet měření ($n = 4$),
 x_i je měřená hodnota každého zkušebního vzorku

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (3)$$

kde: x_i je měřená hodnota každého zkušebního vzorku
 x je aritmetický průměr
 n je počet měření

3.3. Vyhodnocení typů porušení lepeného spoje

Norma ČSN ISO 10365 popisuje všechny důležité typy porušení lepeného spoje, které mohou nastat [13]. Zkouška jednoznačně neurčuje použití lepidel ani substrátů, lze ji tedy použít univerzálně. Hlavní typy porušení, a jejich označení jsou zobrazeny na obr. 9.



Obr. 9 Hlavní typy porušení u lepených spojů

Kohezní porušení lepeného spoje (CF), je porušení v lepidle nebo naopak v substrátu. Adhezní porušení (AF) je porušení na rozhraní lepidlo / substrát.

3.4. Použité materiály

3.4.1. Použitá lepidla

BETAMATE 5103-2 je jednosložkové pastovité, tepelně vytvrzované lepidlo na epoxidové bázi. Lze ho snadno čerpat a vytlačovat při běžné okolní teplotě. Vykazuje vynikající přilnavost k ocelovým dílům automobilů, včetně povrchově upravených, je odolné proti degradaci, korozi a stárnutí. Přípravek je slučitelný a vhodný pro použití při elektrostatických procesech nanášení nátěrových hmot.

BETAMATE 1040 je jednosložkové epoxidové lepidlo pro karoserie. Lepidlo se využívá ke zvýšení životnosti a odolnosti při nárazu karosérie.

Lepidlo má výborné vlastnosti pro automobilovou ocel včetně lakovaných ocelí

- zvyšuje tuhost a stabilitu karoserie
- vysoká trvanlivost lepených spojů (životnost lepidla)
- chrání proti korozi
- kompatibilní s ostatními mechanickými nebo tepelnými spoji
- odolný proti vodě

Materiál se při okolní teplotě snadno čerpá. Vykazuje vynikající přilnavost k automobilové oceli, včetně povlakových ocelí, je odolné proti degradaci a

substrátové korozi při venkovním stárnutí. Výrobek je přetvrditelný indukci a kompatibilní s elektrostatickým nanášením laků.

3.4.2. Použité mazivo

Pro experiment bylo zvoleno mazivo typu Prelude konkrétně Anticorit PL 3802-39 S, to znamená ochranný antikorozní olej i tvářecí mazivo pro tváření.

3.4.3. Použitý základní materiál (substrát)

Pro experimentální zkoušky byl vybírán jako substrát jeden ze dvou základních typů plechů používaných v automobilovém průmyslu pro stavbu karoserií automobilů. Jedná se o ocelové plechy s povlakem na bázi zinku, kde zinek tvoří ochrannou vrstvu zabraňující korozi. Dle způsobu vytváření této ochranné vrstvy rozeznáváme jednotlivé typy plechů:

- plechy typu EG – ocelový hlubokotažný plech s ochrannou vrstvou zinku, nanesenou na povrch plechu elektrolytickým (galvanickým) způsobem
- plechy typu HDG – ocelový hlubokotažný plech s ochrannou povrchovou vrstvou zinku nanesenou na povrch plechu žárově (ponořením plechu do roztavené zinkové lázně).

Pro experimentální část byl vybrán plech typu HDG o tloušťce 1,5mm

3.5. Příprava vzorků

Metodika přípravy typů vzorků byla navržena dle provedených konzultací s oddělením vývoje Škody Auto a.s. Mladá Boleslav. Dále byla tato metodika přípravy vzorků upřesněna ve spolupráci se sériovým plánováním Škody Auto a.s.

Tato metodika přípravy vzorků nebyla vybrána náhodně, ale účelově s ohledem na další konkrétní použití lepeného spoje v automobilovém průmyslu,

kde byly zohledněny podmínky dané použitím v praxi. Hlavně určuje nanášení vrstvy maziva na substráty, prodlevy mezi jednotlivými operacemi vytváření lepeného spoje a podmínky pro vytvrzování lepidel během kataforézního nanášení a sušení základního laku na karoserii.

a) Nastříhání plechů na vzorky:

Vzorky byly nastříhány z plechu o tloušťce 1,5mm na tabulových nůžkách na rozměry 150 ± 1 mm a šířku: $20 \pm 0,2$ mm, které jsou dány normou pro zkoušku pevnosti ve smyku VW PV 12.05. Po nastříhání vzorků byly odstraněny ostříhy z okraje plechů z důvodů kvalitního spojení substrátů.

b) Označení kovových vzorků:

Na vzorky byly vyraženy dvě číslice, kde první udává druh lepidla a druhá určuje tloušťku lepidla. Viz obr. 10

První číslice :	1	lepidlo Betamate 5103-2
	2	lepidlo Betamate 1040
Druhá číslice	1	tloušťka lepidla 0,2 mm
	2	tloušťka lepidla 0,4 mm
	3	tloušťka lepidla 0,6 mm
	4	tloušťka lepidla 0,8 mm
	5	tloušťka lepidla 1,0 mm
	6	tloušťka lepidla 1,2 mm

Zároveň byly vzorky pomocí přípravku orýsovány ve vzdálenosti 10 mm pro snadnější zhotovení budoucího přeplátování a slepení substrátů právě na této vzdálenosti. Viz obr. 10



Obr. 10 Oražení a orýsování vzorků

c) Odmaštění plechů:

Nejprve byly vzorky očištěny suchou bavlněnou tkaninou a potom namočený do acetonu a opět čistou tkaninou očištěny viz obr. 11, aby bylo dokonale odstraněno konzervační mazivo, které je nanášeno k ošetření plechu při skladování svitků a tabulí v hutích.

K odmaštění byl vybrán aceton z důvodů krátkého časového intervalu mezi přípravou vzorků a vlastních trhacích zkoušek. Práce s ním je rychlá a snadná, dále i jeho odmašťovací účinek je pro tyto účely dostačující. Vliv zbytkového oleje ($0,2 \text{ g/m}^2$) na naměřené hodnoty je minimální.



Obr. 11 Odmaštění vzorků

d) Vlastní výroba vzorků

1) Nanesení požadované vrstvy maziva:

Nanesení maziva bylo provedeno manuálně na katedře strojírenské technologie. Pro experimentální měření bylo mazivo ANTICORIT PL 3802–39S naneseno v množství 3 g/m^2 . Následně byly vzorky ponechány ve vodorovné poloze a jednu hodinu po aplikaci maziva se kondicionovaly, tím byl zajištěn rovnoměrný film maziva po celé ploše.

2) Vytvoření lepeného spoje:

Na vzorky bylo naneseno lepidlo ve formě tzv. housenky. Do ní se následně vložily distanční drátky v požadovaných tloušťkách: 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 a 1,2 mm pro přesné nastavení tloušťky lepeného spoje. Viz obr. 12. Následně byly vzorky sesazeny přeplátováním a zajištěny svorkami. Tím byly vzorky připraveny k vytvrzení. Viz obr. 13.



Obr. 12 Nanesená housenka a vložení distančních drátků



Obr. 13 Sesazení vzorků a zajištění svorkami

3) Prodleva:

Při procesu lepení v praxi není lepený spoj vytvrzen ihned po slepení. Prodleva způsobená například jinými technologickými operacemi trvá přibližně jednu hodinu, proto se vzorky nechaly stejnou dobu před vytvrzením odležet. Tato doba také lepidlu umožňuje částečně absorbovat nanesené mazivo. Po uplynutí jedné hodiny následovalo vytvrzení v jedné vsázce.

4) Vytvrzení:

Vlastní vytvrzení proběhlo v sušárně Venticell 222 od firmy BMT umístěné na katedře strojírenské technologie viz. obr. 14. Podmínky vytvrzování odpovídaly podmínkám, které jsou při technologii lepení dodržované v průmyslové praxi. Průběh teploty v sušárně byl nastaven tak, aby byla dodržena objektová teplota vytvrzování 180°C po dobu 20 minut. Náběh na vytvrzovací teplotu trval 15 minut a celková doba, po kterou byly vzorky v sušárně, byla tedy 35 minut.



Obr. 14 Sušárna Venticell 222

5) Chladnutí:

Po vyjmutí vzorků ze sušárny následovalo jejich zchladnutí při laboratorní teplotě a po té sejmutí fixačních svorek. Viz obr. 15.



Obr. 15 Vzorek po vychladnutí a sejmutí fixačních svorek

e) Trhání vzorků

Smykové zkoušky připravených vzorků (trhání vzorků) byly provedeny po 24 hodinách po vytvrzení na trhačím zařízení TIRAtest 2300 s použitím čelistí o rozsahu síly 0 až 10 kN. Viz obr.16. Kondicionování a zkoušky vzorků proběhly za standardních laboratorních podmínek.



Obr. 16 Trhačí zařízení TIRAtest 2300

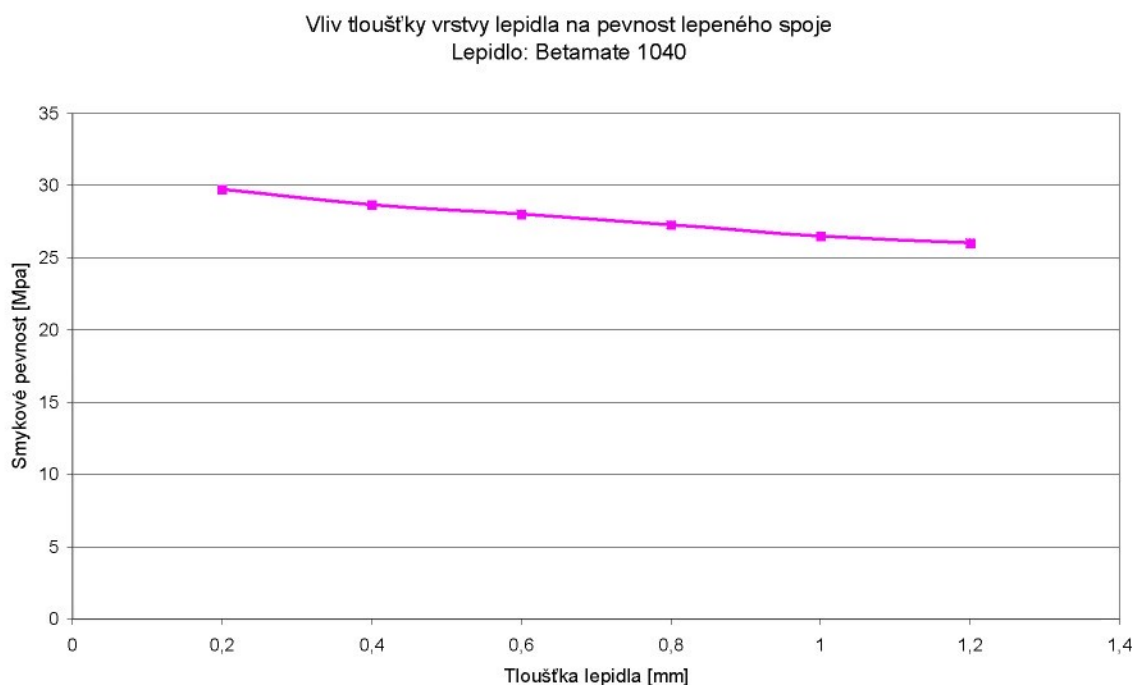
4. Vyhodnocení výsledků

4.1. Vyhodnocení výsledků experimentální části

V tabulkách 1 a 2 jsou uvedeny výsledky experimentálních měření, aritmetické průměry hodnot smykové pevnosti v tahu v závislosti na tloušťce lepidla a jejich směrodatné odchylky. Graficky zachyceno na obrázcích 17 a 18.

Tab. 1 Tabulka naměřených hodnot: tloušťka lepidla/smykové napětí (BETAMATE 1040)

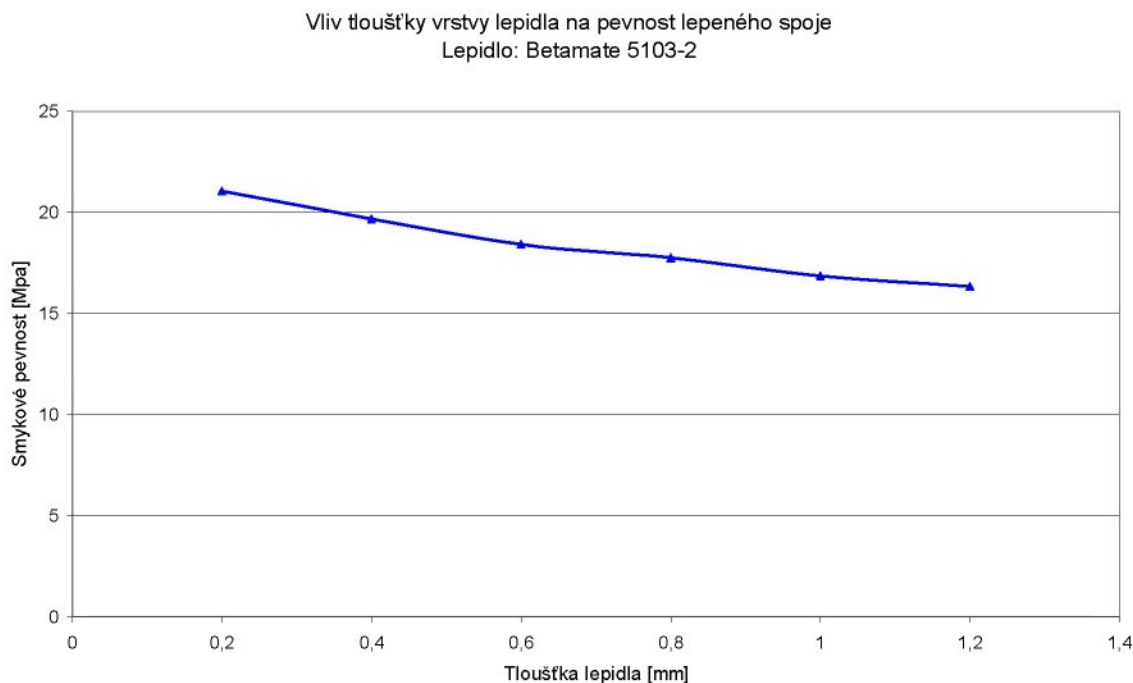
Závislost smykové pevnosti na tloušťce lepidla - BETAMATE 1040						
Tloušťka vrstvy lepidla (mm)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
Smyková pevnost (MPa)	29,75	28,67	28,04	27,29	26,51	26,02
Směrodatná odchylka (MPa)	0,29	0,26	0,35	0,25	0,28	0,30



Obr. 17 Vliv tloušťky vrstvy lepidla na pevnost lepeného spoje. Lepidlo Betamate 1040

Tab. 2 Tabulka naměřených hodnot: tloušťka lepidla/smykové napětí (BETAMATE 5103-2)

Závislost smykové pevnosti na tloušťce lepidla - BETAMATE 5103-2						
Tloušťka vrstvy lepidla (mm)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
Smyková pevnost (MPa)	21,05	19,68	18,42	17,76	16,85	16,35
Směrodatná odchylka (MPa)	0,26	0,33	0,32	0,31	0,29	0,26



Obr. 18 Vliv tloušťky vrstvy lepidla na pevnost lepeného spoje. Lepidlo Betamate 5103-2

Pro zkoušku pevnosti lepených spojů ve smyku při zatěžování v tahu dle normy VW PV 12.05 byly zjištěny tyto výsledky:

Křivka hodnot smykového napětí v daném rozsahu 0,2 mm až 1,2 mm vykazovala klesající tendenci u obou zkoušených lepidel a to od hodnoty tloušťky lepidla 0,2 mm k nejnižší hodnotě při tloušťce lepidla 1,2 mm. Dále lze říci, že křivka poklesu pevnosti u obou lepidel má téměř lineární závislost v daném rozmezí tloušťky lepidla.

U lepidla Betamate 1040 byla v zadaném rozsahu (0,2mm až 1,2mm) naměřena největší hodnota pevnosti ve smyku 29,75 MPa při tloušťce lepidla 0,2 mm tj. při nejtenčí testované vrstvě lepidla u zkoušených vzorků, nejmenší hodnota pevnosti ve smyku 26,02 MPa při tloušťce vrstvy lepidla 1,2 mm.

U lepidla Betamate 5301-2 byla v daném rozsahu tlouštěk 0,2mm až 1,2mm naměřena největší hodnota pevnosti ve smyku 21,05 MPa opět při tloušťce lepidla 0,2 mm, nejmenší hodnota pevnosti ve smyku 16,35 MPa při tloušťce vrstvy lepidla 1,2 mm.

Vyhodnocením typu porušení lepeného spoje bylo zjištěno, že všechny vzorky byly porušeny speciálním kohezním porušením lepeného spoje (kohezní porušení na hranici substrátu). Takzvaný 100%-ní SCF. Viz obr. 19.



Obr. 19. Typ porušení lepeného spoje SCF

5. Diskuse výsledků

Z naměřených výsledků a sestaveného grafu viz obr. 20 lze konstatovat:

- a) potvrzuje se předpokládaná klesající závislost pevnosti lepeného spoje se vzrůstající tloušťkou vrstvy lepidla (viz kapitola 2.4.)
- b) ukazuje se rozdíl v pevnostních charakteristikách obou lepidel

U strukturních lepidel se ve stavbě karosérií vyskytují nejčastěji tloušťky 0,2 až 0,6 mm. V tomto rozmezí byl měřením zjištěn následující pokles pevnosti:

5,75% u Betamate 1040

12,5% u Betamate 5103-2

Celkový pokles pevnosti v celém testovaném rozsahu tloušťky vrstvy lepidla tj. 0,2 až 1,2 mm činí

12,5% pro Betamate 1040

22,3% pro Betamate 5103-2

Hodnoty $\Delta\tau_1$ a $\Delta\tau_2$ jsou rozdílem maximální a minimální smykové pevnosti v rozsahu tloušťky vrstvy lepidla 0,2 až 0,6 mm (obvyklé použití v automobilovém průmyslu), kde index 1 je pro lepidlo Betamate 1040 a index 2 je pro lepidlo Betamate 5103-2.

Hodnoty $\Delta\tau_{c1}$ a $\Delta\tau_{c2}$ jsou rozdílem maximální a minimální smykové pevnosti v rozsahu tloušťky vrstvy lepidla 0,2 až 1,2 mm, kde písmeno c v indexu značí celkový rozsah a číslice druh lepidla: index c1 je tedy pro lepidlo Betamate 1040 a index c2 je pro lepidlo Betamate 5103-2.

Z tabulek 1 a 2 a z grafu viz obr. 20 rozdíly naměřených hodnot smykové pevnosti:

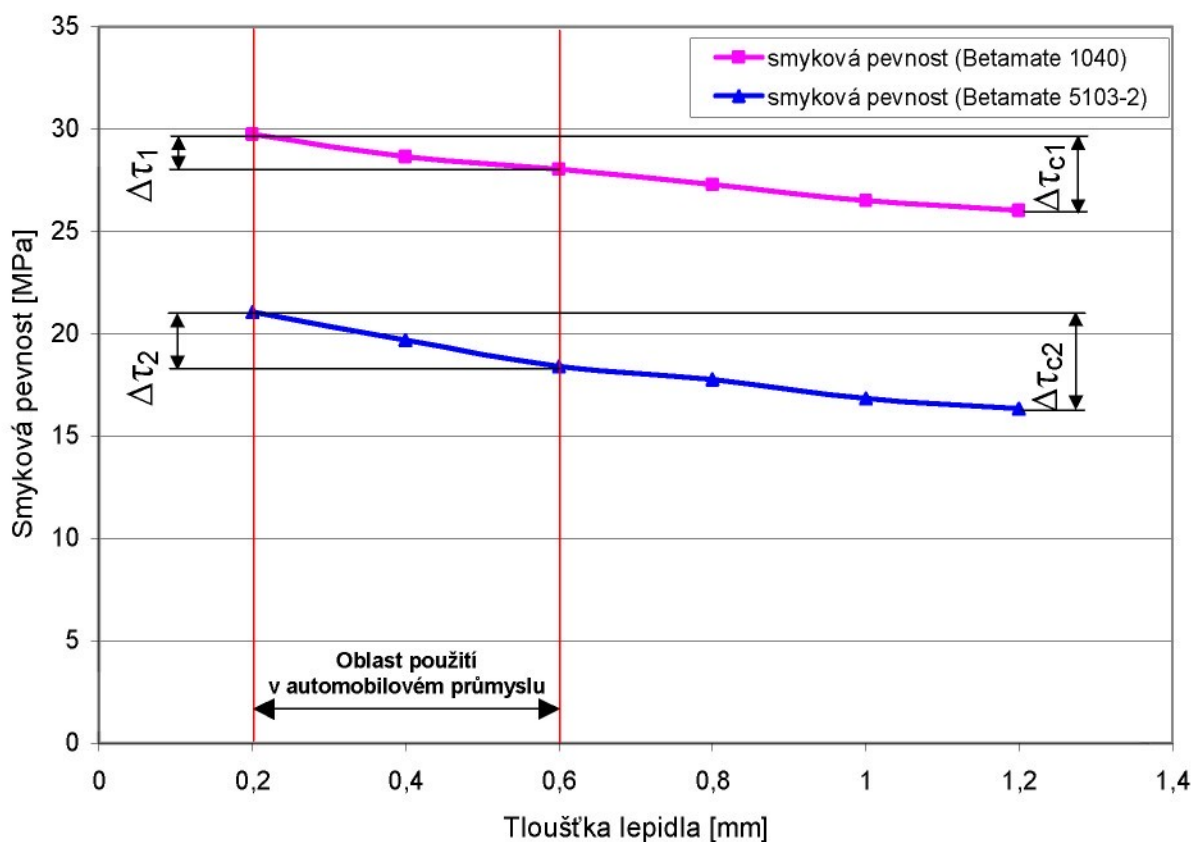
$\Delta\tau_1$ 1,71 MPa u lepidla Betamate 1040

$\Delta\tau_2$ 2,63 MPa u lepidla Beatamate 5103-2

$\Delta\tau_{c1}$ 3,73 MPa u lepidla Betamate 1040

$\Delta\tau_{c2}$ 4,70 MPa u lepidla Betamate 5103-2

Vliv tloušťky vrstvy lepidla na pevnost lepeného spoje
 Lepidla: Betamate 1040 a Betamate 5103-2



Obr. 20. Vliv tloušťky vrstvy lepidla na pevnost lepeného spoje pro obě zkoumaná lepidla

Kde:

- $\Delta\tau_1$ rozdíl maximální a minimální smykové pevnosti v rozsahu 0,2 až 0,6 mm pro B. 1040
- $\Delta\tau_2$ rozdíl maximální a minimální smykové pevnosti v rozsahu 0,2 až 0,6 mm pro B. 5103-2
- $\Delta\tau_{c1}$ rozdíl maximální a minimální smykové pevnosti v rozsahu 0,2 až 1,2 mm pro B. 1040
- $\Delta\tau_{c2}$ rozdíl maximální a minimální smykové pevnosti v rozsahu 0,2 až 1,2 mm pro B. 5103-2

6. Závěr

Úkolem této bakalářské práce bylo zjistit a vyhodnotit smykovou pevnost epoxidových lepidel (Betamate 1040 a Betamate 5103-2) v závislosti na tloušťce vrstvy lepidla v rozsahu 0,2 až 1,2 mm, zpracovat rešerši z doporučené a další dostupné literatury k danému tématu. Dále zpracovat návrhy metodiky zkoušení, zvolit jednu z metodik a provést měření. Získané výsledky podrobit diskusi a formulovat patřičné závěry.

Vzhledem k tomu, že metodik zkoušení pevnosti lepených spojů v automobilovém průmyslu je mnoho a nebylo by obsahově možné je všechny zpracovat do této bakalářské práce, bylo potřeba tuto metodiku nejdříve vybrat a posléze v předložené práci aplikovat. Jako hlavní kritérium byla zvolena statická smyková zkouška, která je nejobvyklejší a nejrozšířenější pro zjišťování vlastností lepidel, konkrétně zkouška dle VW PV 12.05, která zohledňuje specifika automobilového průmyslu. V souladu s touto výše uvedenou koncernovou normou VW byly zhotoveny vzorky, které byly dále zkoušeny při odstupňovaných tloušťkách vrstvy lepidla (od 0,2 až do 1,2 mm).

Provedená měření a hodnocení vedla ke zjištění, že nejvyšší pevnost dosahovala sledovaná lepidla při nejnižší zvolené tloušťce lepidla tj. při tloušťce 0,2 mm. Ta se postupně s narůstající tloušťkou lepidla snižovala. Snižování pevnosti nebylo u obou lepidel stejné. U lepidla Betamate 1042 bylo snížení smykové pevnosti o 5,75% při tloušťkách vrstvy lepidla 0,2 až 0,6 mm respektive 12,5% při tloušťkách vrstev lepidla 0,2 až 1,2 mm. U lepidla Betamate 5103-2 došlo ke snížení smykové pevnosti o 12,5% při tloušťkách vrstev lepidla 0,2 až 0,6 mm respektive 22,3% při tloušťkách vrstev lepidla 0,2 až 1,2 mm. Toto musí zohlednit jak konstruktér při navrhování lepeného spoje tak i technolog při zpracovávání technologických postupů lepení ve výrobě.

Z vyhodnocení křivek smykové pevnosti lepeného spoje je zřejmé, že nebyla nalezena maximální hodnota smykového napětí, proto bych pro další výzkum této problematiky navrhoval rozpracovat zkoušky i pro menší vrstvy lepidel a to od 0,05 do 0,2 mm (po 0,05 mm vrstvy lepidla), tak aby bylo možné určit maximální hodnotu smykové pevnosti zkoušeného lepidla. A dále navrhuji rozšířit

výzkum i pro jinou metodu zkoušení, kdy navrhují zkoušet vliv tloušťky vrstvy lepidla na pevnost v odlupování, např. dle normy ČSN EN ISO 11339 – Lepidla. -
T - zkouška v odlupování slepů z ohebných adherendů.

7. Seznam použité literatury:

- [1] PETERKA, J.: Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství. SNTL Praha 1980.
- [2] KOVAČIČ, L.: Lepenie kovov a plastov. SNTL Praha 1980.
- [3] MULLER, M.: Technologie lepení – Vliv tloušťky lepené vrstvy na pevnost lepených spojů. Tématický magazín, Svařování - dělení - spojování materiálů, TM vydavatelství, Praha 5/2003, s. 24, ISSN 1212 - 4044.
- [4] Technický informační list: www.fuchs-oil.cz
- [5] PV 12.05 - Bestimmung der Zugscherfestigkeit für Bördelnaht und Strukturklebstoffe, Volkswagen AG, 2003.
- [6] ČSN ISO 10365 - Označení hlavních typů porušení lepeného spoje. ČNI, Praha, 1995.
- [7] Komárek, Z.: Prehľad lepidel. 1. vydání Bratislava 1987
- [8] LIDARÍK, M.: Epoxidové pryskyřice. 3.vydání, SNTL Praha 1983
- [9] ŠKODA AUTO a.s. firemní literatura
- [10] Veřejně dostupné prameny z internetu
- [11] Hrobský, D.: Vliv parametrů vytvrzování na pevnost lepeného spoje při lepení karosářských plechů (Diplomová práce) Liberec 2005, TU Liberec
- [12] Dow Automotive AG, firemní literatura
- [13] SIDORIN, E., ŠTULÍK, V.: Rozvoj techniky lepených spojů. 1. vydání Praha 1983

8. Seznam příloh:

- Příloha 1: VW norma PV 12.05 (překlad)
- Příloha 2: Materiálový list maziva Anticorit PL 3802-39 S
- Příloha 3: Lepidlo Betamate 1040 (překlad materiálového listu)
- Příloha 4: Lepidlo Betamate 5103-2 (překlad materiálového listu)
- Příloha 5: Protokoly naměřených hodnot Protokol zkoušky smykové pevnosti
v tahu dle VW PV 12.05

Příloha 1:

VW norma PV 12.05 (překlad)

Lepidla

Určení pevnosti ve smyku pro lepidla lemových svarů a strukturních lepidel

Hlavní heslo: Lepidla, pevnost ve smyku, lepidlo lemových svarů, strukturních lepidlo

Změny:

Oproti VW PV 12.05: 1979-01 byly učiněny následující změny:

- nové členění normy
- omezení rozsahu použití normy

Předchozí vydání

1979-01

1 Rozsah použití

Tato norma je používána ve VW (značka Volkswagen). Popisuje postup pro zjištění pevnosti ve smyku jednostřížně překrytých lepidel při zatížení tažnou silou.

2 Označení

Pevnost ve smyku podle VW PV 12.05

3 Postup testování

3.1 Testovací zařízení a pomůcky

- Zařízení na testování tahu
- Testovací plechy: 150 mm x 20 mm
- Klimakomora (pro změnu klimatu) podle DIN 50017
- Laboratorní cirkulační kamna
- Chladicí skříň (nejm. -35°C)
- Lepidlo
- Olej (Prelube popř. tažný prostředek sériové kvality nebo Anticorit 4107 S, Fa Fuchs)
- Distanční držák (kovový drát o průměru 0,2 mm – 0,3 mm)

3.2 Provedení

3.2.1 Povrchová úprava

Olejové nečistoty , znečištění apod. odstraňte suchou tkaninou. Následuje vyčištění zkušební plechy tkaninou nepouštějící nitky namočenou do čistícího benzínu. Tento postup se nejméně 2x opakuje (s čistou látkou). Vyčištěny jsou obě strany plechů. Poté následuje poolejování zkušebního tělesa s Prelube popř. tažným prostředkem v poměru 1:2 nebo s Anticorit 4107S (Fuchs) (3g/m²).

3.2.2 Výroba zkušebního tělesa

Na podložku se položí min. 3 předpřipravené (viz odst. 3.2.1) zkušební pruhy.

Na lepené plochy se rozetře špachtlí dostatečné množství lepidla.

Pro dosažení konstantní vrstvy se položí na rozetřené lepidlo měděný drát ve tvaru „S“. Následuje umístění zkušebních pruhů, které jsou podepřeny za účelem dosažení rovinné dosedací plochy distančními plechy o síle 1 mm. Přebytečné lepidlo se odstraní. Při tvrdnutí se zafixují lepené plochy lepicí páskou nebo svorkami.

3.2.3 Podmínky pro testování

- lepená plocha: 2 cm²
- šíře překrytí – 20 mm
- délka překrytí 10 mm
- síla vrstvy 0,2 mm
- délka upnutí 150 mm
- testovací rychlost 50 mm/min

3.2.4 Vytvrdnutí

- Pro KTL závar 180°C teplota objektu
- Postup A: 30 min při 180°C
- Postup B: 30 min při 180°C, poté 10 min při 230°C
- Postup C: 15 min při 130°C, poté 30 min při 180°C, poté 10 min při 230°C (kamna)
- Pro KTL závar (low bake) 180°C teplota objektu
- Postup D: 25 min při 155°C
- Postup E: 25 min při 155°C, poté 10 min při 210°C
- Postup F: 15 min při 130°C, poté 30 min při 155°C, poté 10 min při 210°C (kamna)

3.2.5 Test pevnosti smyku

2 hodiny po vytvrdnutí se zkušební tělesa zatěžují následujícím způsobem:

- a) měření při (23 plus minus 2)°C
- b) měření po skladování déle než 24 h v sušičce při +80°C
- c) měření po skladování déle než 24 h chladicím boxu při -35°C
- d) měření po 10 kolech klimatu kondenzační vody DIN 50 017 SK
- e) měření po 30,60 a 90 cyklech dle PV 1210, zkouška pevnosti smyku se provádí po 24 h po vyjmutí z klima komory

3.3 Zkušební zpráva

Ve zkušební zprávě se udávají hodnoty v MPa

Následující hodnoty musí být uvedeny ve zprávě:

- druh, výrobce lepidla, distanční držák (d)
- podmínky vypalování
- rozličná klimatizační podmínky dle odstavce 3.2.5 x) s pevností smyku v MPa
- vyhodnocení vzhledu lomu podle DIN ISO 10365
- popis další zvláštností vzhledu lomu

4. Související dokumenty

PV 1210	Karoserie a montážní díly: test karoserie
DIN 50 017	klimata a jejich technické vyhodnocení: klimata kondenzační voda
DIN EN ISO 7500-1	kovové materiály – zkouška testovacích zařízení pro statické jednoosé zatížení, díl 1: testovací stroje na tah a tlak, testování a kalibrace siloměrných zařízení
DIN EN ISO 10365	lepidla, označení důležitých vzhledu lomu

Produkt- I N F O R M A C E



ANTICORIT PL 3802-39 S

PI 3-4211

Popis

ANTICORIT PL 3802-39 S je olej typu Prelube, to znamená ochranný antikoroziční olej i tvářecí mazivo pro použití v ocelárnách.

ANTICORIT PL 3802-39 S se vyznačuje následujícími speciálními vlastnostmi:

- bezpečná antikoroziční ochrana i za extrémních klimatických podmínek
- optimální tvářecí výkon i pro obtížné tahy
- vhodnost pro zušlechťené plechy (Z, ZE, ZNE, ZF, fosfátované i nefosfátované), jakož i pro normální ocelové plechy
- snadná odstranitelnost i po stárnutí a tepelném zatížení
- kompatibilita se všemi běžnými lepicími systémy při výrobě automobilů
- vysoká snášenlivost s katalytickými laky a laky s nízkým obsahem rozpouštědel a pigmentů
- nezatěžuje pracovní prostředí díky základovému oleji bez obsahu těžkých kovů a halogenů a s nízkým obsahem aromatů.

ANTICORIT PL 3802-39 S se používá převážně jako konzervační olej v ocelárnách, může však být nanesen i jako tvářecí látka bezprostředně před tvářením.

Použití

Nanášení lze provádět všemi způsoby nástřiku (přednostně elektrostaticky) ale také naválcováním.

Doporučená pracovní teplota pro nástřik a filtraci je 40 - 65 °C.

Jako u všech tixotropních látek může dojít po delší době skladování k lehkému usazování látek, zajišťujících tixotropní účinky.

ANTICORIT PL 3802-39 S je skladovatelný v uzavřeném originálním balení při teplotě 5 - 40 °C minimálně 5 let.

Charakteristika

Vlastnosti	Jednotka	Údaje	Zkouška dle
Číslo barvy	-	3,5	DIN ISO 2049
Hustota při 15 °C	kg/m ³	915	DIN 51 757
Viskozita při 40 °C	mm ² /s	60	DIN 51 562
Bod vzplanutí	°C	196	DIN ISO 2592
Obsah vody	% hmotnosti	< 0,2	DIN 51 777-2
Odstranitelnost	-	vyhovuje	VW 52.02
Obsah aromátu v základovém oleji	% hmotnosti	< 7	Zkušební metoda VN čís. TML 1 *)
Antikoroziční vlastnosti (St 1405)			
Kondenzační komora	h	200	ASTM D 1748
Klimatická komora	cykly	> 20	DIN 51 386-1
Solná komora	h	24	DIN 50 021 SS

*) VM = zkušební metoda Vauxhall Motors Limited

Příloha 3:

Lepidlo Betamate 1040 (překlad materiálového listu)

Popis výrobku/použití:

Betamate 1040 je jednosložkové lepidlo pro karoserie . Lepidlo se využívá ke zvýšení životnosti a odolnosti při nárazu karosérie.

Vlastnosti:

Lepidlo má výborné vlastnosti pro automobilovou ocel včetně lakovaných ocelí

- zvýšuje tuhost a stabilitu karoserie
- vysoká trvanlivost lepených spojů (životnost lepidla)
- chrání proti korozi
- kompatibilní s ostatními mechanickými nebo tepelnými spoji
- odolný proti vodě ,

Vytvrzované teplem. Materiál se při okolní teplotě snadno čerpá. Vykazuje vynikající přilnavost k automobilové oceli, včetně povlakových ocelí, je odolné proti degradaci a substrátové korozi při venkovním stárnutí. Výrobek je přetvrditelný indukci a kompatibilní s elektrostatickým nanášením laků.

Použití:

Optimální teplota skladování lepených dílů je 15°C nebo vyšší. V případě, že přestávka při aplikaci je delší než 30' je nutno lepidlo uzavřít.

Technická data:

Základ	epoxidová pryskyřice
Barva	zelená
Hustota	1,25 g/ml při 23°C
Obsah pevných složek	>99%
Bod vzplanutí	>150°C
Podmínky vytvrzování	>140°C/30 minut
Standardní podmínky	180°C/30 min

Pevnost v tahu (DIN EN ISO 527-1)	42 MPa
Prodloužení při zlomu (DIN EN ISO 527-1)	přibližně 6%
Modul elasticity (DIN EN ISO 527-1)	2200 MPa
Smyková pevnost (DIN EN 1465)	28 MPa (tloušťka spoje 1,5 mm)
Odolnost proti olupování	8 N/mm
Odolnost olupování při úderu	23 N/mm

Příprava povrchu	Materiál byl navržen tak, aby toleroval zaolejování povrchu do 5g/m ²
-------------------------	--

Aplikace Kartuše: Ruční nebo pneumatická pistole s mechanickým pístem.

Sudy: je doporučen vyhřívaný čerpací systém s automatickým aplikátorem.

Čištění	Nevytvrzené zbytky lepidla je možné odstranit přípravkem BETACLEAN 3510.
----------------	--

Skladovatelnost	Přípravek je reaktivní jednosložkové lepidlo a jako takové má omezenou životnost. Jeho skladovatelnost je závislá na skladovací teplotě, chladný sklad prodlužuje jeho životnost. Výrobek lze skladovat při teplotě 30 °C asi 3 měsíce od data výroby (datum výroby viz. na obalu).
------------------------	---

Balení	100 a200 kg sud (materiál PE, opakovaně použitelný) PE nádoby 20,25 kg, 45 kg (opakovaně použitelné) Kartuš 0,36 kg
---------------	---

Varování

Pryskyřice v lepidle jsou obecně neškodné, při manipulaci je nutné dodržovat obecná bezpečnostní opatření pro práci s chemikáliemi. Nevytvrzený materiál nesmí například přijít do styku s potravinami nebo nádobím a měly by být provedeny preventivní opatření

pro zabránění styku s pokožkou, protože může mít určitý vliv na lidi se zvláště citlivou pokožkou. Užití odolných gumových nebo podobných rukavic by mělo být nezbytné, podobně jako užití ochrany očí. Pokožka musí být důkladně čištěna a na konci každé pracovní periody omyta mýdlem a horkou vodou.

Lepidlo Betamate 5103-2 (překlad materiálového listu)

Technické informace

Popis výrobku, použití BETAMATE XB 5103- je jednosložkové tepelně vytvrzované lepidlo na epoxidové bázi. Lze ho snadno čerpat a vytlačovat při běžné okolní teplotě. Vykazuje výbornou přilnavost k ocelovým dílům automobilů, včetně povrchově upravených, je odolný degradaci, korozi a stárnutí. Přípravek je slučitelný a vhodný pro použití při elektrostatických procesech nanášení nátěrových hmot.

Veškeré výrobky firmy Dow Automotive jsou vyvíjeny především ve spolupráci s výrobcí automobilů, podle jejich potřeb a požadavků, a jsou schvalovány pro určité použití zákazníkem.

Možnost jiného užití výrobku než je schválená aplikace musí být písemně potvrzena firmou Dow Automotive.

Fyzikální vlastnosti	Základ	epoxidová pryskyřice
	Barva	zelená
	Hustota	1,48 +/- 0,03 g/cm ³ při 23 °C
	Obsah pevných složek	> 98 %
	Bod vzplanutí	> 245 °C

Vlastnosti	Rychlost vytlačování	78 g/min. (23 °C, 3 barry, otvor 3 mm)
	Podmínky vytvrzování	180 °C/30 min.
	Pevnost v tahu	51 MPa
	(EN ISO 527-1)	
	Tažnost (EN ISO 527-1)	1,3 %
	E-modul (EN ISO 527-1)	6600 MPa
	Smyková pevnost	15,0 MPa (tloušťka spoje 0,75 mm)

(EN 1465)	20,0 MPa (tloušťka spoje 1,5 mm)
Odolnost proti olupování	2,0 N/mm
Odolnost olupování při úderu	3,4 N/mm
Odolnost vůči chemikáliím	Velmi dobrá

Příprava povrchu	Přípravek byl navržen jako do určité míry odolný vůči znečištění povrchu oleji. Nicméně nadměrné znečištění musí být před aplikací lepidla setřeno. Některé oleje nejsou s lepidlem slučitelné a musí být odstraněny.
-------------------------	---

Aplikace	Kartuše: Ruční nebo pneumatická pistole s mechanickým pístem. Sudy: je doporučen vyhřívaný čerpací systém s automatickým aplikátorem.
-----------------	--

Čištění	Nevytvrzené zbytky lepidla je možné odstranit přípravkem BETACLEAN 3510.
----------------	--

Skladovatelnost	Přípravek je reaktivní jednosložkové lepidlo a jako takové má omezenou životnost. Jeho skladovatelnost je závislá na skladovací teplotě, chladný sklad prodlužuje jeho životnost. Výrobek lze skladovat při teplotě 23 °C asi 4 měsíce od data výroby (datum výroby viz. na obalu).
------------------------	---

Balení	200 kg sud (materiál PE, opakovaně použitelný) PE nádoby 25 kg, 50 kg (opakovaně použitelné) Kartuš 0,4 kg
---------------	--

Bezpečnostní opatření

Postup při odstraňování vytvrzeného lepidla

Při lepení musí být velká pozornost věnována správné pozici lepených ploch, pokud je nutné vytvrzený spoj odstranit lze to pouze složitým postupem za použití škodlivých chemikálií. Oddělení lepených ploch může být dosaženo ponořením lepených částí na několik dnů do chloroformu. (Čas působení je dlouhý protože lepidlo je vysoce odolné vůči chemikáliím a brání pronikání do spoje). Případně je možné spoj zahřát na teplotu nad 200 °C a plocha může být tak vypálena, nebo je spoj možné změkčit vnořením na několik hodin do dimethylformamidu, fenolu nebo kresolu. Tyto chemikálie jsou nebezpečné a musí být dodržována vhodná manipulace a bezpečnostní opatření doporučené dodavatelem.

Exotermická reakce většího objemu

Termické analýzy ukazují, že materiál začíná reagovat při zahřátí nad 50 °C. Jestliže materiál reaguje ve větším objemu je reakce exotermická, tj. je doprovázena uvolněním tepla. Vyhněte se nebezpečí této reakce. Obaly s těmito materiály nesmí být vystaveny prudkému zahřátí a zdrojům tepla, např. topným tělesům. Jestliže je zahřátí většího množství materiálu nezbytné, musí být vyhledán doporučený postup

Varování

Pryskyřice v lepidle jsou obecně neškodné, při manipulaci je nutné dodržovat obecná bezpečnostní opatření pro práci s chemikáliemi. Nevytvrzený materiál nesmí například přijít do styku s potravinami nebo nádobím a měly by být provedeny preventivní opatření pro zabránění styku s pokožkou, protože může mít určitý vliv na lidi se zvláště citlivou pokožkou. Užití odolných gumových nebo podobných rukavic by mělo být nezbytné, podobně jako užití ochrany očí. Pokožka musí být důkladně čistěna a na konci každé pracovní periody omyta mýdlem a horkou vodou. K čištění pokožky nepoužívejte rozpouštědla. Na osušení pokožky musí být použit jednorázový papírový ručník. Je doporučeno dostatečné větrání pracoviště. Další informace jsou obsaženy v bezpečnostním listu přípravku.

Řízení jakosti

Kvalita je důležitou prioritou firmy Dow Automotive. Firma pracuje s moderním systémem řízení jakosti, který vyhovuje všem mezinárodním požadavkům QS 9000, VDA-6 a ISO 9001.

Výše uvedené informace neznamenají záruky za užití našeho výrobku. Protože aplikace a zpracování výrobku jsou mimo naši kontrolu, tyto informace nenahrazují vaše vlastní zkoušky provedené za účelem prokázání vhodnosti přípravku k vašemu konkrétnímu užití. Naše záruky jsou limitovány hodnotou námi dodávaného a vámi užívaného výrobku. Uvedené informace odpovídají nejnovějším poznatkům a tento list nahrazuje všechny předešlé verze.

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

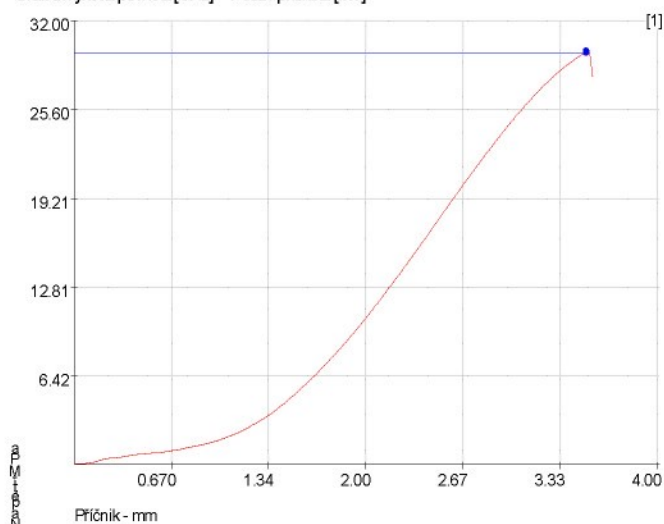
Testované lepidlo : Betamate 1040
 Testované mazivo : Anticotrit PL 3802-39S
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG
 Tloušťka vrstvy lepidla : 0,2 mm
 Příprava vzorků : Nanesení maziva, 1 hodina prodléva, nanesení lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodléva, vytvrzování při 180°C 20 min.

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	29.69
2	30.14
3	29.70
4	29.44
x	29.75
s	0.29

Typ porušení [%]	CF SCF AF	100
---------------------	-----------------	-----

Graf: Smyková pevnost [MPa] – Posuv příčniku [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hálkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.ksp.vslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

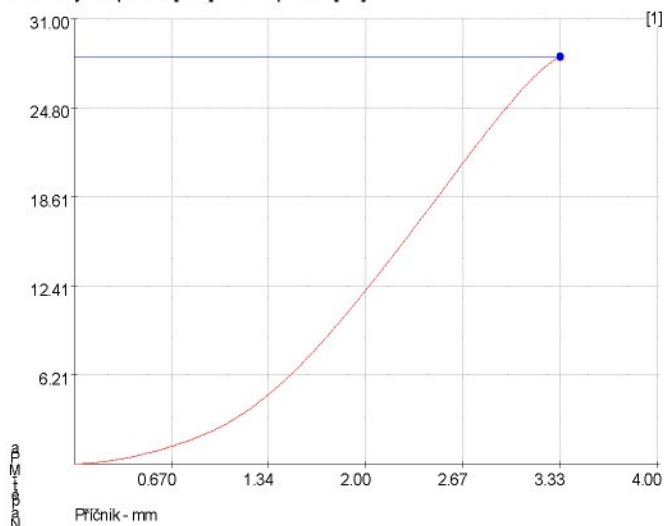
Testované lepidlo : Betamate 1040
 Testované mazivo : Anticotrit PL 3802-39S
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG
 Tloušťka vrstvy lepidla : 0,4 mm
 Příprava vzorků : Nanesení maziva, 1 hodina prodléva, nanesení lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodléva, vytvrzování při 180°C 20 min.

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	28.29
2	28.73
3	28.75
4	28.90
x	28.67
s	0.26

Typ porušení [%]	CF SCF AF	100
---------------------	-----------------	-----

Graf: Smyková pevnost [MPa] – Posuv příčniku [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.ksp.vslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

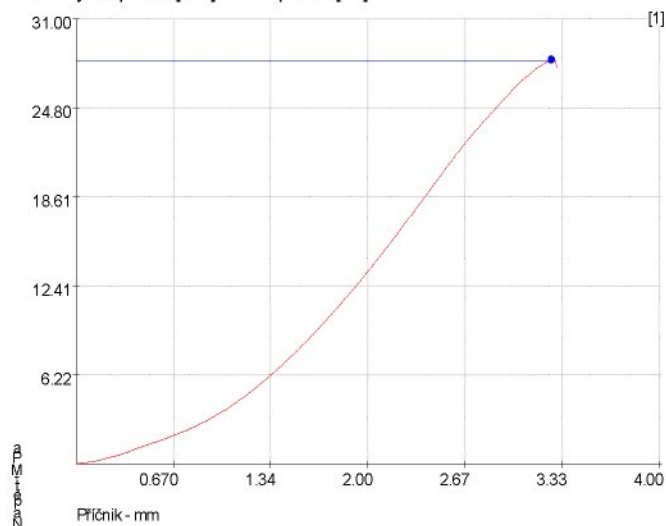
Testované lepidlo : Betamate 1040
 Testované mazivo : Anticotrit PL 3802-39S
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG
 Tloušťka vrstvy lepidla : 0,6 mm
 Příprava vzorků : Nanesení maziva, 1 hodina prodléva, nanesení lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodléva, vytvrzování při 180°C 20 min.

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	28.09
2	27.61
3	27.99
4	28.46
x	28.04
s	0.35

Typ porušení [%]	CF SCF AF	100
---------------------	-----------------	-----

Graf: Smyková pevnost [MPa] – Posuv příčniku [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hálkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.ksp.vslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

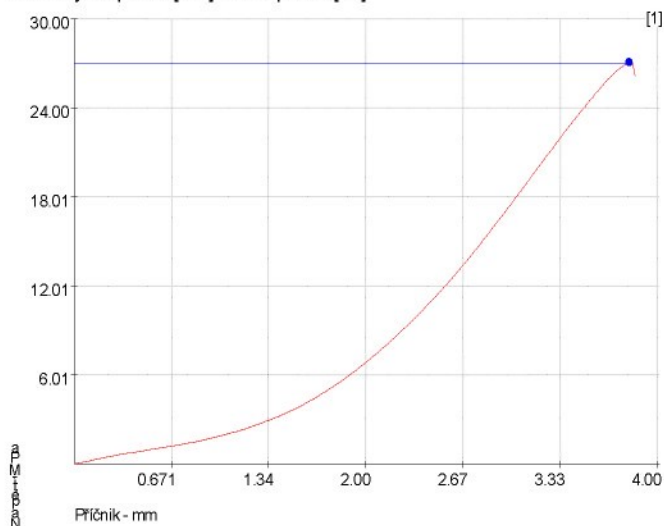
Testované lepidlo : Betamate 1040
 Testované mazivo : Anticotrit PL 3802-39S
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG
 Tloušťka vrstvy lepidla : 0,8 mm
 Příprava vzorků : Nanesení maziva, 1 hodina prodléva, nanesení lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodléva, vytvrzování při 180°C 20 min.

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	27.02
2	27.23
3	27.62
4	27.27
x	27.29
s	0.25

Typ porušení [%]	CF SCF AF	100
---------------------	-----------------	-----

Graf: Smyková pevnost [MPa] – Posuv příčniku [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.ksp.vslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

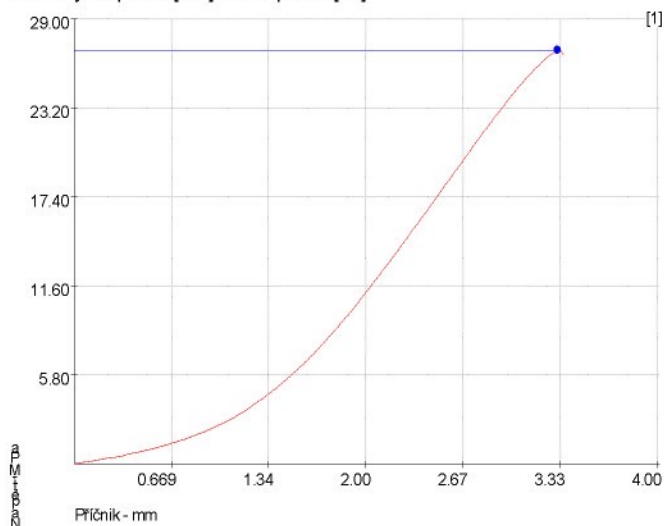
Testované lepidlo : Betamate 1040
 Testované mazivo : Anticotrit PL 3802-39S
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG
 Tloušťka vrstvy lepidla : 1,0 mm
 Příprava vzorků : Nanesení maziva, 1 hodina prodléva, nanesení lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodléva, vytvrzování při 180°C 20 min.

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	26.92
2	26.31
3	26.35
4	26.44
x	26.51
s	0.28

Typ porušení [%]	CF SCF AF	100
---------------------	-----------------	-----

Graf: Smyková pevnost [MPa] – Posuv příčniku [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.ksp.vslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

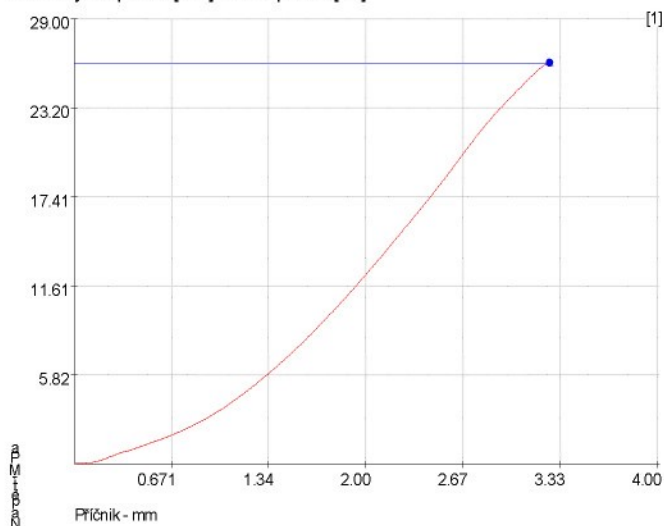
Testované lepidlo : Betamate 1040
 Testované mazivo : Anticotrit PL 3802-39S
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG
 Tloušťka vrstvy lepidla : 1,2 mm
 Příprava vzorků : Nanesení maziva, 1 hodina prodléva, nanesení lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodléva, vytvrzování při 180°C 20 min.

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	26.07
2	26.30
3	25.60
4	26.11
x	26.02
s	0.30

Typ porušení [%]	CF SCF AF	100
---------------------	-----------------	-----

Graf: Smyková pevnost [MPa] – Posuv příčniku [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.ksp.vslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

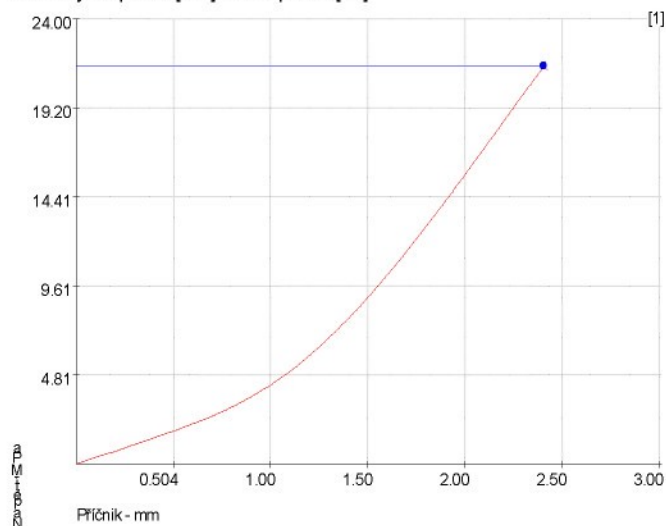
Testované lepidlo :	Betamate XB 5103-2
Testované mazivo :	Anticotrit PL 3802-39S
Množství maziva :	3 g/m ²
Testovaný substrát :	HDG
Tloušťka vrstvy lepidla :	0,2 mm
Příprava vzorků :	Nanesení maziva, 1 hodina prodléva, nanesení lepidla a slepení vzorků, 1 hodina prodléva, vytvrzování při 180°C 20 min.

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	21.42
2	21.00
3	20.84
4	20.95
x	21.05
s	0.26

Typ porušení [%]	CF SCF AF	100
---------------------	-----------------	-----

Graf: Smyková pevnost [MPa] – Posuv příčniku [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů
Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.ksp.vslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

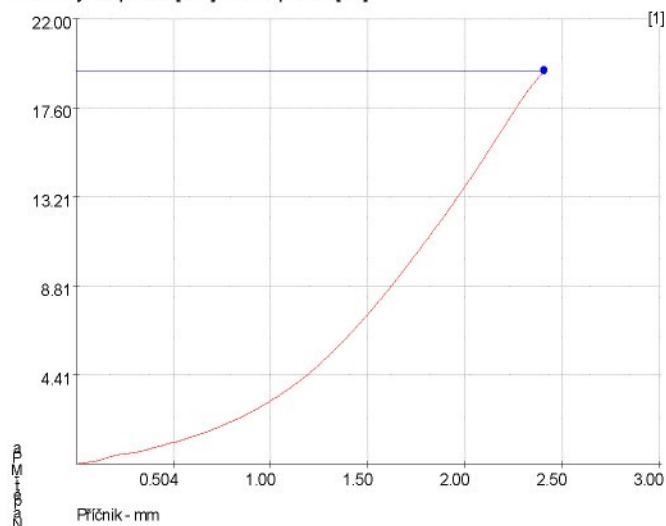
Testované lepidlo : Betamate XB 5103-2
 Testované mazivo : Anticotrit PL 3802-39S
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG
 Tloušťka vrstvy lepidla : 0,4 mm
 Příprava vzorků : Nanesení maziva, 1 hodina prodléva, nanesení lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodléva, vytvrzování při 180°C 20 min.

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	19.41
2	19.45
3	20.12
4	19.74
x	19.68
s	0.33

Typ porušení [%]	CF SCF AF	100
---------------------	-----------------	-----

Graf: Smyková pevnost [MPa] – Posuv příčniku [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.ksp.vslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

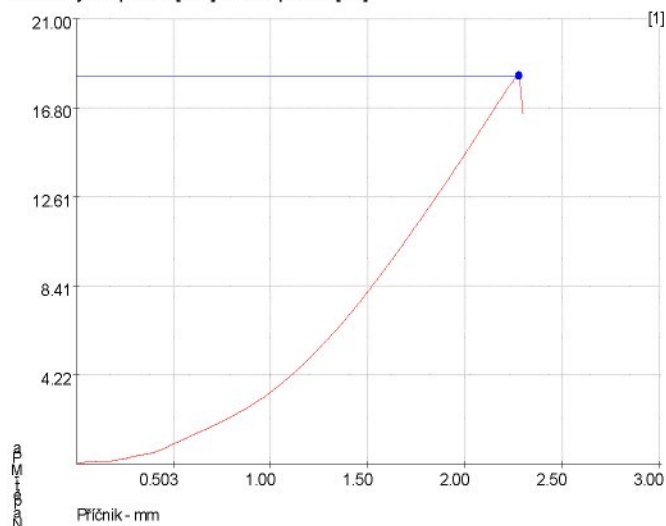
Testované lepidlo : Betamate XB 5103-2
 Testované mazivo : Anticotrit PL 3802-39S
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG
 Tloušťka vrstvy lepidla : 0,6 mm
 Příprava vzorků : Nanesení maziva, 1 hodina prodléva, nanesení lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodléva, vytvrzování při 180°C 20 min.

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	18.27
2	18.66
3	18.04
4	18.72
x	18.42
s	0.32

Typ porušení [%]	CF SCF AF	100
---------------------	-----------------	-----

Graf: Smyková pevnost [MPa] – Posuv příčniku [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.ksp.vslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

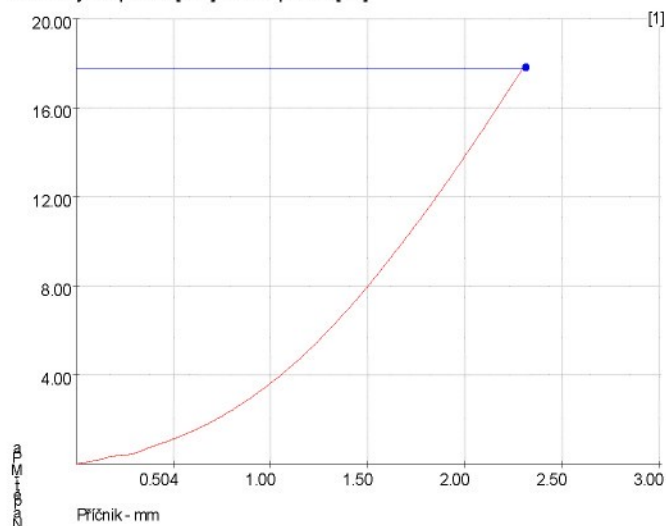
Testované lepidlo :	Betamate XB 5103-2
Testované mazivo :	Anticotrit PL 3802-39S
Množství maziva :	3 g/m ²
Testovaný substrát :	HDG
Tloušťka vrstvy lepidla :	0,8 mm
Příprava vzorků :	Nanesení maziva, 1 hodina prodléva, nanesení lepidla a slepení vzorků, 1 hodina prodléva, vytvrzování při 180°C 20 min.

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	17.77
2	18.16
3	17.69
4	17.40
x	17.76
s	0.31

Typ porušení [%]	CF SCF AF	100
---------------------	-----------------	-----

Graf: Smyková pevnost [MPa] – Posuv příčniku [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů
Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.ksp.vslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

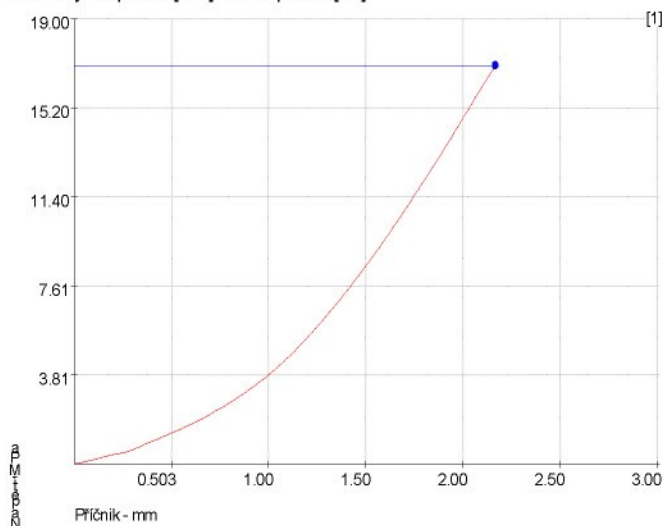
Testované lepidlo : Betamate XB 5103-2
 Testované mazivo : Anticotrit PL 3802-39S
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG
 Tloušťka vrstvy lepidla : 1,0 mm
 Příprava vzorků : Nanesení maziva, 1 hodina prodléva, nanesení lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodléva, vytvrzování při 180°C 20 min.

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	16.98
2	16.51
3	16.73
4	17.18
x	16.85
s	0.29

Typ porušení [%]	CF SCF AF	100
---------------------	-----------------	-----

Graf: Smyková pevnost [MPa] – Posuv příčniku [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.ksp.vslib.cz>

Smyková pevnost - zkouška tahem dle PV 12.05

Vstupní hodnoty

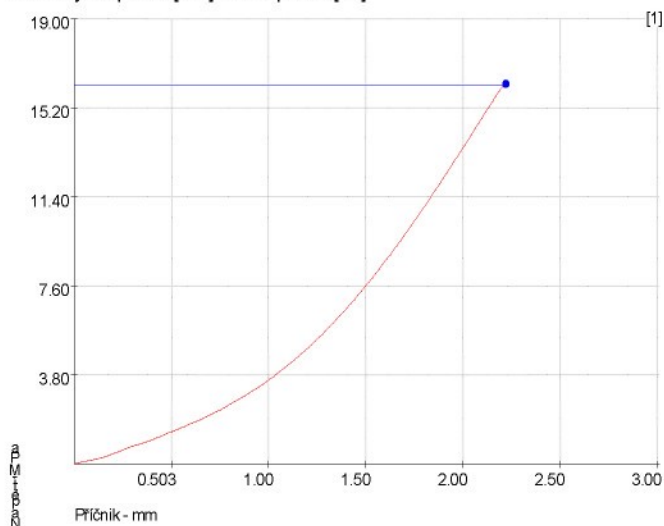
Testované lepidlo : Betamate XB 5103-2
 Testované mazivo : Anticotrit PL 3802-39S
 Množství maziva : 3 g/m²
 Testovaný substrát : HDG
 Tloušťka vrstvy lepidla : 1,2 mm
 Příprava vzorků : Nanesení maziva, 1 hodina prodléva, nanesení lepidla a slepení vzorků,
 1 hodina prodléva, vytvrzování při 180°C 20 min.

Výstupní hodnoty

Zkouška	R _m MPa
1	16.17
2	16.73
3	16.26
4	16.23
x	16.35
s	0.26

Typ porušení [%]	CF SCF AF	100
---------------------	-----------------	-----

Graf: Smyková pevnost [MPa] – Posuv příčniku [mm]



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
 Katedra strojírenské technologie
 Oddělení tváření kovů a plastů
 Hájkova 6, 46117 Liberec, Czech Republic

<http://www.ksp.vslib.cz>

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména §60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL, v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum: 26.5.2006

Podpis:

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact, in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and consultant.

Date: 26.5.2006

Signature: