

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2017

Bc. Petr Matějka

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Hodnocení kombinovaných lepených spojů

Bc. Petr Matějka

Diplomová práce

2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Petr Matějka
Osobní číslo: D15376
Studijní program: N3708 Dopravní inženýrství a spoje
Studijní obor: Dopravní prostředky: Silniční vozidla
Název tématu: Hodnocení kombinovaných lepených spojů
Zadávací katedra: Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Rešerše aktuálního stavu - lepení v konstrukci automobilové karoserie; materiály používané v konstrukci karoserie.
2. Postupy pro hodnocení lepených spojů.
3. Příprava kombinovaných lepených spojů pro zkoušky.
4. Vyhodnocení statických a dynamických zkoušek, analýzy vzorků po zkouškách.
5. Posouzení vlivu statické a dynamické pevnosti materiálu substrátu na přilnavost a pevnost lepeného spoje.

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího práce

Rozsah pracovní zprávy: 50 - 60 stran textu a přílohy

Forma zpracování diplomové práce: tištěná

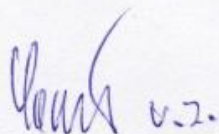
Seznam odborné literatury:

1. PETERKA, Jindřich. Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství. Vydalo SNTL Nakladatelství technické literatury, n.p., Spálená 51, 113 02 Praha 1, v roce 1980
2. Brockmann, W., Gei, P. L., Klingen, J., Schröder, B.: Adhesive bonding Materials, Applications and Technology. Wiley VCH Verlag GmH & Co, KgaA, 2005, ISBN 978-0-521-32677-3
3. Výběr z norem hodnocení statické a dynamické pevnosti lepených spojů

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Eva Schmidová, Ph.D.**
Výukové a výzkumné centrum v dopravě

Datum zadání diplomové práce: 15. února 2017

Termín odevzdání diplomové práce: 26. května 2017



doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

L.S.



doc. Ing. Michael Lata, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. února 2017

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 25. 5. 2017

Bc. Petr Matějka

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl v první řadě poděkovat Ing. Tomáši Schiffmannovi, prof. Ing. Evě Schmidové, Ph.D. a Ing. Tomáši Pilvousekovi, Ph.D.,IWE za jejich odborné vedení, ochotu, cenné připomínky a rady, kterými přispěli k vypracování této diplomové práce. Dále chci touto cestou poděkovat celé své rodině a přátelům za morální podporu, jejich trpělivost s mojí osobou a za pomoc po celou dobu studia.

ANOTACE

Diplomová práce popisuje ocele používané v automobilovém průmyslu a jejich povrchové ochrany, lepení při stavbě karoserií a vybrané normy pro zkoušení a hodnocení lepených spojů. V druhé části práce je uveden postup laboratorního tepelného zpracování oceli 22MnB5 a jeho vliv na hliníko-křemíkovou povrchovou vrstvu této oceli. Práce se zabývá statickým i dynamickým mechanickým zkoušením kombinovaných lepených spojů ocelí, vlivem jejich povrchových vrstev na celkovou pevnost a typ porušení spojů za použití epoxidových konstrukčních lepidel.

KLÍČOVÁ SLOVA

Lepené spoje, zkouška v odlupu, zkouška ve smyku při zatěžování tahem, kohezní porušení, delaminační porušení, 22MnB5

TITLE

Evaluation of combined adhesively bonded joints

ANNOTATION

This master thesis describes steels used in automotive industry and their coating, glueing in construction of bodyworks and selected standards for adhesively bonded joints testing. In the second part of this master thesis there is a description of procedure for laboratory heating of 22MnB5 steel and its affect on Al-Si coating. The thesis focuses on static and dynamic mechanical testing of combined adhesively bonded joints, by its affects of coating on strength of joints and form of failure by using epoxy construction glues.

KEYWORDS

Adhesively bonded joints, T - peel test, tensile shear strength test, cohesion failure, delamination failure, 22MnB5

OBSAH

0	ÚVOD.....	14
1	TEORETICKÁ ČÁST.....	16
1.1	Ocele používané v automobilovém průmyslu.....	16
1.1.1	Rozdělení ocelí podle dosahované meze kluzu	16
1.1.2	Za tepla tvářená vysokopevnostní ocel 22MnB5.....	17
1.1.2.1	Princip tepelného zpracování oceli 22MnB5	18
1.1.2.2	Výroba dílů z oceli 22MnB5	19
1.1.3	Vysokopevnostní ocel HX340LAD.....	21
1.1.3.1	Výroba dílů z oceli HX340LAD	21
1.2	Povrchové ochrany.....	22
1.2.1	Al-Si povrchová vrstva	23
1.2.2	Zinková povrchová vrstva nanesená žárově	25
1.3	Lepení při stavbě karoserie	27
1.3.1	Zkouška pevnosti v odlupu - ISO 11339	30
1.3.2	Zkouška pevnosti ve smyku při zatěžování tahem - PV 12.35.....	31
1.3.3	Dynamická zkouška pevnosti ve smyku při zatěžování tahem.....	32
1.3.4	Vyhodnocení porušení lepeného spoje - ISO 10365	33
2	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	34
2.1	Použité materiály a jejich povrchové vrstvy	34
2.1.1	Ocel 22MnB5 s povrchovou Al-Si vrstvou	35
2.1.2	HX340LAD s povrchovou vrstvou Z100	37
2.2	Použitá lepidla.....	38
2.3	Příprava vzorků	39
2.4	Zkouška pevnosti v odlupu	41
2.4.1	SikaPower 492G	41
2.4.2	Betamate 1440G	45

2.4.3	Zhodnocení	48
2.5	Zkouška pevnosti ve smyku	50
2.5.1	SikaPower 492G	51
2.5.2	Betamate 1440G	54
2.5.3	Zhodnocení	57
2.6	Dynamická pevnost ve smyku	58
2.6.1	SikaPower 492	59
2.6.2	Betamate 1440G	60
2.6.3	Zhodnocení	61
2.7	Analýza lepených spojů	63
2.7.1.1	Porovnání oceli 22MnB5 s laboratorním a sériovým tepelným zpracováním 63	
2.7.2	Analýza kombinovaných lepených spojů	65
2.7.2.1	Delaminační a speciální kohezní porušení	65
2.7.2.2	Delaminační a kohezní porušení	68
3	ZÁVĚR.....	70
4	POUŽITÁ LITERATURA.....	73
5	PŘÍLOHY.....	75

SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

Obrázek 1 - Materiálový koncept Škoda Octavia III.....	16
Obrázek 2 - Evoluce PHS ocelí v rámci technologie a materiálu.....	17
Obrázek 3 - Proces výroby oceli 22MnB5.....	20
Obrázek 4 - Výroba středového tunelu	21
Obrázek 5 - Lisování za studena.....	22
Obrázek 6 - Ochranné povlaky Škoda Octavia III.....	23
Obrázek 7 - Závislost barevného odstínu Al-Si vrstvy na době tepelného zpracování	24
Obrázek 8 - Ocel 22MnB5 s povrchovou vrstvou Al-Si po TZ.....	24
Obrázek 9 - Schéma kontinuálního žárového zinkování plechu.....	26
Obrázek 10 - Schéma povlaku vytvořeného žárovým zinkováním	26
Obrázek 11 - Rozdělení smáčivosti povrchů podle velikosti smáčecího úhlu	29
Obrázek 12 - Způsoby zatížení lepených spojů	30
Obrázek 13 - Schéma zkoušeného spoje dle normy ISO 11339.....	31
Obrázek 14 - Vyhodnocení zkoušky v odlupu.....	31
Obrázek 15 - Schéma zkoušeného spoje dle normy PV 12.35	32
Obrázek 16 - Schéma dynamické zkoušky ve smyku při zatěžování tahem	32
Obrázek 17 - Lepený spoj středového tunelu a podlahy karoserie	34
Obrázek 18 - Příčný řez 22MnB5 + AS150 po laboratorním TZ	36
Obrázek 19 - CH mapping příčného řezu 22MnB5 + AS150 po laboratorním TZ.....	36
Obrázek 20 - Příčný řez HX340LAD + Z100.....	37
Obrázek 21 - Schéma zkoušených vzorků s vyobrazenými rozměry	39
Obrázek 22 - Laboratorní tepelné zpracování.....	40
Obrázek 23 - Postup lepení.....	40
Obrázek 24 - Přetržené spoje ° s lepidlem SikaPower 492G po zkoušce v odlupu.....	44
Obrázek 25 - Přetržené spoje - s lepidlem SikaPower 492G po zkoušce v odlupu.....	44
Obrázek 26 - Přetržené spoje * s lepidlem SikaPower 492G po zkoušce v odlupu	44
Obrázek 27 - Přetržené spoje ° s lepidlem Betamate 1440G po zkoušce v odlupu.....	47
Obrázek 28 - Přetržené spoje - s lepidlem Betamate 1440G po zkoušce v odlupu	47
Obrázek 29 - Přetržené spoje * s lepidlem Betamate 1440G po zkoušce v odlupu	48
Obrázek 30 - Rozdíl zatěžování spojů při zkoušce v odlupu, °vlevo, -uprostřed, *vpravo.....	49
Obrázek 31 - Přetržené spoje Δ s lepidlem SikaPower 492G po zkoušce ve smyku	53

Obrázek 32 - Přetržené spoje / s lepidlem SikaPower 492G po zkoušce ve smyku.....	53
Obrázek 33 - Přetržené spoje □ s lepidlem SikaPower 492G po zkoušce ve smyku	53
Obrázek 34 - Přetržené spoje Δ s lepidlem Betamate 1440G po zkoušce ve smyku.....	56
Obrázek 35 - Přetržené spoje / s lepidlem Betamate 1440G po zkoušce ve smyku.....	56
Obrázek 36 - Přetržené spoje □ s lepidlem Betamate 1440G po zkoušce ve smyku.....	56
Obrázek 37 - Přetržené spoje po dynamické zkoušce s lepidlem SikaPower 492G.....	60
Obrázek 38 - Přetržené spoje po dynamické zkoušce s lepidlem Betamate 1440G	60
Obrázek 39 - Struktura povrchu 22MnB5 plechu po laboratorním TZ - vzorek 10Δ	64
Obrázek 40 - Struktura jádra 22MnB5 plechu po laboratorním TZ - vzorek 10Δ	64
Obrázek 41 - Struktura 22MnB5 plechu ze sériová výroby	65
Obrázek 42 - Struktura DF + SCF lomové plochy - vzorek 4Δ.....	67
Obrázek 43 - CH mapping - vzorek 4Δ	67
Obrázek 44 - Struktura DF + CF lomové plochy - vzorek 9Δ.....	69
Obrázek 45 - CH mapping vzorek 9Δ.....	69
Tabulka 1 - Mechanické vlastnosti oceli 22MnB5 dle TL 4225	18
Tabulka 2 - Chemické složení oceli 22MnB5 dle TL 4225.....	18
Tabulka 3 - Mechanické vlastnosti oceli HX340LAD	21
Tabulka 4 - Chemické složení oceli HX340LAD.....	21
Tabulka 5 - Specifikace tloušťky povrchové vrstvy AS150.....	25
Tabulka 6 - Hodnoty žárové nanesené zinkové vrstvy Z100.....	26
Tabulka 7 - Mezigenerační porovnání množství spojů.....	28
Tabulka 8 - Označení způsobů porušení lepených spojů.....	33
Tabulka 9 - Mechanické vlastnosti oceli 22MnB5 po tepelném zpracování.....	35
Tabulka 10 - Naměřené chemické složení oceli 22MnB5	35
Tabulka 11 - Naměřené mechanické vlastnosti oceli HX340LAD	37
Tabulka 12 - Naměřené chemické složení oceli HX340LAD	37
Tabulka 13 - Technická data lepidla SikaPower 492G.....	38
Tabulka 14 - Technická data lepidla Betamate 1440G.....	38
Tabulka 15 - Naměřené hodnoty v odlupu u spojů ° s lepidlem SikaPower 492G	41
Tabulka 16 - Naměřené hodnoty v odlupu u spojů - s lepidlem SikaPower 492G.....	42
Tabulka 17 - Naměřené hodnoty v odlupu u spojů * s lepidlem SikaPower 492G	42

Tabulka 18 - Vyhodnocení spojů ° s lepidlem SikaPower 492G po zkoušce v odlupu	43
Tabulka 19 - Vyhodnocení spojů - s lepidlem SikaPower 492G po zkoušce v odlupu.....	43
Tabulka 20 - Vyhodnocení spojů * s lepidlem SikaPower 492G po zkoušce v odlupu	43
Tabulka 21 - Naměřené hodnoty v odlupu u spojů ° s lepidlem Betamate 1440G.....	45
Tabulka 22 - Naměřené hodnoty v odlupu u spojů - s lepidlem Betamate 1440G.....	45
Tabulka 23 - Naměřené hodnoty v odlupu u spojů * s lepidlem Betamate 1440G	45
Tabulka 24 - Vyhodnocení spojů ° s lepidlem Betamate 1440G po zkoušce v odlupu.....	46
Tabulka 25 - Vyhodnocení spojů - s lepidlem Betamate 1440G po zkoušce v odlupu.....	46
Tabulka 26 - Vyhodnocení spojů * s lepidlem Betamate 1440G po zkoušce v odlupu	47
Tabulka 27 - Naměřené hodnoty ve smyku u spojů Δ s lepidlem SikaPower 492G.....	51
Tabulka 28 - Naměřené hodnoty ve smyku u spojů / s lepidlem SikaPower 492G	51
Tabulka 29 - Naměřené hodnoty ve smyku u spojů □ s lepidlem SikaPower 492G	51
Tabulka 30 - Vyhodnocení spojů Δ s lepidlem SikaPower 492G po zkoušce ve smyku	52
Tabulka 31 - Vyhodnocení spojů / s lepidlem SikaPower 492G po zkoušce ve smyku.....	52
Tabulka 32 - Vyhodnocení spojů □ s lepidlem SikaPower 492G po zkoušce ve smyku	53
Tabulka 33 - Naměřené hodnoty ve smyku u spojů Δ s lepidlem Betamate 1440G	54
Tabulka 34 - Naměřené hodnoty ve smyku u spojů / s lepidlem Betamate 1440G.....	54
Tabulka 35 - Naměřené hodnoty ve smyku u spojů □ s lepidlem Betamate 1440G	54
Tabulka 36 - Vyhodnocení spojů Δ s lepidlem Betamate 1440G po zkoušce ve smyku	55
Tabulka 37 - Vyhodnocení spojů / s lepidlem Betamate 1440G po zkoušce ve smyku.....	55
Tabulka 38 - Vyhodnocení spojů □ s lepidlem Betamate 1440G po zkoušce ve smyku	56
Tabulka 39 - Naměřené hodnoty dynamické zkoušky ve smyku s lepidlem SP 492G	59
Tabulka 40 - Vyhodnocení dynamické smykové zkoušky s lepidlem SikaPower 492G	59
Tabulka 41 - Naměřené hodnoty dynamické zkoušky ve smyku s lepidlem BM 1440G	60
Tabulka 42 - Vyhodnocení dynamické smykové zkoušky s lepidlem Betamate 1440G.....	60
Graf 1 - Mechanické vlastnosti oceli 22MnB5 v průběhu tepelného zpracování.....	19
Graf 2 - ARA diagram pro ocel 22MnB5	19
Graf 3 - Tahový diagram v odlupu vzorku 3°	42
Graf 4 - Tahový diagram v odlupu vzorku 1- s lepidlem SikaPower 492G	42
Graf 5 - Tahový diagram v odlupu vzorku 3* s lepidlem SikaPower 492G	42
Graf 6 - Tahový diagram v odlupu vzorku 9° s lepidlem Betamate 1440G	45

Graf 7 - Tahový diagram v odlupu vzorku 10- s lepidlem Betamate 1440G	45
Graf 8 - Tahový diagram v odlupu vzorku 5* s lepidlem Betamate 1440G.....	46
Graf 9 - Pevnost v odlupu	50
Graf 10 - Tahový diagram vzorku 3Δ s lepidlem SikaPower 492G	51
Graf 11 - Tahový diagram vzorku 2/ s lepidlem SikaPower 492G	51
Graf 12 - Tahový diagram vzorku 3□ s lepidlem SikaPower 492G	52
Graf 13 - Tahový diagram vzorku 7Δ s lepidlem Betamate 1440G	54
Graf 14 - Tahový diagram vzorku 9/ s lepidlem Betamate 1440G.....	54
Graf 15 - Tahový diagram vzorku 6□ s lepidlem Betamate 1440G	55
Graf 16 - Pevnost ve smyku.....	58
Graf 17 - Dynamická pevnost ve smyku	62

SEZNAM ZKRATEK

- A_{c3} - Překryštalizační teplota
- AF - Adhezní porušení
- Al-Si - Povrchová vrstva hliníku a křemíku
- AHSS - Advanced High Strength Steel
- BH - Bake Hardening
- CF - Kohezní porušení
- CP - Coplex Phase
- DF - Delaminační porušení
- DP - Dual Phase
- F_{max} [N] - Maximální síla
- HSLA - High Strength Low Alloy
- HSS - High Strength Steel
- IF - Intersticional Free
- IF-HS - Intersticional Free - High Strength
- IR - Infra Red
- KTL - Kataforézní lak
- LSS - Low Strength Steel
- PHS - Press Hardened Steel
- R_m [MPa] - Mez pevnosti
- RT - Room Temperature
- SCF - Speciální kohezní porušení
- t - tloušťka
- TRIP - Transformation Induced Plasticity
- TWIP - Twin Induced Plasticity
- TZ - Tepelné zpracování
- UHSS - Ultra High Strength Steel
- σ_s [N/mm] - Pevnost v odlupu

0 ÚVOD

Počet registrovaných osobních automobilů v České republice neustále roste, s tím souvisí i téměř nepřetržitě se zvyšující produkce osobních automobilů. Na území České republiky má svůj výrobní závod hned několik automobilek. Jsou to ŠKODA AUTO, TPCA (Toyota, Peugeot, Citroen) a Hyundai, ale sídlí zde také výrobci autobusů a nákladních automobilů. Z toho plyne, že automobilový průmysl, do kterého se nezapočítávají jen samotné automobilky, ale také jejich dodavatelé, je zde velmi rozvinutý a je jedním z nejdůležitějších sektorů pro českou ekonomiku.

S velkým počtem automobilek, a to nejen u nás, však souvisí i konkurenční boj. Každý výrobce se snaží nabízet automobily od kategorie minivozů přes nyní populární segment SUV třeba až po limuzíny. Samozřejmostí je u každého modelu prostor pro individualizaci. Kromě líbivého designu a sofistikovaných marketingových akcí zákazník při koupi vozidla ovlivňují zejména kvalita zpracování, množství bezpečnostních prvků, jízdní vlastnosti, spotřeba paliva a s ní související emise.

Spotřeba paliva a produkce emisí výfukových plynů souvisejí jednak s účinností spalovacího motoru, ale když se na to podíváme z druhé strany, tak jsou tyto dvě veličiny značnou měrou ovlivněny i okamžitou hmotností vozidla. Výrobci tedy usilují mimo jiné o snížení spotřeby paliva a množství výfukových plynů zmenšením pohotovostní hmotnosti vozidla. Tato snaha je v rozporu s tím, že automobily se neustále zvětšují a u převážné většiny je nová generace modelu větší než model předchozí. Největší podíl na snižování hmotnosti automobilů má to, z čeho je vlastně karoserie automobilu vyrobena. Konstrukce z materiálů jako je hliník, hořčík a kompozitní materiály by automobil značně prodražily. Proto se karoserie z těchto materiálů používají především u sportovních vozů. Automobily pro běžné užívání jdou zatím spíše cestou snižováním tloušťky ocelových plechů a použitím za tepla tvářených vysokopevnostních ocelí.

Protože je v konstrukci karoserie hojně využívána ocel, je nutno se vypořádat s její velkou nečností a tou je náchylnost ke korozi. Největší skupinu z ochranných povrchů tvoří zinek. Zinek je na díly karoserie nanášen buď žárově, nebo elektrolyticky. Ovšem povrchovou ochrannou vrstvou u za tepla tvářených vysokopevnostních ocelí tvoří slitina hliníku a křemíku z důvodu odolnosti proti vysokým teplotám a oxidaci.

Veškeré díly karoserie je nutné vhodným způsobem spojit, aby tvořili jeden celek. Při použití šroubových a nýtových spojů může při montáži docházet k poškozování ochranné povrchové vrstvy ocelového plechu a tím může být snížena korozní odolnost. Navíc se od otvorů pro šrouby a nýty mohou šířit trhliny a ne všude lze tyto spoje použít ať už z funkčních či estetických důvodů. Ve velkém množství je při spojování jednotlivých dílů karoserie využíváno svařování buď tavné, kdy se materiály spojí vlivem tepla, nebo bodové, kdy se materiály spojí za působení tepla a tlaku. Nevýhodou svařování je vznik vnitřních pnutí, změna vnitřní struktury materiálu a s tím související i změna jeho mechanických vlastností. Přes uvedené nevýhody, a některé další, má svařování spoustu výhod, a proto lze snad na každém automobilu najít tisíce svarových spojů. Ani jednu ze zde uvedených nevýhod při spojování dílů karoserie nenajdeme u lepených spojů, které se v poslední době začínají čím dál více využívat.

Lepené spoje mají řadu výhod. Umožňují spojit různé konstrukční materiály, které by jiným druhem spojování bylo možné spojit jen obtížně, zabezpečují těsnost spoje a tím přispívají ke zvýšení odolnosti proti korozi. Při lepení nedochází ke koncentraci napětí, neboť se síly rozloží do větší plochy, než je tomu u jiných druhů spojování, tím se zvyšuje pevnost i tuhost takovýchto spojů. Lepené spoje tlumí hluk a omezují přenášení vibrací, při nanášení nijak neporušují povrch lepeného materiálu. V některých případech použití lepených spojů může zkracovat čas potřebný na vytvoření spoje dvou součástí, čehož je využíváno v sériové výrobě automobilů. Jednou z nejdůležitějších výhod lepených spojů, zvláště v poslední době, je to, že přispívají k redukci hmotnosti karoserie.

Cílem této práce je připravit vzorky lepených spojů z materiálů představujících reálný spoj na karoseriích automobilů, tyto spoje podrobit jak statickým, tak i dynamickým zkouškám, vzorky zanalyzovat a zkoušky vyhodnotit a posoudit vliv statické a dynamické pevnosti lepených materiálů na přilnavost a pevnost lepeného spoje. Výsledky provedených testů zpřesní pohled na reálný vliv lepidel na výslednou pevnost strukturních dílů karoserie a chování pevnostních ocelí v takovýchto aplikacích.

1 TEORETICKÁ ČÁST

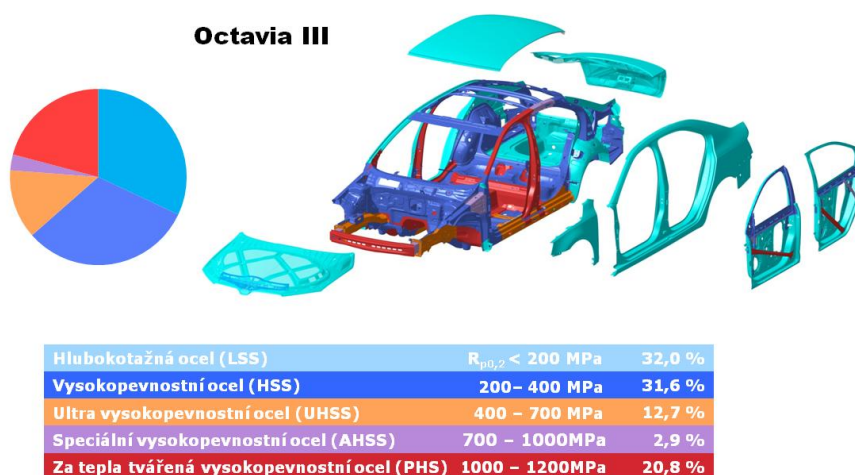
1.1 Ocele používané v automobilovém průmyslu

Zatím stále nejběžnějším materiálem pro výrobu automobilové karoserie je ocel, ačkoli pomalu přestává být výjimkou používání slitin hliníku či kompozitní materiály za účelem snížení hmotnosti automobilu.

V automobilovém průmyslu se používá několik druhů ocelových plechů. Kvůli rozdílným vlastnostem se každý druh hodí pro jinou aplikaci. Možností, jak lze oceli rozdělit, existuje několik. Jednou z nich je rozdělení ocelí podle dosahované meze kluzu.

1.1.1 Rozdělení ocelí podle dosahované meze kluzu

Na obrázku 1 se nachází kompozice karoserie automobilu Škoda Octavia III z jednotlivých dílů, které jsou v barvě dle kategorie podle dosahované meze kluzu.



Obrázek 1 - Materiálový koncept Škoda Octavia III [1]

Hlubokotažné oceli (LSS - $R_{p0,2} < 200 \text{ MPa}$) - Používají se pro díly určené k tváření, jako jsou střecha, postranice, kapota atd. Mívají pouze feritickou strukturu a obsah legujících prvků je velmi malý. Mezi jejich veliké přednosti patří výborná tažnost ($A_{80\text{mm}} \approx 45\%$), která se hodí k výrobě velkých karosářských složitě tvarovaných výlisků, kde nejsou kladeny požadavky na velkou pevnost a nosnost. [2] Do této skupiny patří IF oceli a Mild oceli.

Vysokopevnostní oceli (HSS - $R_{p0,2}$: 200 - 400 MPa) - Z této třídy oceli jsou vyráběny podlaha, C – sloupky, téměř celá přední část a další. Charakterizujeme je jako jednofázové

feritické ocele, obsahují nízký obsah legujících prvků (např. Mn a Si) a mají nízký obsah uhlíku. Do této třídy patří IF-HS, BH a HSLA oceli. Patří sem ocel HX340LAD.

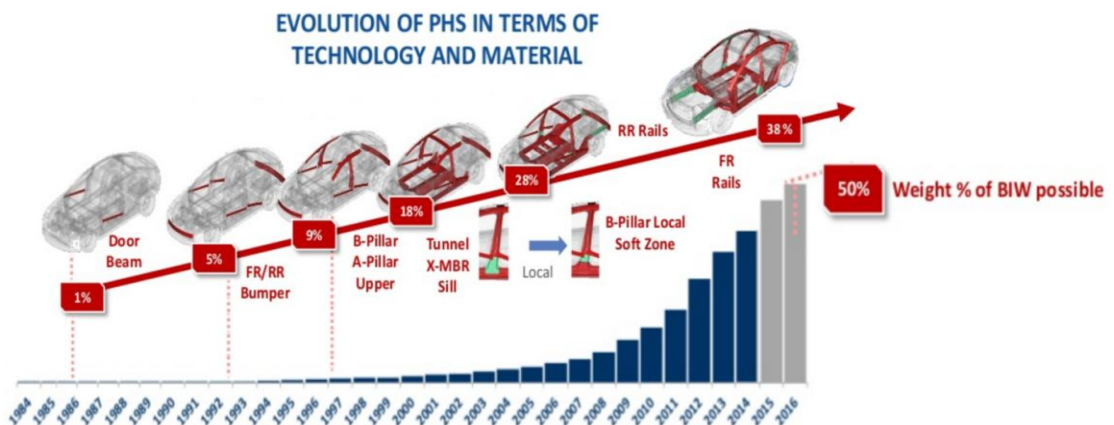
Ultra vysokopevnostní oceli (UHSS - $R_{p0,2}$: 400 - 700 MPa) - Díly z této oceli najdeme v podobě dílů, které svou deformací při nárazu omezují síly působící na posádku - tzv. řízená deformace. Jsou to díly v oblastech nosníků předního a zadního nárazníku, úhlopříčné výtuhy dveří a části prahů. Patří sem DP, TRIP a TWIP oceli.

Speciální vysokopevnostní oceli (AHSS - $R_{p0,2}$: 700 - 1 000 MPa) - Použití této třídy oceli nalezneme u předního či zadního nárazníku, prahů a části střechy. Patří sem CP oceli, které mají feriticko - bainitickou matici a obsahují i malé množství martenzitu, zbytkový austenit a perlit. [3]

Za tepla tvářené vysokopevnostní oceli (PHS - $R_{p0,2} > 1\ 000$ MPa) - Díky své vysoké pevnosti tyto oceli našli využití v konstrukci A a B sloupků, středového tunelu, nárazníků atd. Patří sem ocel 22MnB5.

1.1.2 Za tepla tvářená vysokopevnostní ocel 22MnB5

Ocel 22MnB5 je tepelně zpracovávaná ocel používaná v automobilovém průmyslu u dílů zajišťující zvýšení bezpečnosti (viz obrázek 1) a zároveň se jejím použitím snižuje hmotnost automobilu. Proti dílům z konvenční za studena tvářené třídy oceli mají díly z oceli 22MnB5 o 30 až 50 % nižší hmotnost. [4] Dalšími výhodami této oceli jsou dobrá tvarovatelnost za tepla a malé odpružení, velmi vysoké hodnoty meze pevnosti a meze kluzu, jednotné mechanické vlastnosti po celém dílu. [5] Kvůli všem těmto vlastnostem se tato ocel používá u čím dál více komponent karoserie.



Obrázek 2 - Evoluce PHS oceli v rámci technologie a materiálu [6]

Tabulka 1 - Mechanické vlastnosti oceli 22MnB5 dle TL 4225 [7]

Materiál	Mez kluzu	Mez pevnosti	Tažnost	Tvrдость HV10
	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	A _{80mm} [%]	
22MnB5 - před TZ	320 – 360	500 – 700	≥ 14	-
22MnB5 - po TZ (1 mm < t < 1,25 mm)	950 – 1250	1300 – 1650	≥ 4	400 - 520

Chemické složení udávané normou TL 4225 je uvedeno v tabulce 2 a toto složení vyžaduje koncern VW od svých dodavatelů. Každý výrobce se pak řídí vlastními normami, které jsou na chemické složení přísnější než norma TL 4225, aby se i při malých odchylkách od své vlastní normy stále vešel do chemického složení vyžadovaného zákazníkem. Stojí za to si povšimnout v chemickém složení obsahu manganu a nepatrného množství bóru, jak již název této oceli vypovídá, které jsou hlavními legurami. Tyto 2 prvky mají za následek vynikající kalitelnost.

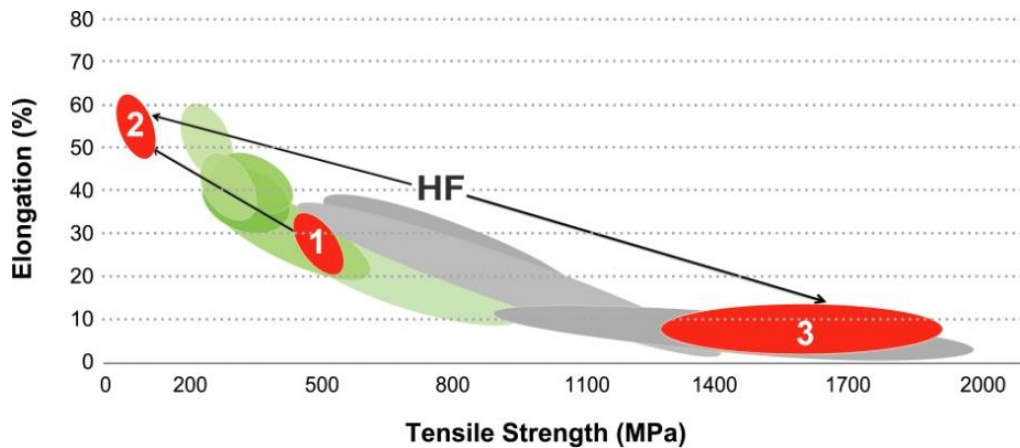
Tabulka 2 - Chemické složení oceli 22MnB5 dle TL 4225 [7]

Prvek	Chemické složení oceli 22MnB5	
	min. [%]	max. [%]
C	0,2	0,25
Si		0,5
Mn	1,1	1,5
Cr		0,35
Mo		0,35
P		0,025
S		0,005
Ti	0,02	0,05
Al	0,02	0,06
B	0,002	0,005
Cu		0,2

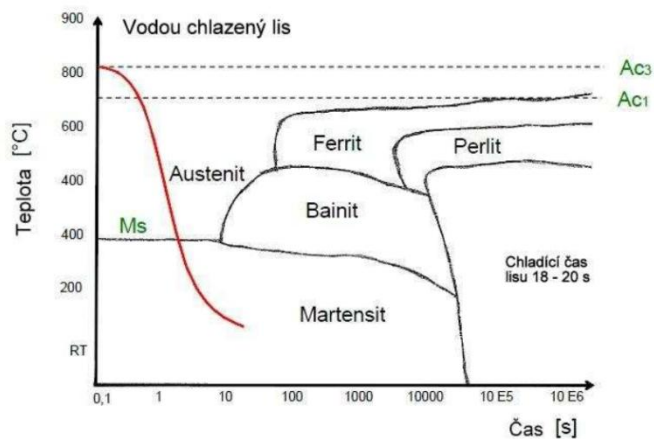
1.1.2.1 Princip tepelného zpracování oceli 22MnB5

Před tepelným zpracováním má ocel 22MnB5 feriticko-perlitickou strukturu a mechanické vlastnosti viz tabulka 1. Aby byl využit potenciál této oceli, musí se tepelně zpracovat. Princip tepelného zpracování je ten, že se ocel zahřeje nad překrystalizační teplotu

A_{c3} (pro 22MnB5 je to přibližně 790 °C) [8]. Tím se feriticko-perlitická struktura přemění na strukturu austenitickou (přechod z bodu 1 do bodu 2 v grafu 1). Austenitická struktura má větší tažnost a nižší pevnost, proto lze ocel v této struktuře snadněji přeměnit do požadovaného tvaru. Následně proběhne kalení (přechod z bodu 2 do bodu 3 v grafu 1), kdy rychlost ochlazování musí být alespoň $27 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{s}}$ [3], abychom získali plně martenzitickou strukturu oceli s vlastnostmi po tepelném zpracování dle tabulky 1.



Graf 1 - Mechanické vlastnosti oceli 22MnB5 v průběhu tepelného zpracování [9]

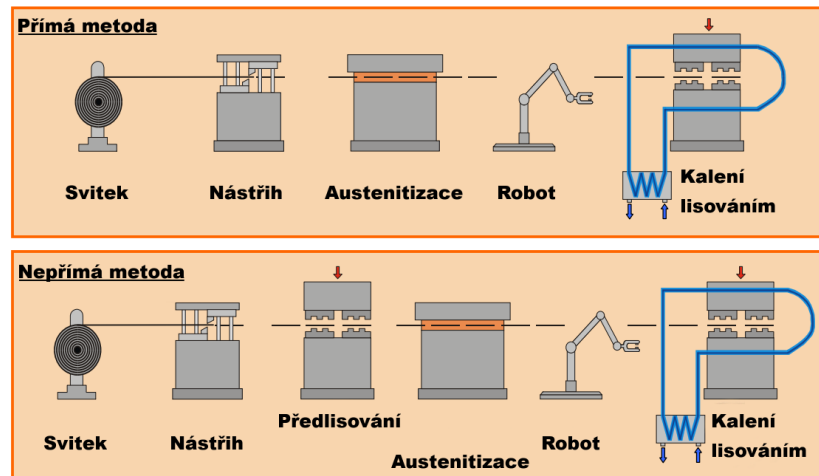


Graf 2 - ARA diagram pro ocel 22MnB5 [3]

1.1.2.2 Výroba dílů z oceli 22MnB5

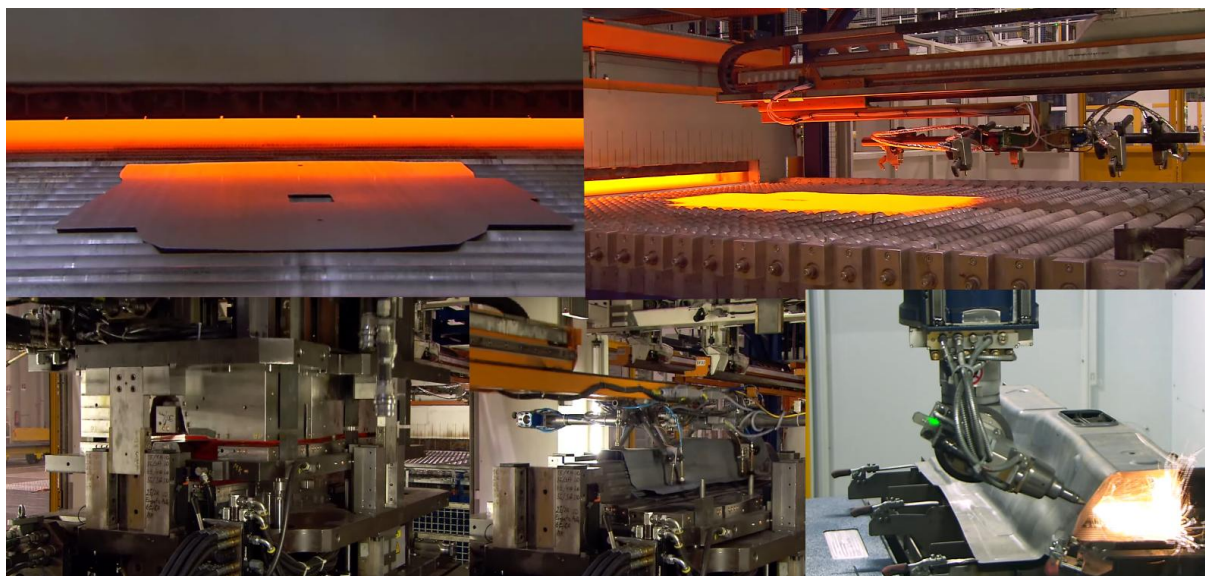
Používají se dvě metody, jak docílit požadovaných vlastností této oceli. Jsou to metody přímá a nepřímá. Obě metody se liší pouze v jediném kroku (obrázek 3). Přímá metoda je vhodná pro zpracování 22MnB5 plechů s Al-Si povrchovou vrstvou. Do nepřímé metody je proti přímé vložen krok předlisování. Je zřejmé, že nepřímá metoda bude složitější a náročnější jak časově, tak i z finančního hlediska. Tato metoda ovšem umožňuje zpracování

plechů s žárově nanesenou vrstvou zinku, který na oceli vytváří dobrou protikorozní ochranu. Nepřímá metoda se však zatím v sériové výrobě nepoužívá.



Obrázek 3 - Proces výroby oceli 22MnB5 [10]

Zde bude popsána používanější přímá metoda. Do výrobního závodu je ocelový plech dovezen ve svítcích. Zde se musí rozvinout a nastříhat. Poté je každý vystřížený díl uchopen robotem, označen a vložen do průběžné pece. V průběžné peci, kde dochází k přeměně feriticko-perlitické struktury na austenitickou, se pohybuje teplota od přibližně 830 °C na vstupu až třeba po 950 °C na výstupu. Záleží na velikosti dílu, tloušťce dílu a dobách, které díl setrvá v jednotlivých sekcích pece. Celková doba dílem strávená v peci bývá od 4 do 8 minut. V peci se díl pohybuje pomocí soustavy rolen, na kterých je položen. Po vyjetí dílu z pece robot neprodleně uchopí díl a vloží jej do lisu. V této době se díl pohybuje na vzduchu o teplotě, která panuje uvnitř výrobní haly (20 – 25 °C), a dochází k jeho chladnutí rychlostí 10 - 20 $\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{s}}$. Záleží na tloušťce plechu. [11] Nutno podotknout, že rychlost ochlazování na vzduchu není dostatečná pro vytvoření plně martenzitické struktury. Ta by musela být minimálně 27 $\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{s}}$. Před vložením dílu do lisu díl ještě nemá požadovaný tvar a je tedy nutné zachovat jeho austenitickou strukturu až do vytvarování. Přechod mezi pecí a lisem trvá méně než 10 sekund. Z tohoto důvodu se díl zahřívá třeba až na 950 °C, ačkoli teplota A_{c3} se pohybuje kolem 790 °C. V lisu dojde ke zformování dílu do požadovaného tvaru a při kontaktu chlazené formy lisu s dílem také k zakalení a přeměně austenitické struktury na strukturu martenzitickou. Nyní již má díl požadované vlastnosti. Zbývá již pouze přesně doladit rozměry, případně vyřezat požadované otvory. To se činí pomocí laserových řezacích strojů. Většina zmíněných operací je na obrázku 4.



Obrázek 4 - Výroba středového tunelu [12]

1.1.3 Vysokopevnostní ocel HX340LAD

Jedná se o ocel, která je řazena do kategorie vysokopevnostních ocelí. Struktura této oceli je feriticko-perlitická. Používá se u dílů karoserie, kde je vyžadována nosná nebo výtuzná funkce dílu. Tato ocel se vyznačuje dobrou tažností, proto finální výlisky mohou mít i poněkud složitý tvar s množstvím výtuzných žebor, prolisů atp. Mechanické vlastnosti a chemické složení dle normy DIN EN 10346 jsou uvedeny v tabulkách 3 a 4.

Tabulka 3 - Mechanické vlastnosti oceli HX340LAD [13]

Materiál	Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	Mez pevnosti R_m [MPa]	Tažnost A_{80mm} [%]
HX340LAD	340 – 420	410 – 510	> 21

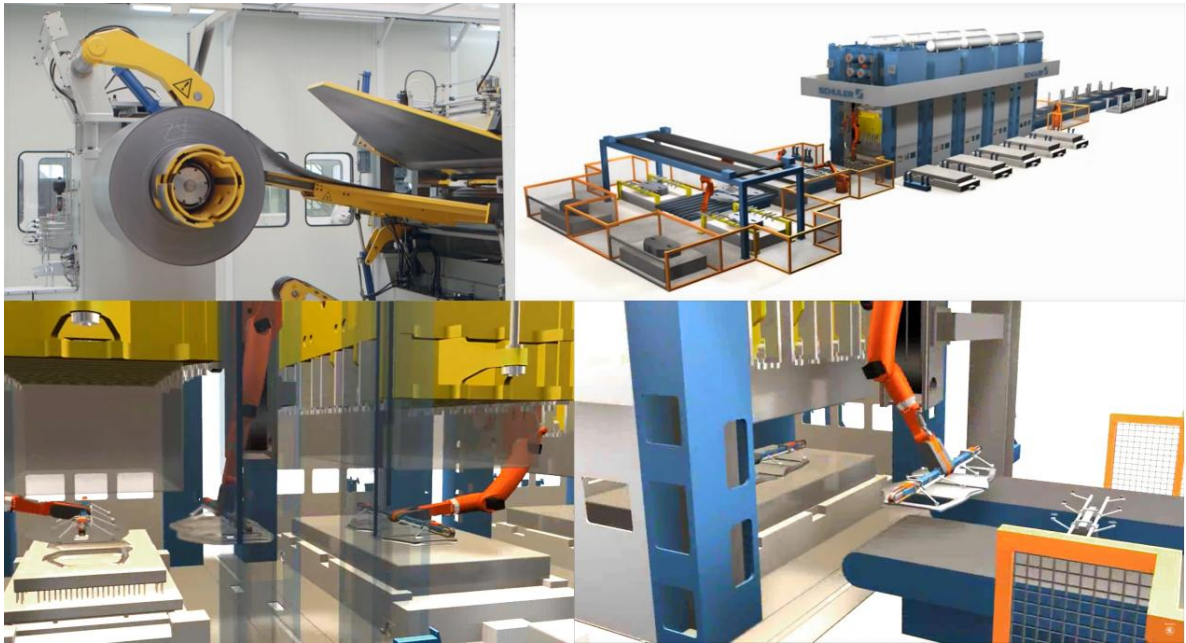
Tabulka 4 - Chemické složení oceli HX340LAD [13]

Materiál	C max. [%]	Si max. [%]	Mn max. [%]	P max. [%]	S max. [%]	Al total [%]	Nb max. [%]	Ti max. [%]
HX340LAD	0,12	0,50	1,4	0,030	0,025	≥ 0,015	0,10	0,15

1.1.3.1 Výroba dílů z oceli HX340LAD

Ocel pro výrobu dílů karoserie z tohoto materiálu přijde k zákazníkovi většinou ve formě svitku, který je následně rozvinut a nastříhán na přístřihy. Přístřih se nejprve očistí, aby se zbavil drobných nečistot, a poté je zpravidla před samotným tvářením namazán, aby

došlo ke zmírnění kontaktních tlaků a pozitivně se ovlivnila vlastní tvářitelnost materiálu. Následuje docílení vlastní deformace procesem hlubokého tažení, kdy je plochý přístřih tlakem nástrojů deformován do požadovaného tvaru. Než je z přístřihu vytvořen finální výlisek, musí projít několika technologickými operacemi, které mají odlišné lisovací nástroje v rámci postupového nástroje. Poté jsou výlisky roboty nebo operátory vyndány z lisu a uloženy na vynášecí pás, kde probíhá výstupní kontrola. Postup lisování za studena je na obrázku 5.

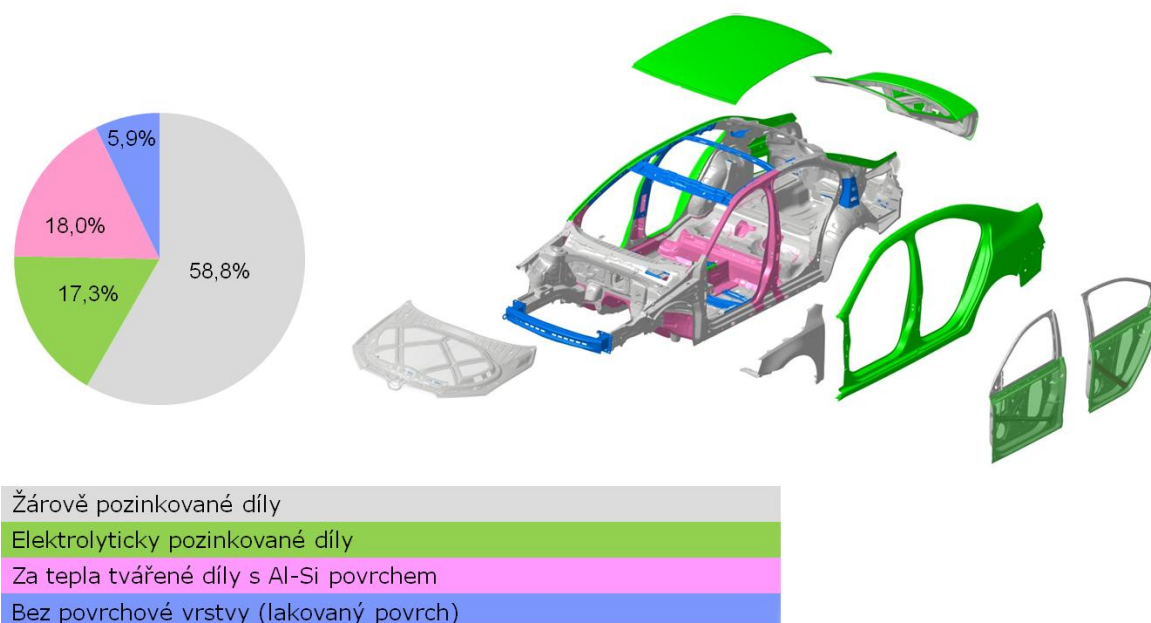


Obrázek 5 - Lisování za studena [14]

1.2 Povrchové ochrany

V konstrukci karoserie je nejvíce používaným materiálem ocel. Ta má ovšem sama o sobě velkou náchylnost ke korozi. Korozi karoserie navíc podporuje pohyb automobilu v subtropických a tropických oblastech s dlouhodobou vysokou vlhkostí, atmosférách s velmi vysokým znečištěním (SO_2 : nad $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$) včetně průmyslového znečištění, nebo místech se silným vlivem chloridů například v přímořských oblastech. Korozi lze bránit legováním oceli, změnou korozního prostředí, katodickou ochranou, částečně i konstrukčním řešením součástí, ale nejhojněji využívanou protikorozní ochranou v automobilovém průmyslu jsou povrchové ochrany. [15]

Povrchové ochrany se používají proto, protože oddělí korozní prostředí od oceli. Zabrání tedy přístupu vlhkosti a kyslíku k základnímu materiálu. Ochranné povlaky lze rozdělit na organické a anorganické. Mezi organické povlaky řadíme nátěrové hmoty, které mají sami o sobě dobrou korozní odolnost, mezi anorganické povlaky řadíme kovy a jejich slitiny. Z nich je nejvíce používaným prvkem zinek, popřípadě se používají slitiny zinku. Zinek může být na díly karoserie nanášen buď žárově, nebo elektrolyticky. Pro ocele, které svůj tvar získávají při tváření za vysokých teplot, se jako povrchová ochrana používá slitina hliníku a křemíku. Dále budou popsány Al-Si povrchová vrstva a zinková povrchová vrstva, obě nanoseny žárově, jelikož tyto ochranné povlaky byly použity na zkušebních vzorcích, které sloužily k experimentům pro tuto diplomovou práci.



Obrázek 6 - Ochranné povlaky Škoda Octavia III [1]

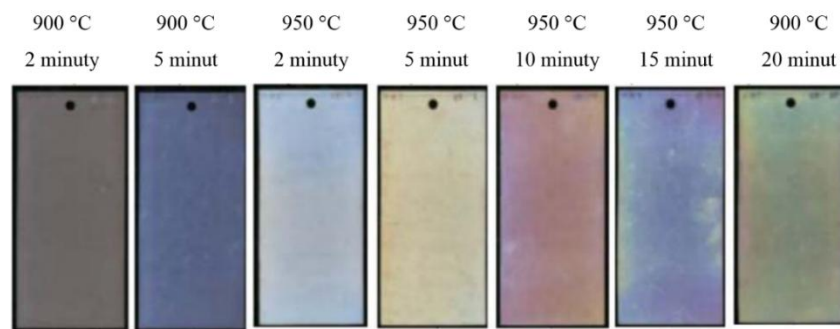
1.2.1 Al-Si povrchová vrstva

Za tepla tvářené vysokopevné oceli přicházejí k zákazníkovi z oceláren již s Al-Si povrchovou vrstvou, která je na ocelové plechy nanášena žárově a obsahuje přibližně 90 % hliníku a 10 % křemíku. Pokud by materiál byl bez této vrstvy, docházelo by k vysokoteplotní oxidaci a při přepravě z pece do lisu k tvorbě okujů, které znehodnocují kvalitu povrchu, a tento jev je doprovázen tvorbou trhlin. Al-Si vrstva zabraňuje také nízkoteplotní oxidaci.

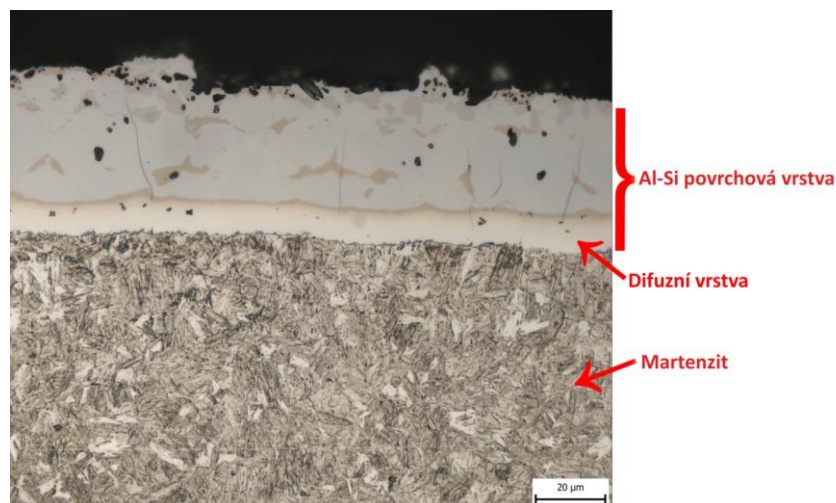
Al-Si povrchová vrstva má však i negativní stránky a to z hlediska nestability při svařování. Důvodem je odlišná hodnota odporu povrchové vrstvy a základního materiálu

s tím, že hodnota odporu povrchové vrstvy je mnohem větší. Složení i tloušťka povrchové vrstvy mohou být v různých místech jednoho dílu odlišné, a proto i při svařování za stejných parametrů dostaneme svary různé kvality.

Vlivem tváření za tepla se mění vlastnosti povrchové vrstvy. Samotná Al-Si vrstva má teplotu tání přibližně 600 °C. Při tepelném zpracování je tato teplota ovšem překročena, ale vlivem ohřevu v peci vznikají sloučeniny na bázi Fe-Al (FeAl_3 a FeAl) na rozhraní povlaku a základního materiálu. Tyto sloučeniny mají mnohem větší teplotu tání než původní povlak a přemísťují se na povrch povlaku, kde zabraňují roztavení povrchové vrstvy. S rostoucí dobou pobytu v peci se zvětšuje tloušťka difuzní vrstvy, také se povrch povlaku více obohacuje oxidy, které mají za důsledek změnu barvy povrchové vrstvy (obrázek 7). Značný je také rozdíl v tvrdostech povrchových vrstev před a po tváření za tepla. Po tepelném zpracování je Al-Si vrstva značně tvrdší, ale také křehčí a má odlišnou strukturu. To je důsledek toho, že při tepelném zpracování difunduje Fe do Al-Si vrstvy a tvoří se intermetalické fáze (Fe-Al-Si). [1], [6], [12], [16], [17]



Obrázek 7 - Závislost barevného odstínu Al-Si vrstvy na době tepelného zpracování [17]



Obrázek 8 - Ocel 22MnB5 s povrchovou vrstvou Al-Si po TZ

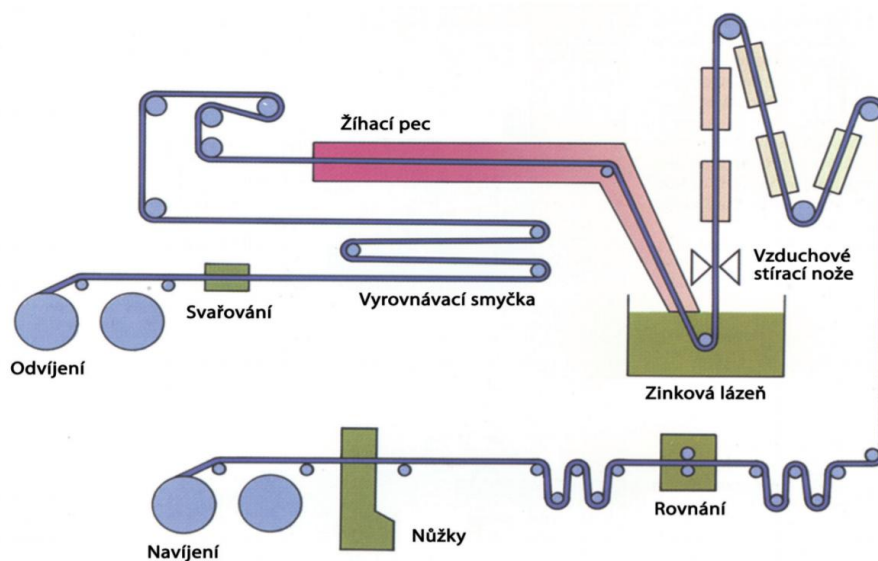
Tabulka 5 - Specifikace tloušťky povrchové vrstvy AS150 [7]

Povrchová vrstva	AS60/60	
Označení dle DIN EN 10346	AS150	
Celková tloušťka povrchové vrstvy na jednu stranu plechu [μm]	Typická hodnota	35
	Rozsah	30 - 50
Tloušťka difuzní vrstvy na jednu stranu plechu [μm]	≤ 16	

1.2.2 Zinková povrchová vrstva nanesená žárově

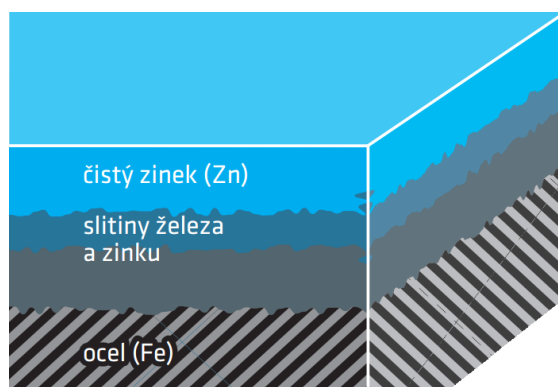
Zinek se na ochranu proti korozi používá kvůli dlouhé životnosti vrstvy, rovnoměrnému povrchu vrstvy (neztenčuje se na hranách), má dobrou odolnost i proti mechanickým vlivům, možnosti kombinace s dalšími povlaky atd. „Zinkový povlak koroduje na povrchu oceli a poskytuje katodickou ochranu poškozeným místům v povlaku. Na rozhraní mezi zinkovým povlakem a povrchem oceli nedochází ke vzniku koroze.“ [15 s. 7] Je - li povlak poškozen, tvoří se galvanický článek. “Ocel se na poškozeném místě stává katodou galvanického článku a zinek anodou, která ocel chrání proti korozi.“ [15 s. 12] "Zinkový povlak při svařování v automobilovém průmyslu i jinde působí problémy tvorbou pórovitosti, rozstříkem apod. Navíc dochází k jeho odpaření v blízkém okolí spoje, což později vede ke vzniku koroze." [18]

Technologie vlastního zinkování jsou pro automobilový průmysl dvě. Jedná se o proces nanášení zinku žárově a elektrolytickou metodou. V současné době se používají obě technologie, přičemž převládající je žárové zinkování. To je v porovnání s elektrolytickou metodou finančně příznivější a dostupnější. Při žárovém zinkování se zinková vrstva nanáší na očištěný povrch oceli zbavený mastnoty, okují, rzi a jiných nečistot. Ocelové součásti se ponořují do roztaveného zinku a na oceli se vytváří slitina Fe-Zn fází a vnější vrstva čistého zinku. V případě žárového zinkování dlouhých tenkých ocelových plechů probíhá proces následovně. Základním materiálem jsou ocelové za studena válcované plechy v podobě svitků. Ty se v průběhu procesu svařují do nekonečných pásů. Po odmaštění, moření nebo oxidaci putuje ocelový pás do žíhací pece, kde se zbaví oxidů a zároveň probíhá žíhání na měkko. Dále plech vstupuje do zinkové lázně a z ní svisle vzhůru mezi vzduchové nože, které upravují tloušťku vrstvy zinku. Poté se plech chladí, rovná, stříhá, konzervuje olejem a balí do svitků. Tato metoda se používá pro dlouhodobou korozní ochranu. [15]



Obrázek 9 - Schéma kontinuálního žárového zinkování plechu [15]

Žárově nanesená vrstva zinku tvoří na povrchu oceli difuzní vrstvu a vzniknou tak neoddělitelné slitiny železa a zinku. Tato povrchová ochrana má vysokou odolnost proti korozi díky pevnému zakotvení v oceli díky difuzní vrstvě. [19]



Obrázek 10 - Schéma povlaku vytvořeného žárovým zinkováním [19]

Tabulka 6 - Hodnoty žárově nanesené zinkové vrstvy Z100 [13]

Označení povrchové vrstvy	Minimální množství zjištěné povrchové vrstvy [$\frac{g}{m^2}$]		Teoretická hodnota výšky povrchové vrstvy jednoploché zkoušky [μm]		Hustota [$\frac{g}{cm^3}$]
	Tříplochá zkouška	Jednoplochá zkouška	Typická hodnota	Rozmezí	
Z100	100	85	7	7 – 12	7,1

Ve ŠKODA AUTO se mimo žárového zinkování používá i elektrolytické zinkování. Technologie elektrolytického pozinkování se používá pro povrchové a viditelné díly karoserie (např. střechy a rámy dveří), které se spojují laserovým pájením. Laserové pájení na žárově pozinkovaných ocelích je komplikovaný proces a není s ohledem na vyšší míru oxidace povrchu stabilní (vznik rozstříků a pórů). Moderní automobilový průmysl hledá aktuálně modifikované technologie laserového pájení, kterými by bylo možné dané materiály bez komplikací spojovat. Jednou z těchto technologií je například multifokální pájení.

1.3 Lepení při stavbě karoserie

Při stavbě karoserií automobilů jsou na lepidla kladeny specifické požadavky. Ocelové svitky se před přepravou konzervují olejem, aby nedocházelo ke korozi už během přepravy svitků k zákazníkovi. Zároveň je na ocelové plechy nutné nanést jistou vrstvu maziva před jejich tvářením, protože bez maziva vylisovat ocelové plechy za studena nelze. Do oleje, který na povrchu ocelového plechu zůstává i po přechodu mezi lisovnou a svařovnou, se chytají nečistoty z okolního prostředí a nejsou před nanášením lepidla nijak odstraňovány. Lepidla používaná při stavbě karoserie musejí k povrchu plechu přilnout i za takovýchto podmínek a musí vytvořit dostatečně kvalitní spoj. [20]

Pro pevnostní spoje se na karoseriích automobilů používají epoxidová lepidla. Hlavními složkami epoxidových lepidel jsou epoxidová pryskyřice a tvrdidlo. Podle použitého tvrdidla se epoxidová lepidla dělí na jednokomponentní a dvoukomponentní. "Pokud tvrdidlo reaguje s pryskyřicí už za pokojové teploty, musí být dodáváno odděleně. Tyto systémy jsou tedy dvoukomponentní a vyžadují přesné míchání těsně před aplikací. Pokud tvrdidlo reaguje pouze za zvýšené teploty, může být rozmícháno nebo rozpuštěno v pryskyřici. Takové systémy jsou jednokomponentní a dávkují se na místě bez nutnosti míchání." [20 s. 15] Ve svařovnách automobilek se používají z důvodu praktičnosti výhradně jednokomponentní epoxidová lepidla.

Jednokomponentní epoxidová lepidla používaná při stavbě karoserie mají vysokou viskozitu, proto se ve svařovně nanášejí pomocí tlakového nanášecího zařízení. Tato zařízení mívají možnost vyhřívání. Zahřátím lepidla dojde ke snížení jeho viskozity a zlepšení jeho aplikačních vlastností. Nanášecí tryska též bývá vyhřívána, což umožňuje zmenšení průměru trysky a lepidlo může být nanášeno přesněji a v tenčích vrstvách. Po vytvoření lepeného spoje

nemá tento spoj však žádnou pevnost ani tuhost. Vytvrzení epoxidových lepidel proběhne až v lakovně zároveň s vytvrzováním kataforézního laku (KTL), kde je karoserie vystavena teplotě 180 °C po dobu 20 minut. [20]

Epoxidová lepidla svými vlastnostmi podporují ostatní druhy spojování a celá karoserie pak tvoří tuhý celek. Proti jiným druhům spojů umožňuje lepení bezproblémové spojení dvou různých materiálů, zabezpečují těsnost spoje a tím přispívají ke zvýšení odolnosti proti korozi, nedochází ke koncentraci napětí, neboť se síly rozloží do větší plochy, tlumí hluk a omezují přenášení vibrací, při nanášení nijak neporušují povrch lepeného materiálu, přispívají k redukci hmotnosti karoserie, v sériové výrobě umožňují zkrátit čas potřebný na vytvoření spoje dvou součástí. Kvůli těmto vlastnostem množství lepených spojů na karoseriích stále roste.

Tabulka 7 - Mezigenerační porovnání množství spojů [21]



	Fabia II	Fabia III	Δ
Svařovací body [ks]	3 820	3 884	+64
Tavné sváry [mm]	3 050	1 658	-1392
Letování [mm]	1 115	903	-212
Laser [mm]	4 398	4 425	+27
Lepidla [mm]	27 657	35 399	+7742

Pro vytvoření pevného spoje lepením jsou důležité tyto parametry:

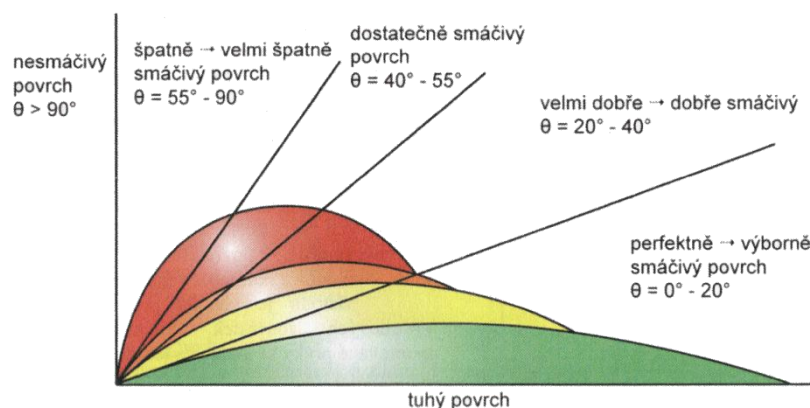
- Adheze
- Koheze
- Smáčivost
- Lepený materiál
- Vhodná konstrukce spoje

Adhezi lze definovat jako přitahování dvou povrchů adhezními silami. "Adheze souvisí s molekulovou strukturou lepidla. Je výsledkem působení fyzikálních sil, mezimolekulárních a chemických vazeb." [22 s. 1] Jako příčiny vzniku adhezních sil jsou prezentovány tyto teorie:

- Mechanická teorie
- Difuzní teorie
- Adsorpční teorie
- Chemická teorie
- Elektrostatická teorie

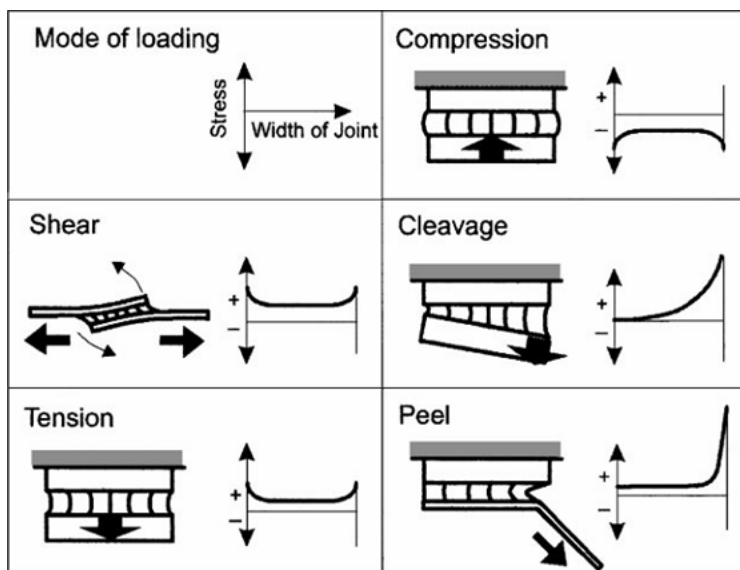
"Koheze (někdy též vnitřní adheze) je tzv. soudržnost. Charakterizuje stav látky (lepidla), ve které drží její částice působením mezimolekulárních a valenčních sil pohromadě. Velikost koheze udává tzv. kohezní energie, což je velikost energie potřebná k odtržení jedné částičky od ostatních." [22 s. 1]

Smáčivost je schopnost kapaliny (lepidla) udržovat kontakt s pevným povrchem. Dobré smáčení povrchu je důležité pro zatékání lepidla do nerovností v adherendu a pro co největší kontaktní plochu. Dobrá smáčivost je předpokladem pro kvalitní lepený spoj. Smáčivost závisí na povrchovém napětí lepidla a lepeného substrátu. Pokud je povrchové napětí lepidla nižší, než je povrchové napětí substrátu, dojde k rozlití lepidla po povrchu substrátu. Pokud je naopak povrchové napětí lepidla vyšší než povrchové napětí substrátu, lepidlo se nerozlije a kapka lepidla se drží na povrchu jako kulička. [23]



Obrázek 11 - Rozdělení smáčivosti povrchů podle velikosti smáčecího úhlu [24]

Na pevnost lepeného spoje má velký vliv lepený materiál, což je velmi úzce provázáno s konstrukcí lepeného spoje. Jak se v provedených experimentech ukázalo. Na pevnost lepeného spoje má vliv krom pevnosti materiálu také pevnost jeho povrchové vrstvy. Pevnost jednotlivých spojů ovlivňuje způsob rozložení napětí ve spoji, což není ovlivněno pouze druhem zatěžování, tedy konstrukcí spoje, ale i použitým materiálem. To se ukázalo zejména při zkouškách v odlupu, kde došlo k velmi odlišné deformaci materiálu 22MnB5 a HX340LAD viz praktická část.

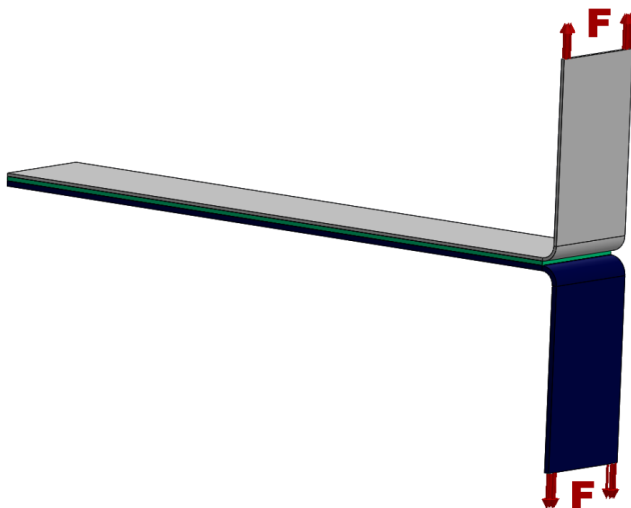


Obrázek 12 - Způsoby zatížení lepených spojů [25]

Hodnoty pevnosti závisí i na druhu a množství použitých maziv, morfologii povrchů substrátů, teplotě okolního prostředí a dalších parametrech. Z množství proměnných vyplývá, že je třeba každou variantu spoje odzkoušet při daných podmínkách, s danými materiály, jejich povrchovými ochranami a s určitým typem lepidla. Nelze předem jednoznačně předvídat, jakých pevnostních charakteristik bude spoj dosahovat, které místo bude pro spoj kritické a jaké typy porušení se budou po destrukci spoje objevovat a v jakém množství.

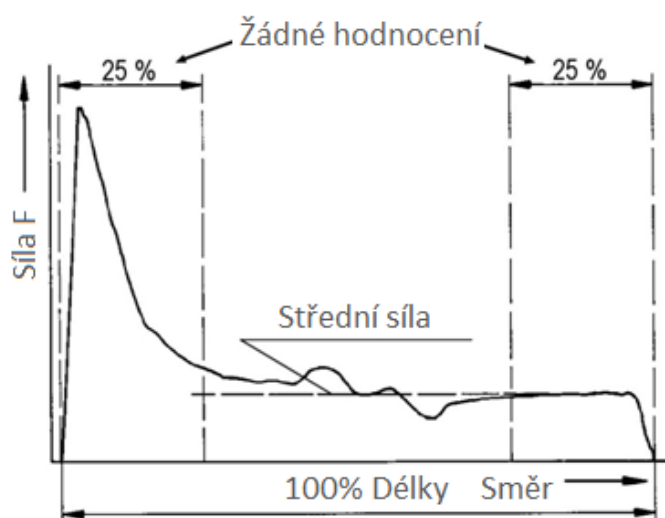
1.3.1 Zkouška pevnosti v odlupu - ISO 11339

Norma ISO 11339 specifikuje test v odlupu pro lepidla, kdy vzorek má podobu písmene T a lepený spoj je zatěžován přiloženými silami na volné konce. Dle této normy délka slepené plochy měří 150 mm, délka ohnutých konců je 50 mm a šířka vzorku je 25 mm. Rychlost rozevírání vzorku je $100 \frac{mm}{min}$ a měla by být po celou dobu testu přibližně stejná.



Obrázek 13 - Schéma zkoušeného spoje dle normy ISO 11339

Výsledkem je střední síla (obrázek 14) potřebná k destrukci vzorku, která působí na ploše o délce 50 % z délky slepené plochy. Krajní slepené plochy o délce 25 % z lepené délky nemají na vyhodnocení pevnosti v odlupu vliv. Pevnost v odlupu se vypočte jako podíl střední síly a šířky vzorku. [26]

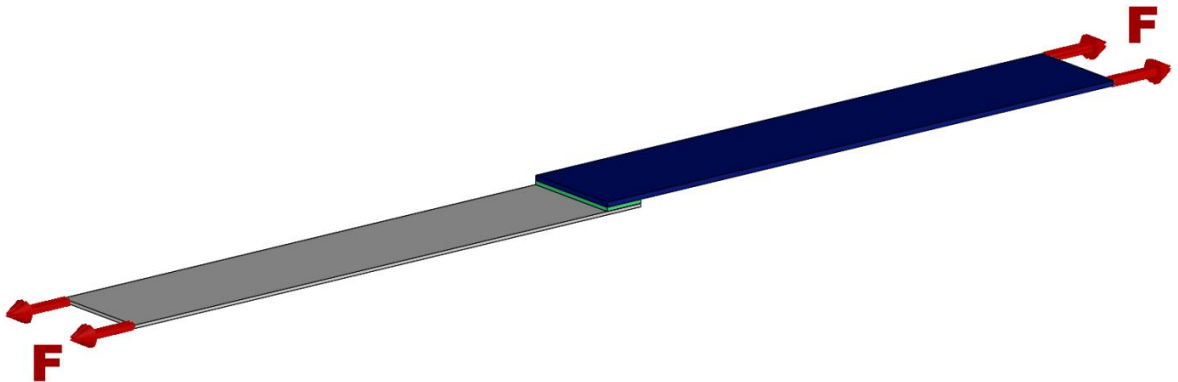


Obrázek 14 - Vyhodnocení zkoušky v odlupu [21]

1.3.2 Zkouška pevnosti ve smyku při zatěžování tahem - PV 12.35

Norma PV 12.35 popisuje podmínky pro zatěžování lepených spojů tahem tak, aby byly zjištěny hodnoty pevnosti ve smyku a tyto hodnoty se daly porovnávat se zjištěnými hodnotami u jiných vzorků připravených totožným způsobem. Pro zkoušku pevnosti ve smyku podle normy PV 12.35 musí mít vzorek minimální rozměry 120 x 25 mm.

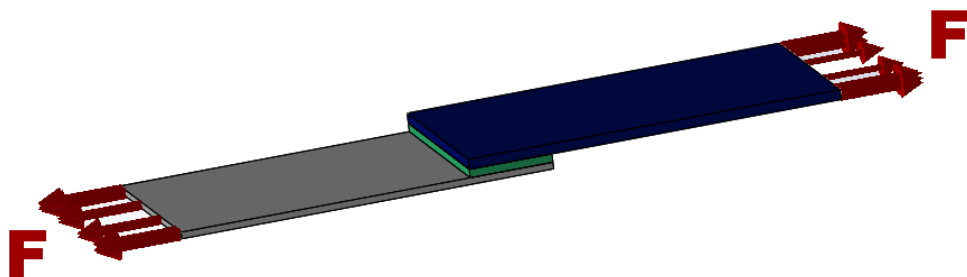
Pro konstrukční lepidla mají být rozměry přeplátování 25 x 10 mm a tloušťka lepidla má mít hodnotu 0,2 mm. Povrchy lepených ploch musí být očištěny a následně na ně má být nanesena vrstva maziva v množství $3 \pm 0,5 \frac{g}{m^2}$. Na takto připravený povrch se nanese lepidlo a do něj se vloží měděné drátky o průměru 0,2 mm. Poté se spoj slepí a nechá se vytvrdit při 180 °C po dobu 20 min. Při samotné tahové zkoušce je vzorek natahován rychlostí $10 \frac{mm}{min}$. [27]



Obrázek 15 - Schéma zkoušeného spoje dle normy PV 12.35

1.3.3 Dynamická zkouška pevnosti ve smyku při zatěžování tahem

Při této zkoušce je vzorek lepeného spoje upnut mezi dvě kleštiny, přičemž je na konce vzorku nanesena slabá vrstva brusné pasty, aby vzorek lépe v sevření kleštin držel. Po upnutí je vzorek přetržen při rychlosti 5, 10 nebo $15 \frac{m}{s}$. Tato zkouška pro lepené spoje není standardizovaná, ale aby měla vypovídající hodnotu, ve ŠKODA AUTO se stále pro tuto zkoušku připravují vzorky o rozměrech 45 x 25 mm s velikostí přeplátování 10 x 25 mm a s tloušťkou konstrukčních epoxidových lepidel 0,2 mm. Příprava lepených ploch probíhá shodným způsobem jako u zkoušek dle PV 12.35.



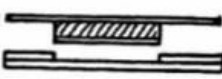



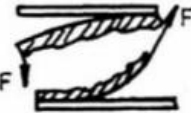


Obrázek 16 - Schéma dynamické zkoušky ve smyku při zatěžování tahem

1.3.4 Vyhodnocení porušení lepeného spoje - ISO 10365

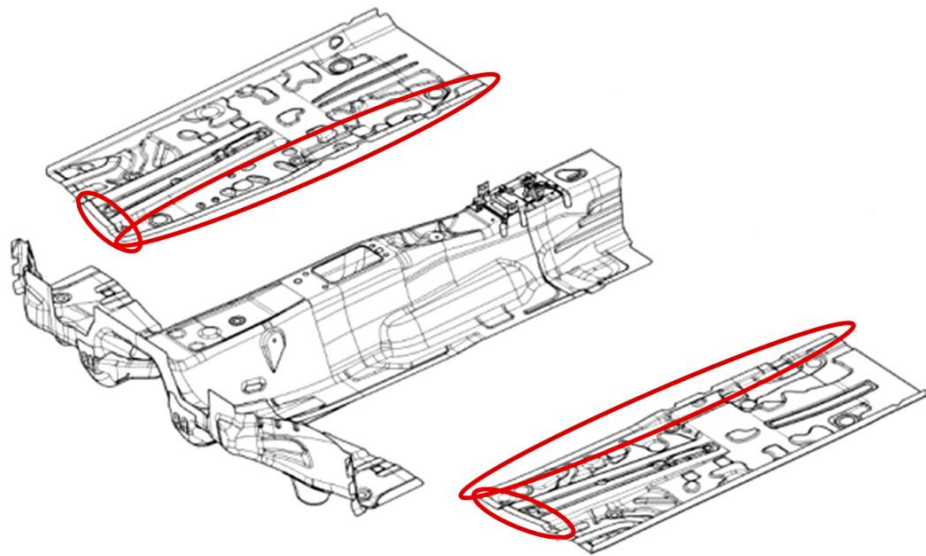
Mimo dosažené pevnosti spoje při zkoušce je potřebné vyhodnotit, v jakém místě spoj selhává. Po určení kritického místa spoje lze v případě nedostatečné únosnosti spoje jeho únosnost zvýšit např. konstrukčními opatřeními. Norma ISO 10365 specifikuje označení pro hlavní druhy poruch lepených spojů a tyto druhy vyobrazuje. [28]

Tabulka 8 - Označení způsobů porušení lepených spojů [29]

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

2 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V experimentální části byly provedeny na základě zadání zkoušky pevnosti kombinovaných lepených spojů na materiálech používaných při stavbě karoserií automobilů. Konkrétně vybrané materiály a lepidla simulovaly kombinovaný spoj středového tunelu s podlahou karoserie (obrázek 17). Cílem provedených zkoušek je získání pevnosti kombinovaných lepených spojů v odlupu, ve smyku při statickém zatížení a ve smyku při dynamickém zatížení. Zkouška v odlupu vycházela z normy ISO 11339, statická zkouška ve smyku vycházela z normy PV 12.35. Získané hodnoty se následně porovnávaly s hodnotami pevností při stejných zkouškách u homogenních lepených spojů. Některé homogenní spoje byly připravovány a následně testovány spolu s kombinovanými lepenými spoji, jiné byly již testovány a publikovány v diplomových pracích zpracovaných na zadání firmy ŠKODA AUTO. Vyhodnocování porušení lepených spojů bylo prováděno dle normy ISO 10365. Ke všem testům byla použita dvě epoxidová lepidla.



Obrázek 17 - Lepený spoj středového tunelu a podlahy karoserie

2.1 Použité materiály a jejich povrchové vrstvy

V experimentální části byly použity pro kombinované lepené spoje dvě oceli o různé pevnosti s různými povrchovými úpravami. Jedna ocel patří do skupiny za tepla tvářených vysokopevnostních ocelí a druhá ocel patří do skupiny ocelí vysokopevnostních. Povrchové vrstvy jsou stejné jako u sériových dílů, nicméně u za tepla tvářené vysokopevnostní oceli byl průběh tepelného zpracování simulován v laboratoři.

2.1.1 Ocel 22MnB5 s povrchovou Al-Si vrstvou

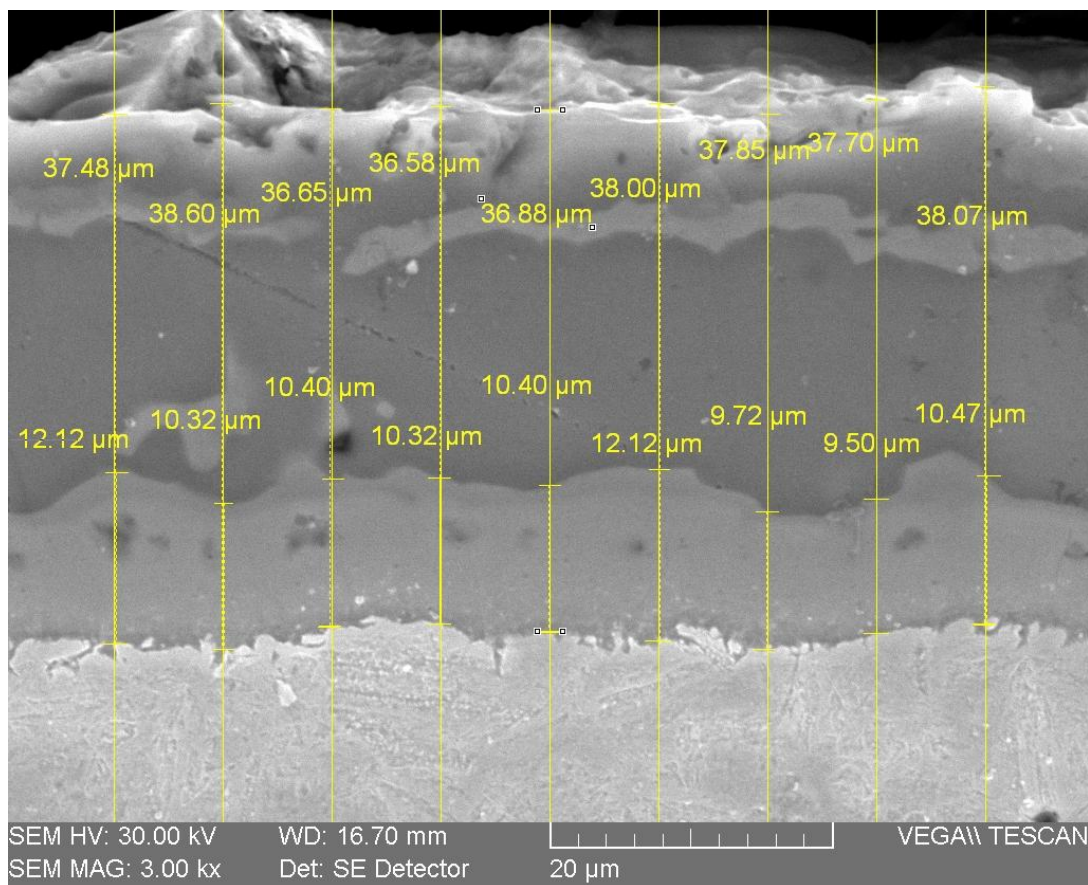
Pro ověření, zda byly laboratorním tepelným zpracováním oceli 22MnB5 s povrchovou vrstvou AS150 splněny podmínky odpovídající normě TL 4225, byla provedena kontrola mechanických parametrů oceli (tabulka 9), měření jejího chemického složení (tabulka 10, obrázek 19) a automatické měření tloušťky povrchové a difuzní vrstvy v příčném řezu (obrázek 18). Na pevnost lepeného spoje má zásadní vliv povrchová Al-Si vrstva, jejíž parametry se mění v závislosti na tepelném zpracování. Parametry Al-Si vrstvy byly v souladu s normou, dokonce se blížily vzorku ze sériové výroby (viz příloha 2). Pro experiment bylo důležité nasimulovat takové chování, kdy se bude deformovat při zatěžování pouze ocel HX340LAD, čehož bylo v průběhu zkoušek dosaženo. Sice parametry oceli 22MnB5 nevyhověly ve všech údajích normě, nicméně za účelem experimentu byly shledány jako vyhovující právě z důvodů chování celého lepeného spoje při zkouškách a správného nasimulování Al-Si vrstvy.

Tabulka 9 - Mechanické vlastnosti oceli 22MnB5 po tepelném zpracování

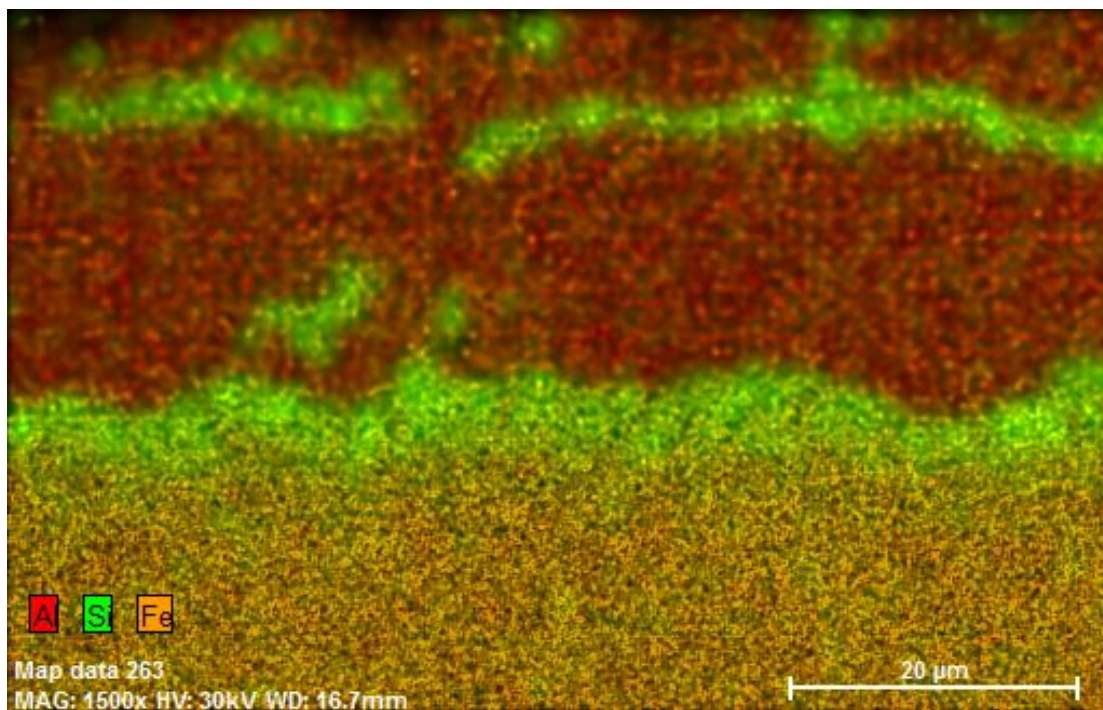
Materiál	Mez kluzu	Mez pevnosti	Tažnost	Tvrдость
	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A_{80mm} [%]	HV10
22MnB5 - laboratorní TZ	907 ± 122,9	1386 ± 10,2	3,88 ± 0,53	486 ± 10,6

Tabulka 10 - Naměřené chemické složení oceli 22MnB5 [17]

Materiál	22MnB5 [%]
C	0,201
Si	0,226
Mn	1,13
Cr	0,187
Mo	0,001
P	0,01
S	0,0005
Nb	0,001
Ti	0,034
Al	0,033
B	0,002
Cu	0,011



Obrázek 18 - Příčný řez 22MnB5 + AS150 po laboratorním TZ



Obrázek 19 - CH mapping příčného řezu 22MnB5 + AS150 po laboratorním TZ

2.1.2 HX340LAD s povrchovou vrstvou Z100

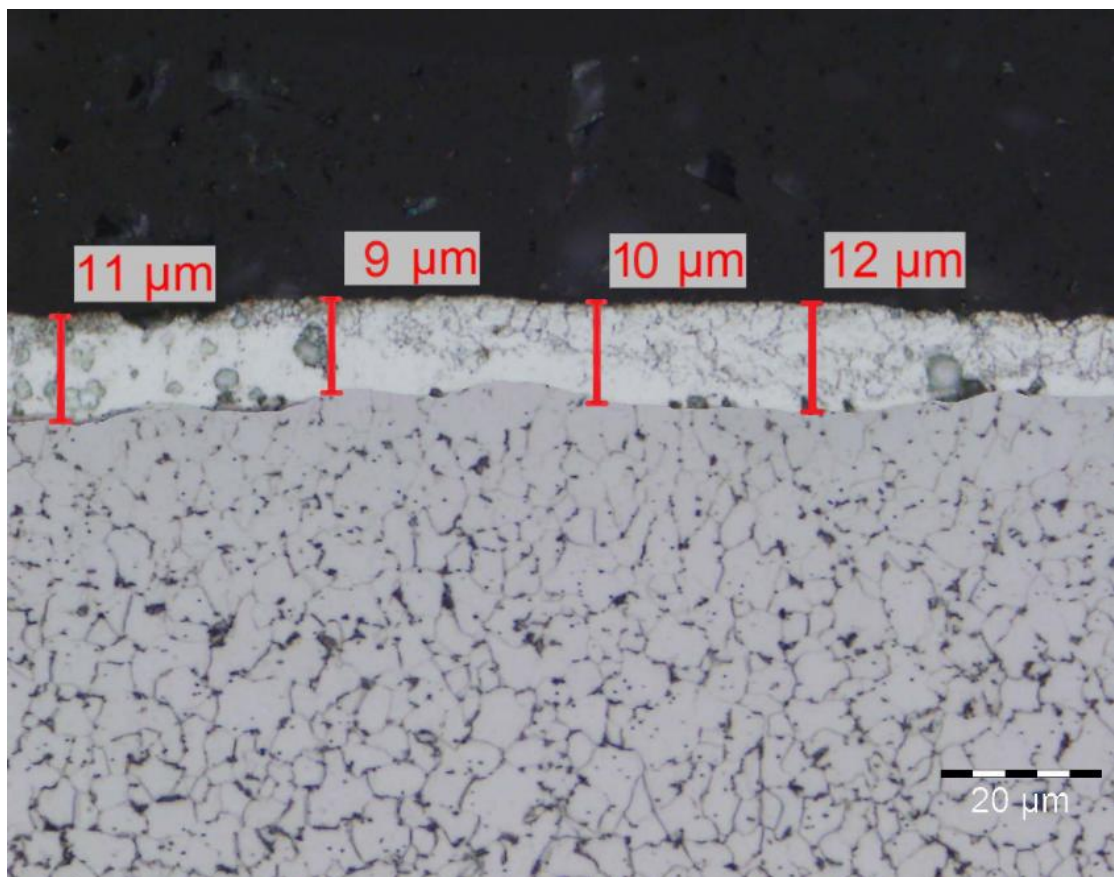
U oceli HX340LAD byly rovněž měřeny mechanické parametry, chemické složení a tloušťka zinkové povrchové vrstvy. Zde bylo vyhověno všem parametrům uvedeným v normě DIN EN 10346.

Tabulka 11 - Naměřené mechanické vlastnosti oceli HX340LAD

Materiál	Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	Mez pevnosti R_m [MPa]	Tažnost A_{80mm} [%]
HX340LAD	$403,2 \pm 3,1$	$480,8 \pm 1,2$	$27,92 \pm 0,53$

Tabulka 12 - Naměřené chemické složení oceli HX340LAD

Materiál	C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Al [%]	Nb [%]	Ti [%]
HX340LAD	0,08	0,01	0,93	0,012	0,004	0,038	0,04	0,016



Obrázek 20 - Příčný řez HX340LAD + Z100

2.2 Použitá lepidla

Pro vytvoření kombinovaných lepených spojů byla v experimentální části použita dvě konstrukční epoxidová lepidla od různých výrobců. Prvním lepidlem je lepidlo SikaPower 492G od firmy Sika, druhým lepidlem je Betamate 1440G od firmy Dow Automotive. V tabulkách 13 a 14 jsou uvedeny základní technická data o lepidlech. Kompletní technické listy k lepidlům se nacházejí v příloze (příloha 4, příloha 5).

Tabulka 13 - Technická data lepidla SikaPower 492G

Technická data - SikaPower 492G	
Chemický základ	Epoxidová směs
Barva	Černá
Hustota	$1300 \frac{kg}{m^3}$
Viskozita (50 °C , oscilace 5Hz, P/P 25 mm, 1 mm gap (CQP 584-1))	1000 Pa · s
Podmínky vytvrzování	20 min., 175 °C
Pevnost ve smyku (EN 1465)	20 MPa
Pevnost v odlupu (ISO 11339)	$9 \frac{N}{mm}$

Tabulka 14 - Technická data lepidla Betamate 1440G

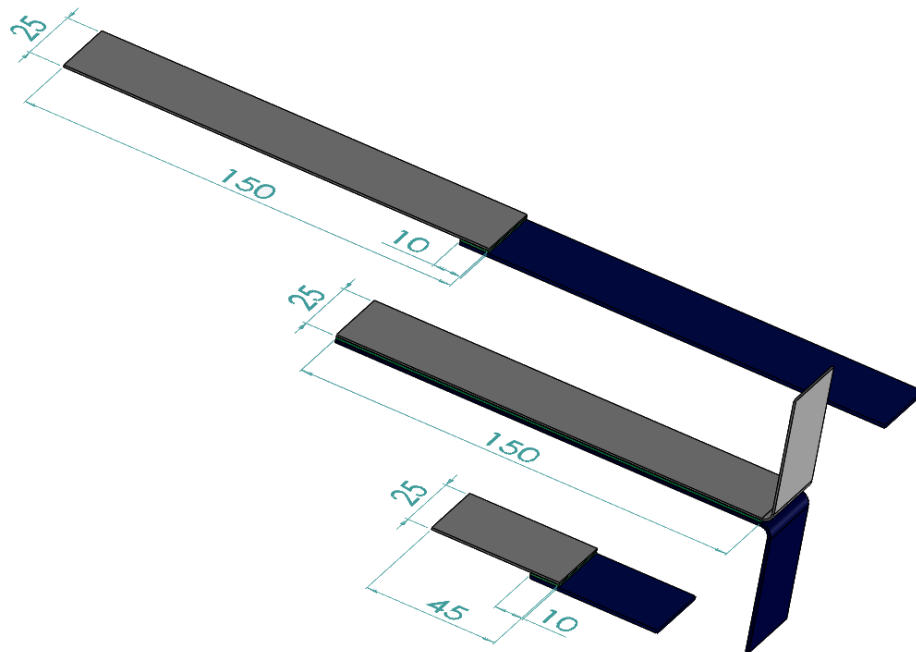
Technická data - Betamate 1440G	
Chemický základ	Epoxidová pryskyřice
Barva	Zelená
Hustota	$1240 \frac{kg}{m^3}$
Viskozita (45 °C, Bohlin, Casson)	46 Pa · s
Podmínky vytvrzování	30 min., 180 °C
Pevnost ve smyku (EN 1465)	29,6 MPa
Pevnost v odlupu (ISO 11339)	$9,4 \frac{N}{mm}$

2.3 Příprava vzorků

Jako materiály vzorků byly vybrány ocelové plechy s označením 22MnB5 a HX340LAD. Ocelový plech s označením 22MnB5 má tloušťku 1,2 mm, ocelový plech s označením HX340LAD má tloušťku 0,7 mm. Plechy byly nastříhány do 3 typů rozměrů a to na rozměry:

- 200 x 25 mm - pro zkoušku pevnosti v odlupu (rozměry lepené plochy 25 x 150 mm)
- 150 x 25 mm - pro statickou zkoušku pevnosti ve smyku při zatěžování tahem (rozměry lepené plochy 10 x 25 mm)
- 45 x 25 mm - pro dynamickou zkoušku pevnosti ve smyku při zatěžování tahem (rozměry lepené plochy 10 x 25 mm)

Pro zkoušku v odlupu musely být plechy po nastříhání ohnuty o 90° tak, aby délka slepené plochy činila 150 mm.



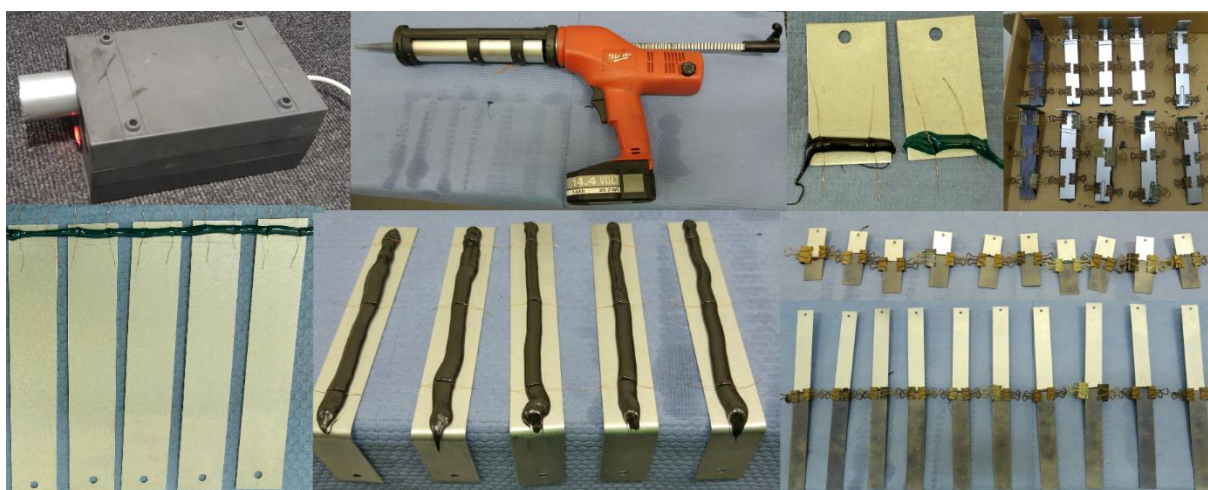
Obrázek 21 - Schéma zkoušených vzorků s vyobrazenými rozměry

Plechy z oceli 22MnB5 byly následně tepelně zpracovány. Tyto plechy byly vloženy do elektrické pece předehřáté na 900 °C. V peci zůstaly po dobu 8 min. Následně proběhlo kalení vložením vzorků mezi dvě ocelové desky za účelem dostatečně rychlého odvodu tepla. Takto připravené plechy mají téměř shodné vlastnosti jako mají plechy ze sériové výroby.



Obrázek 22 - Laboratorní tepelné zpracování

Následovalo lepení vzorků. Plechy z oceli HX340LAD byly mechanicky očištěny, odmaštěny a poté na ně byla nanесena vrstva maziva Anticorit PL 3802-39LV v množství $3 \frac{g}{m^2}$. Množství maziva bylo zkontrolováno IR aparátem Fuchs. Plechy z oceli 22MnB5 byly pouze mechanicky očištěny. Pro snadnější aplikaci byla lepidla přehřáta a následně nanесena na lepené naolejované plochy oceli HX340LAD. Do nanесeného lepidla byly vloženy distanční drátky o tloušťce 0,2 mm. Poté byly na lepené plochy přiklopeny tepelně zpracované plechy z oceli 22MnB5 o příslušných rozměrech. Následně se lepené plochy k sobě přitlačily až na distanční drátky. Přebytečné vytlačené lepidlo bylo setřeno a vzorky zafixovány svorkami.



Obrázek 23 - Postup lepení

Aby lepidlo začalo být funkční, musí se vytvrdit. Vytvrzení probíhalo v sušárně, která byla nejprve přehřátá na teplotu 180 °C. Poté do ní byly vloženy vzorky a byly v sušárně ponechány při teplotě 180 °C po dobu 20 min. Tyto podmínky jsou shodné s podmínkami při vytvrzování lepidel v KTL peci ve ŠKODA AUTO.

2.4 Zkouška pevnosti v odlupu

Zkoušky pevnosti v odlupu lepených spojů proběhly na Technické univerzitě v Liberci na katedře strojírenské - oddělení tváření kovů a plastů. Jako zkušební zařízení posloužil trhací stroj TIRA test 2300 s průtahoměrem KAF 10 kN. Zkoušky vycházely z normy ISO 11339. Zkouška probíhala za pokojové teploty RT (23 °C). Typ porušení byl posuzován dle normy ISO 10365. Procentuální rozčlenění jednotlivých typů porušení lepených spojů je subjektivní a může se mírně lišit v závislosti na hodnotiteli. Přístroj zobrazuje maximální hodnotu síly z tahového diagramu v odlupu a hodnotu pevnosti v odlupu při zadané šířce lepené plochy. Vzorky byly rozděleny do 3 skupin podle materiálů lepených spojů na:

- ° - Kombinovaný lepený spoj
- - - Homogenní lepený spoj z materiálu HX340LAD s povrchovou vrstvou Z100
- * - Homogenní lepený spoj z materiálu 22MnB5 s povrchovou vrstvou AS150

Zkratky naměřených veličin při zkouškách v odlupu:

- F_{\max} [N] - Maximální síla dosažená při zkoušce v odlupu
- σ_s [N/mm] - Pevnost v odlupu

2.4.1 SikaPower 492G

Tabulka 15 - Naměřené hodnoty v odlupu u spojů ° s lepidlem SikaPower 492G

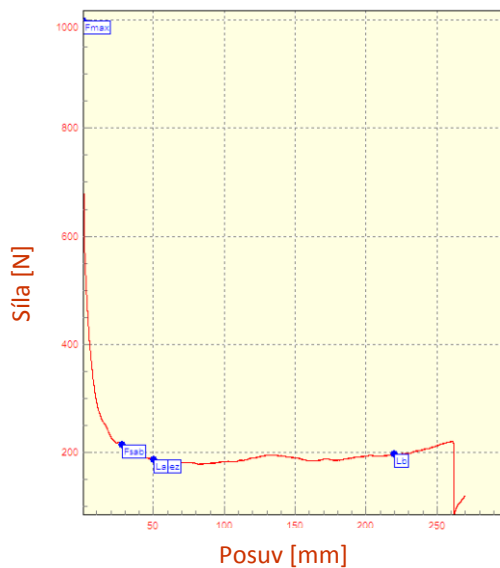
Vzorek	1°	2°	3°	4°	5°
F_{\max} [N]	828,06	977,02	998,16	928,68	787,64
σ_s [N/mm]	7,48	7,57	7,51	7,73	7,49

Tabulka 16 - Naměřené hodnoty v odlupu u spojů - s lepidlem SikaPower 492G

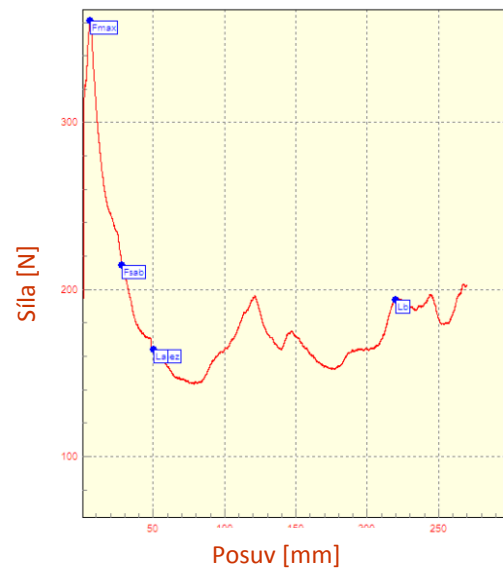
Vzorek	1-	2-	3-	4-	5-
F_{max} [N]	360,66	300,98	454,64	906,68	849,94
σ_s [N/mm]	6,67	6,84	6,29	6,54	6,69

Tabulka 17 - Naměřené hodnoty v odlupu u spojů * s lepidlem SikaPower 492G

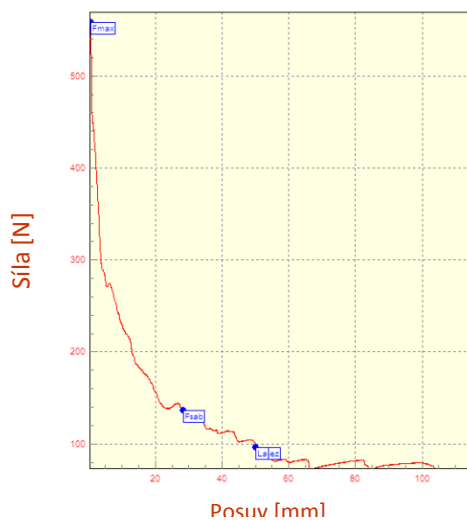
Vzorek	1*	2*	3*
F_{max} [N]	612,54	713,16	558,64
σ_s [N/mm]	2,96	3,43	3,18



Graf 3 - Tahový diagram v odlupu vzorku 3° s lepidlem SikaPower 492G



Graf 4 - Tahový diagram v odlupu vzorku 1- s lepidlem SikaPower 492G



Graf 5 - Tahový diagram v odlupu vzorku 3* s lepidlem SikaPower 492G

Tabulka 18 - Vyhodnocení spojů ° s lepidlem SikaPower 492G po zkoušce v odlupu

Test: T-Peel – ISO 11339						
Materiál povrchů: Z100 + AS150						
Použité mazivo: Anticorit PL 3802-39LV						
Množství maziva: 3 g/m ² - Z100 (AS150 - bez maziva)						
Testované lepidlo:	Test při	Typ porušení [%]				Pevnost v odlupu
Tloušťka:		CF	SCF	AF	DF	[N/mm]
SikaPower 492G	RT (23°C)	10	90	0	0	7,56 ± 0,1
0,2 mm						

Tabulka 19 - Vyhodnocení spojů - s lepidlem SikaPower 492G po zkoušce v odlupu

Test: T-Peel – ISO 11339						
Materiál povrchů: Z100 + Z100						
Použité mazivo: Anticorit PL 3802-39LV						
Množství maziva: 3 g/m ²						
Testované lepidlo:	Test při	Typ porušení [%]				Pevnost v odlupu
Tloušťka:		CF	SCF	AF	DF	[N/mm]
SikaPower 492G	RT (23°C)	20	80	0	0	6,61 ± 0,21
0,2 mm						

Tabulka 20 - Vyhodnocení spojů * s lepidlem SikaPower 492G po zkoušce v odlupu

Test: T-Peel – ISO 11339						
Materiál povrchů: AS150 + AS150						
Použité mazivo: Bez maziva						
Množství maziva: 0 g/m ²						
Testované lepidlo:	Test při	Typ porušení [%]				Pevnost v odlupu
Tloušťka:		CF	SCF	AF	DF	[N/mm]
SikaPower 492G	RT (23°C)	100	0	0	0	3,19 ± 0,23
0,2 mm						



Obrázek 24 - Přetržené spoje ° s lepidlem SikaPower 492G po zkoušce v odlupu



Obrázek 25 - Přetržené spoje - s lepidlem SikaPower 492G po zkoušce v odlupu



Obrázek 26 - Přetržené spoje * s lepidlem SikaPower 492G po zkoušce v odlupu

2.4.2 Betamate 1440G

Tabulka 21 - Naměřené hodnoty v odlupu u spojů ° s lepidlem Betamate 1440G

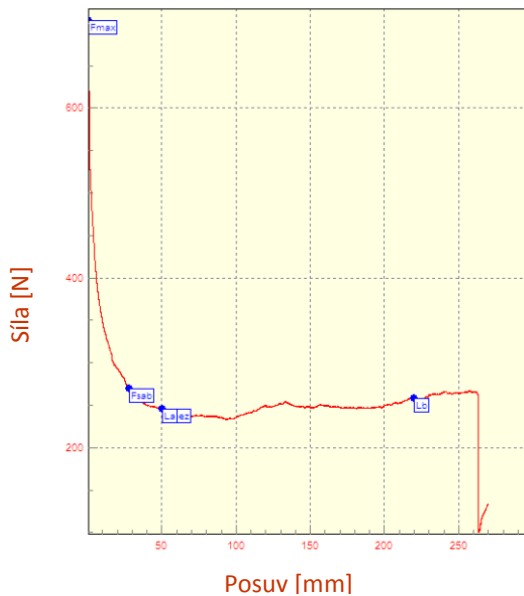
Vzorek	6°	7°	8°	9°	10°
F_{\max} [N]	946,54	694,1	867,68	703,48	745,18
σ_s [N/mm]	9,83	9,63	9,03	9,83	10,09

Tabulka 22 - Naměřené hodnoty v odlupu u spojů - s lepidlem Betamate 1440G

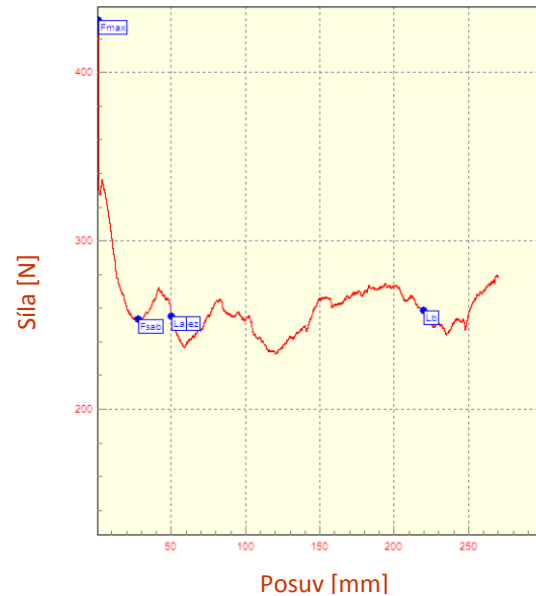
Vzorek	6-	7-	8-	9-	10-
F_{\max} [N]	585,64	708,58	616,36	1099,32	430,58
σ_s [N/mm]	10,67	10,55	10,82	11,44	10,24

Tabulka 23 - Naměřené hodnoty v odlupu u spojů * s lepidlem Betamate 1440G

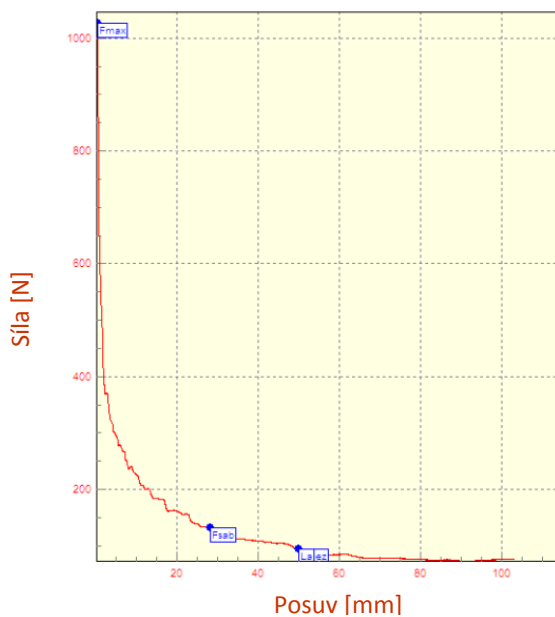
Vzorek	4*	5*	6*	7*
F_{\max} [N]	628,98	1026,68	1130,14	521,82
σ_s [N/mm]	3,43	3,18	4,79	3,57



Graf 6 - Tahový diagram v odlupu vzorku 9° s lepidlem Betamate 1440G



Graf 7 - Tahový diagram v odlupu vzorku 10- s lepidlem Betamate 1440G



Graf 8 - Tahový diagram v odlupu vzorku 5* s lepidlem Betamate 1440G

Tabulka 24 - Vyhodnocení spojů ° s lepidlem Betamate 1440G po zkoušce v odlupu

Test: T-Peel – ISO 11339						
Materiál povrchů: Z100 + AS150						
Použité mazivo: Anticorit PL 3802-39LV						
Množství maziva: 3 g/m ² - Z100 (AS150 - bez maziva)						
Testované lepidlo:	Test při	Typ porušení [%]				Pevnost v odlupu [N/mm]
Tloušťka:		CF	SCF	AF	DF	
Betamate 1440G	RT (23°C)	10	90	0	0	9,68 ± 0,4
0,2 mm						

Tabulka 25 - Vyhodnocení spojů - s lepidlem Betamate 1440G po zkoušce v odlupu

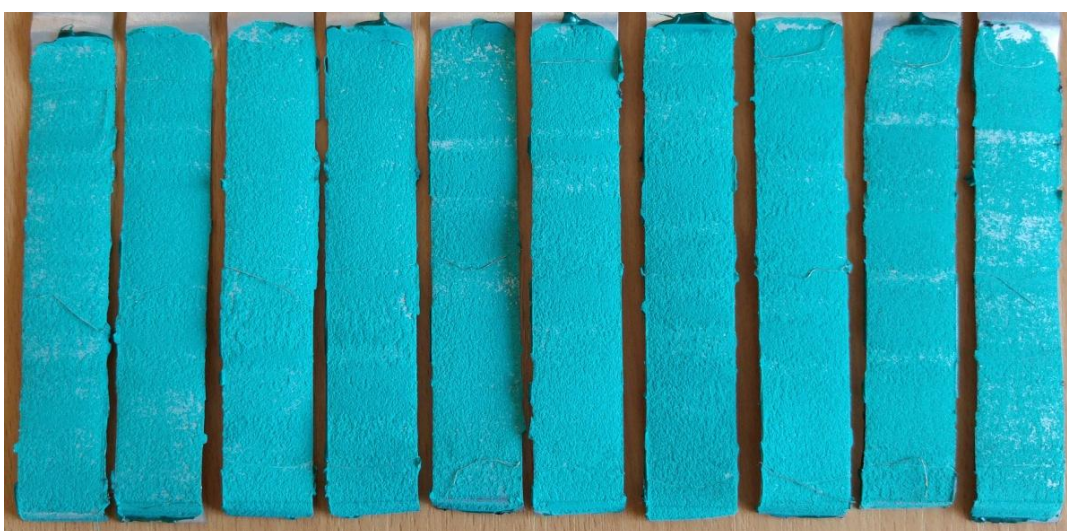
Test: T-Peel – ISO 11339						
Materiál povrchů: Z100 + Z100						
Použité mazivo: Anticorit PL 3802-39LV						
Množství maziva: 3 g/m ²						
Testované lepidlo:	Test při	Typ porušení [%]				Pevnost v odlupu [N/mm]
Tloušťka:		CF	SCF	AF	DF	
Betamate 1440G	RT (23°C)	100	0	0	0	10,75 ± 0,45
0,2 mm						

Tabulka 26 - Vyhodnocení spojů * s lepidlem Betamate 1440G po zkoušce v odlupu

Test: T-Peel – ISO 11339						
Materiál povrchů: AS150 + AS150						
Použité mazivo: Bez maziva						
Množství maziva: 0 g/m ²						
Testované lepidlo:	Test při	Typ porušení [%]				Pevnost v odlupu
Tloušťka:		CF	SCF	AF	DF	[N/mm]
Betamate 1440G	RT (23°C)	100	0	0	0	3,74 ±0,71
0,2 mm						



Obrázek 27 - Přetržené spoje ° s lepidlem Betamate 1440G po zkoušce v odlupu



Obrázek 28 - Přetržené spoje - s lepidlem Betamate 1440G po zkoušce v odlupu



Obrázek 29 - Přetržené spoje * s lepidlem Betamate 1440G po zkoušce v odlupu

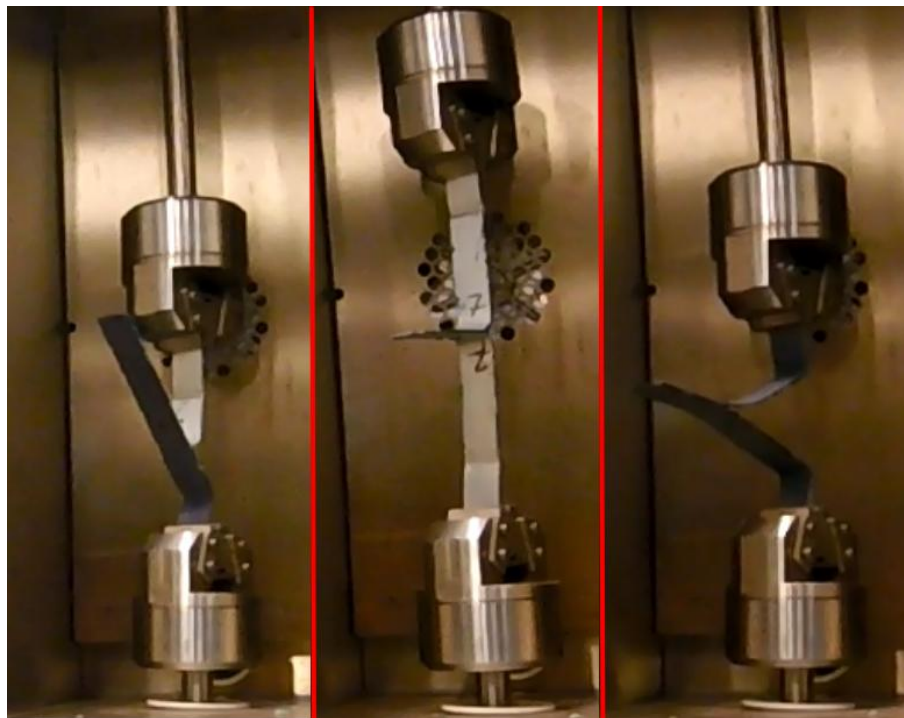
2.4.3 Zhodnocení

Výrazně nejnižší pevnosti v odlupu dosahovaly homogenní lepené spoje z materiálu 22MnB5 s povrchovou vrstvou AS150. Důvodem je způsob, jakým byl spoj u těchto vzorků zatěžován, což je vidět z obrázku 30. Z důvodu vysoké pevnosti oceli 22MnB5 a malé deformace byla vždy zatěžována větší část lepeného spoje a zatěžování tak odpovídalo typu "Cleavage" z obrázku 12. Po dosažení maximální síly potřebné pro počátek destrukce vzorku síla prudce klesala a nedocházelo k jejímu ustálení, jak je pro posuzování pevnosti v odlupu typické. K úplné destrukci docházelo přibližně při posuvu kleštin o hodnotu 100 mm z výchozí pozice. U ostatních typů spojů docházelo k přetržení až po více jak dvojnásobném posuvu kleštin. Tyto odlišnosti byly způsobeny vysokou pevností oceli 22MnB5. U obou typů lepidel bylo dosaženo 100% kohezního porušení lepidla

U kombinovaného lepeného spoje a u homogenního lepeného spoje z oceli HX340LAD s povrchovou vrstvou Z100 nelze jednoznačně říci, který z těchto dvou typů spojů je pevnější. S lepidlem SikaPower 492G byl lepší kombinovaný spoj, s lepidlem Betamate 1440G byl pevnější homogenní spoj. Nejvyšší pevnosti v odlupu bylo dosaženo u homogenního spoje z oceli HX340LAD s povrchovou vrstvou Z100 a lepidlem Betamate 1440G. Tato kombinace materiálu a lepidla měla typ lomu 100 %

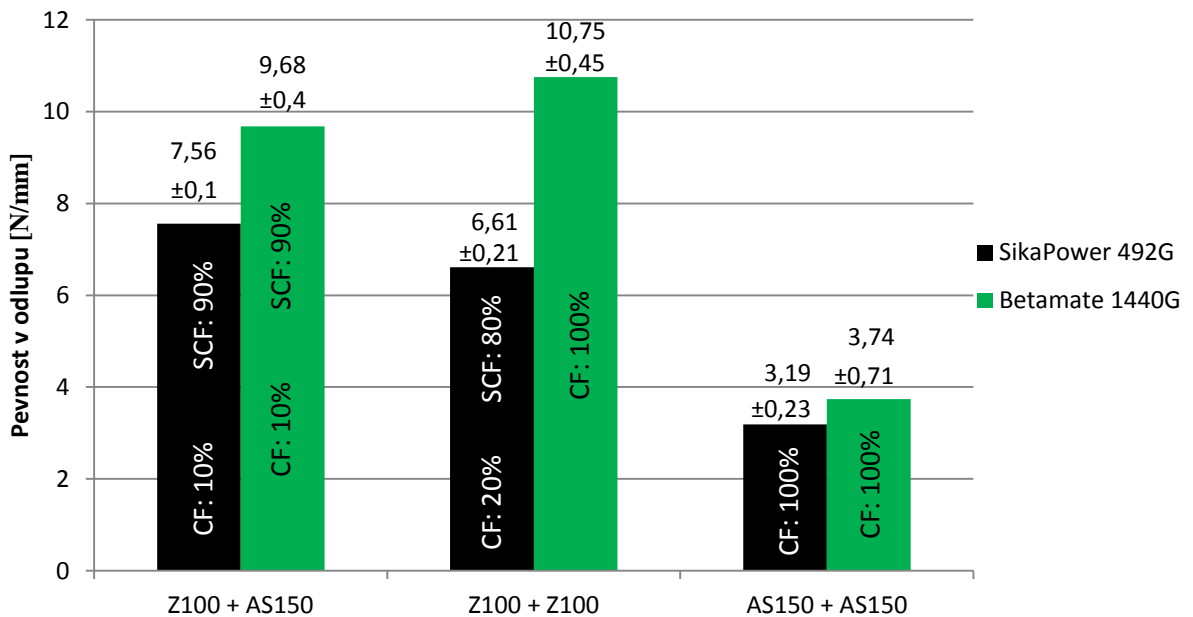
CF, ačkoli u jiných spojů, které se při deformování při zkoušce v odlupu chovaly podobně, výrazně převládal typ porušení SCF.

Při zkoušce v odlupu vychází lépe lepidlo Betamate 1440G kvůli svému chemickému složení, díky kterému má toto lepidlo větší houževnatost než lepidlo SikaPower 492G. K podobnému závěru vedla i práce se stejnými lepidly. [20] Výrobci v technických listech (příloha 4, příloha 5) udávají hodnoty pro rázovou odolnost lepených spojů vůči porušení rázem dle ISO 11343. Lepidlo Betamate 1440G má tuto hodnotu vyšší a tato jeho vlastnost bude mít zřejmě i rozhodující vliv na naměřené hodnoty při zkoušce v odlupu.



Obrázek 30 - Rozdíl zatěžování spojů při zkoušce v odlupu, °vlevo, -uprostřed, *vpravo

Pevnost v odlupu



Graf 9 - Pevnost v odlupu

2.5 Zkouška pevnosti ve smyku

Zkouška pevnosti ve smyku kombinovaných lepených spojů proběhla na Technické univerzitě v Liberci na katedře strojírenské - oddělení tváření kovů a plastů. Jako zkušební zařízení posloužil trhací stroj TIRA test 2300 s průtahoměrem KAF 10 kN. Zkoušky probíhaly za pokojové teploty RT (23 °C) a vycházely z normy PV 12.35. Typ porušení byl posuzován dle normy ISO 10365. Procentuální rozčlenění jednotlivých typů porušení lepených spojů je subjektivní a může se mírně lišit v závislosti na hodnotiteli. Přístroj zobrazuje sílu vyvozenou kleštinami na vzorek v závislosti na posuvu kleštin. Dále po zkoušce vyhodnotí napětí, při kterém k destrukci spoje došlo, pokud je zadána velikost slepené plochy. Vzorky byly rozděleny do 3 skupin podle materiálů lepených spojů na:

- Δ - Kombinovaný lepený spoj
- /- Homogenní lepený spoj z materiálu HX340LAD s povrchovou vrstvou Z100
- \square - Homogenní lepený spoj z materiálu 22MnB5 s povrchovou vrstvou AS150

Zkratky naměřených veličin při zkouškách ve smyku:

- F_{\max} [N] - Maximální síla dosažená při zkoušce ve smyku
- R_m [MPa] - Pevnost spoje ve smyku

2.5.1 SikaPower 492G

Tabulka 27 - Naměřené hodnoty ve smyku u spojů Δ s lepidlem SikaPower 492G

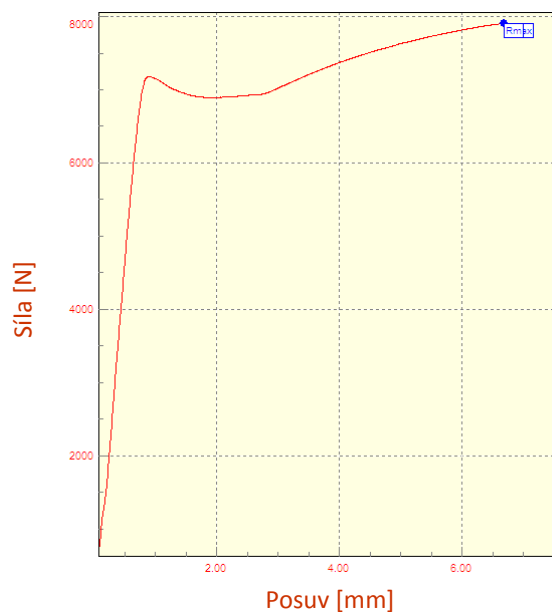
Vzorek	1 Δ	2 Δ	3 Δ	4 Δ	5 Δ
F_{\max} [N]	7817,4	7881,5	7904,1	7725,7	7828,4
R_m [MPa]	31,27	31,53	31,62	30,9	31,31

Tabulka 28 - Naměřené hodnoty ve smyku u spojů / s lepidlem SikaPower 492G

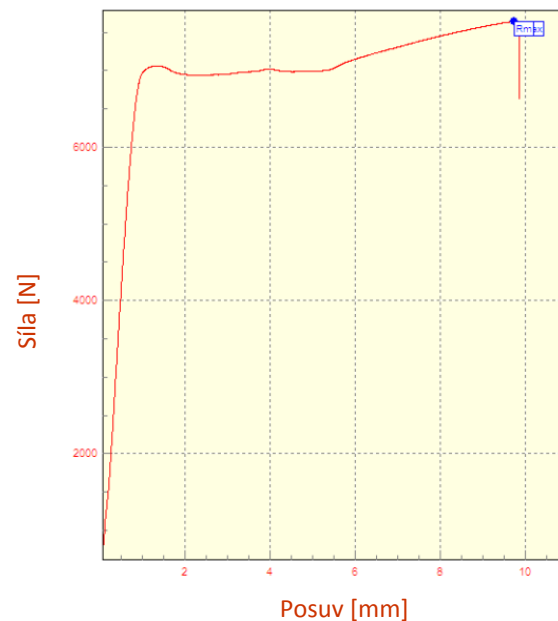
Vzorek	1/	2/	3/	4/	5/
F_{\max} [N]	7472,1	7640,6	7043,4	7264,4	7504,1
R_m [MPa]	29,89	30,56	28,17	29,06	30,02

Tabulka 29 - Naměřené hodnoty ve smyku u spojů \square s lepidlem SikaPower 492G

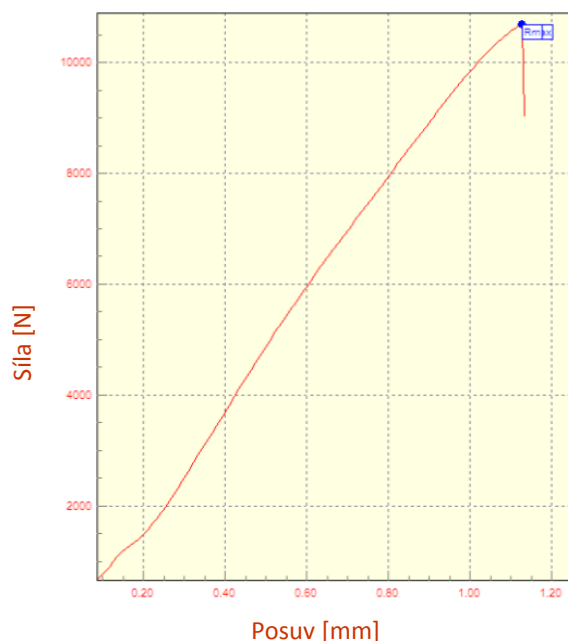
Vzorek	1 \square	2 \square	3 \square
F_{\max} [N]	11089,4	9732,1	10686,1
R_m [MPa]	44,36	38,93	42,74



Graf 10 - Tahový diagram vzorku 3 Δ s lepidlem SikaPower 492G



Graf 11 - Tahový diagram vzorku 2/ s lepidlem SikaPower 492G



Graf 12 - Tahový diagram vzorku 3□ s lepidlem SikaPower 492G

Tabulka 30 - Vyhodnocení spojů Δ s lepidlem SikaPower 492G po zkoušce ve smyku

Test: Test ve smyku – PV 12.35						
Materiál povrchů: Z100 + AS150						
Použité mazivo: Anticorit PL 3802-39LV						
Množství maziva: 3 g/m ² - Z100 (AS150 - bez maziva)						
Testované lepidlo:	Test při	Typ porušení [%]				Pevnost ve smyku [MPa]
Tloušťka:		CF	SCF	AF	DF	
SikaPower 492G	RT (23°C)	20	5	0	75	31,33 ± 0,28
0,2 mm						

Tabulka 31 - Vyhodnocení spojů / s lepidlem SikaPower 492G po zkoušce ve smyku

Test: Test ve smyku – PV 12.35						
Materiál povrchů: Z100 + Z100						
Použité mazivo: Anticorit PL 3802-39LV						
Množství maziva: 3 g/m ²						
Testované lepidlo:	Test při	Typ porušení [%]				Pevnost ve smyku [MPa]
Tloušťka:		CF	SCF	AF	DF	
SikaPower 492G	RT (23°C)	100	0	0	0	29,54 ± 0,93
0,2 mm						

Tabulka 32 - Vyhodnocení spojů □ s lepidlem SikaPower 492G po zkoušce ve smyku

Test: Test ve smyku – PV 12.35						
Materiál povrchů: AS150 + AS150						
Použité mazivo: Bez maziva						
Množství maziva: 0 g/m ²						
Testované lepidlo:	Test při	Typ porušení [%]				Pevnost ve smyku [MPa]
Tloušťka:		CF	SCF	AF	DF	
SikaPower 492G	RT (23°C)	5	0	0	95	42,01 ± 2,79
0,2 mm						



Obrázek 31 - Přetržené spoje Δ s lepidlem SikaPower 492G po zkoušce ve smyku



Obrázek 32 - Přetržené spoje / s lepidlem SikaPower 492G po zkoušce ve smyku



Obrázek 33 - Přetržené spoje □ s lepidlem SikaPower 492G po zkoušce ve smyku

2.5.2 Betamate 1440G

Tabulka 33 - Naměřené hodnoty ve smyku u spojů Δ s lepidlem Betamate 1440G

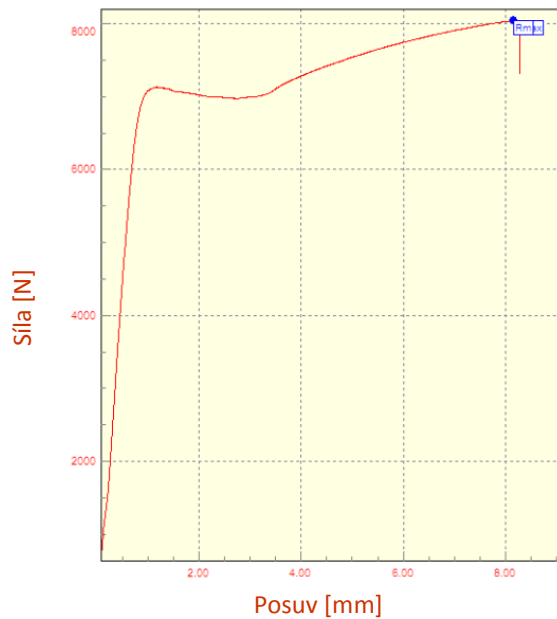
Vzorek	6 Δ	7 Δ	8 Δ	9 Δ	10 Δ
F_{\max} [N]	8263,7	8042,8	8451	7913,5	8285,8
R_m [MPa]	33,05	32,17	33,8	31,65	33,14

Tabulka 34 - Naměřené hodnoty ve smyku u spojů / s lepidlem Betamate 1440G

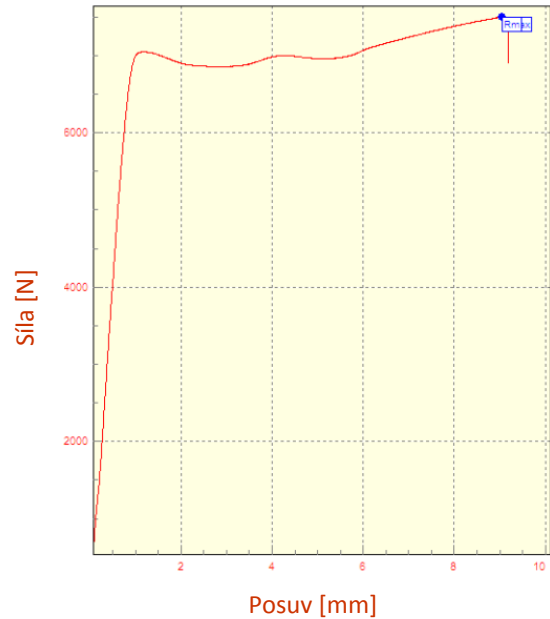
Vzorek	6/	7/	8/	9/	10/
F_{\max} [N]	7287	7538,4	7577,1	7495,9	7454,4
R_m [MPa]	29,15	30,15	30,31	29,98	29,82

Tabulka 35 - Naměřené hodnoty ve smyku u spojů \square s lepidlem Betamate 1440G

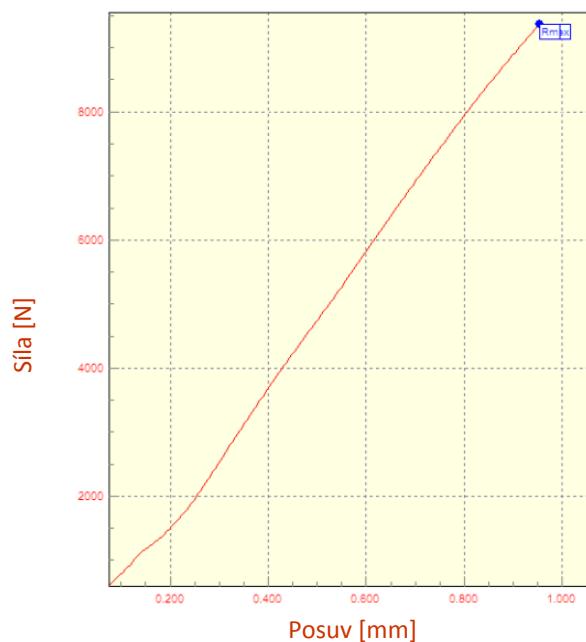
Vzorek	4 \square	5 \square	6 \square
F_{\max} [N]	8152,7	9394,6	9369,7
R_m [MPa]	32,61	37,58	37,48



Graf 13 - Tahový diagram vzorku 7 Δ s lepidlem Betamate 1440G



Graf 14 - Tahový diagram vzorku 9/ s lepidlem Betamate 1440G



Graf 15 - Tahový diagram vzorku 6 s lepidlem Betamate 1440G

Tabulka 36 - Vyhodnocení spojů Δ s lepidlem Betamate 1440G po zkoušce ve smyku

Test: Test ve smyku – PV 12.35						
Materiál povrchů: Z100 + AS150						
Použité mazivo: Anticorit PL 3802-39LV						
Množství maziva: 3 g/m ² - Z100 (AS150 - bez maziva)						
Testované lepidlo:	Test při	Typ porušení [%]				Pevnost ve smyku [MPa]
Tloušťka:		CF	SCF	AF	DF	
Betamate 1440G	RT (23°C)	10	5	0	85	32,77 ± 0,85
0,2 mm						

Tabulka 37 - Vyhodnocení spojů / s lepidlem Betamate 1440G po zkoušce ve smyku

Test: Test ve smyku – PV 12.35						
Materiál povrchů: Z100 + Z100						
Použité mazivo: Anticorit PL 3802-39LV						
Množství maziva: 3 g/m ²						
Testované lepidlo:	Test při	Typ porušení [%]				Pevnost ve smyku [MPa]
Tloušťka:		CF	SCF	AF	DF	
Betamate 1440G	RT (23°C)	100	0	0	0	29,88 ± 0,45
0,2 mm						

Tabulka 38 - Vyhodnocení spojů □ s lepidlem Betamate 1440G po zkoušce ve smyku

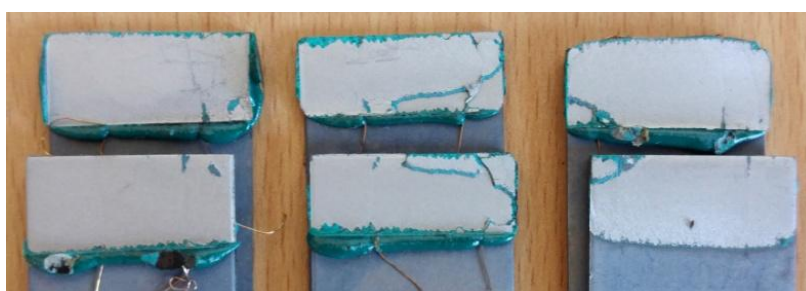
Test: Test ve smyku – PV 12.35						
Materiál povrchů: AS150 + AS150						
Použité mazivo: Bez maziva						
Množství maziva: 0 g/m ²						
Testované lepidlo:	Test při	Typ porušení [%]				Pevnost ve smyku [MPa]
Tloušťka:		CF	SCF	AF	DF	
Betamate 1440G	RT (23°C)	0	0	0	100	35,89 ± 2,84
0,2 mm						



Obrázek 34 - Přetržené spoje Δ s lepidlem Betamate 1440G po zkoušce ve smyku



Obrázek 35 - Přetržené spoje / s lepidlem Betamate 1440G po zkoušce ve smyku



Obrázek 36 - Přetržené spoje □ s lepidlem Betamate 1440G po zkoušce ve smyku

2.5.3 Zhodnocení

Nejvyšší pevnosti dosahovaly homogenní spoje z materiálu 22MnB5 a to u obou typů lepidel. Důvodem může být to, že tato ocel je velice pevná a při tahové zkoušce nedochází k ohýbání lepených částí vzorků a netvořily se tak v lepidle špičky napětí, které by jej porušily. Lepený spoj je v tomto případě zatěžován pouze smykem. To je nejspíše také důvodem toho, proč při použití obou typů lepidel byl typ porušení výhradně delaminační.

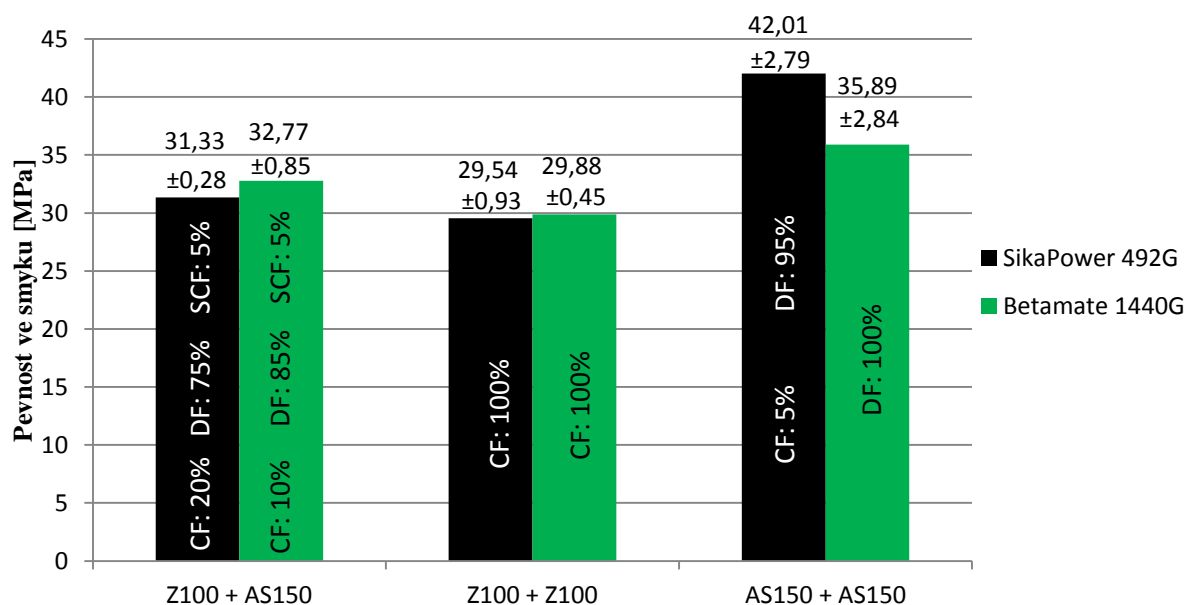
Úplně opačný případ se vyskytuje u homogenního lepeného spoje z materiálu HX340LAD. Po provedení tahových zkoušek bylo na vzorcích zřetelné ohnutí v lepených místech vzorku. To svědčí o tom, že namáhání tohoto lepeného spoje nebylo čistě smykové, ale zároveň docházelo k rozevírání spoje. V přední a zadní části se utvořily špičky napětí (viz obrázek 12), které vedly k porušení lepidla. U obou typů lepidel se vyskytovalo 100% kohezní porušení lepidla. V tahových diagramech je jasně viditelná mez kluzu. Tato mez kluzu odpovídá mezi kluzu oceli HX340LAD. K porušení lepeného spoje dojde tedy až po překročení meze kluzu oceli.

Kombinovaný lepený spoj leží s pevnostními hodnotami mezi předchozími variantami. Po tahové zkoušce byl viditelně ohnutý plech z oceli HX340LAD. To by mohlo naznačovat, že tento ocelový plech se při zatěžování mírně zdeformoval, tím se v lepidle utvořily špičky napětí a spoj se začal porušovat v lepidle, což je znatelné zejména na okrajích lepených spojů. Opět tedy nedocházelo k čistému smyku, ale byly viditelné i známky rozevírání spoje. Při dalším zatěžování se zmenšovala plocha lepeného spoje a zároveň bylo bráněno další deformaci vlivem vysoké pevnosti oceli 22MnB5. Tím bylo omezeno tvoření špičkových napětí v lepidle a následně se spoj přetrhl delaminačním způsobem v povrchové vrstvě oceli 22MnB5. V tahových diagramech je opět viditelná mez kluzu, která i zde odpovídá mezi kluzu oceli HX340LAD. K destrukci lepeného spoje dojde až po překročení meze kluzu oceli HX340LAD.

U kombinovaných lepených spojů a u homogenních lepených spojů z oceli HX340LAD s povrchovou vrstvou Z100 byly pevnější spoje s lepidlem Betamate 1440G. Avšak tento rozdíl byl téměř zanedbatelný. Ovšem u homogenních lepených spojů z oceli 22MnB5 s povrchovou vrstvou AS150 byly pevnější spoje s lepidlem

SikaPower 492G. Tento rozdíl je přibližně 6 MPa, což je při relativně nízkých dosahovaných pevnostech ve smyku u lepených spojů značná hodnota. Důvodem může být větší smáčivost lepidla SikaPower 492G. Toto lepidlo má pak větší schopnost kopírovat nerovnosti povrchové Al-Si vrstvy a dokáže zatéct i do trhlin, které se v této povrchové vrstvě vytvářejí při kalení.

Pevnost ve smyku



Graf 16 - Pevnost ve smyku

2.6 Dynamická pevnost ve smyku

Dynamické rázové zkoušky pevnosti ve smyku kombinovaných lepených spojů proběhly na Dopravní fakultě Jana Pernera v Pardubicích ve výukovém a výzkumném centru v dopravě. Zkušebními zařízením byl rychlý hydraulický válec AH 40-300 se snímačem síly Kistler 9351B. Vzorky byly upínány ve svislé poloze mezi dvě kleštiny. Horní kleština byla přes snímač síly upevněna ve zkušební rám, dolní pak přes volnoběžku na pístnici rychlého válce. Rychlost zatížení byla $15 \frac{m}{s}$. Zkouška probíhala za pokojové teploty RT (23 °C). Typ porušení byl posuzován dle normy ISO 10365. Procentuální rozčlenění jednotlivých typů porušení lepených spojů je subjektivní a může se mírně lišit v závislosti na hodnotiteli. Výsledkem této zkoušky je síla

potřebná na destrukci vzorku. Dynamická pevnost ve smyku byla vypočtena z podílu této síly a velikosti slepené plochy. Homogenní spoje z oceli 22MnB5 již byly testovány se stejnými lepidly pro účely jiné diplomové práce. Ve zhodnocení jsou pro porovnání použity výsledky, ke kterým dospěl ve své práci Ing. Michal Bašus. [17] Homogenní spoje z oceli HX340LAD nebyly testovány z toho důvodu, že tato ocel při dynamických zkouškách dosahuje velkého dynamického zpevnění a ze zkušeností je předpoklad, že tyto vzorky by dosáhly ve srovnání s ostatními nejvyšší pevnosti a to kolem hodnot 85 MPa s kohezním typem lomu.

Zkratky naměřených veličin při dynamických zkouškách ve smyku:

- F_{\max} [N] - Rázová síla při dynamické zkoušce ve smyku
- R_m [MPa] - Dynamická pevnost spoje ve smyku

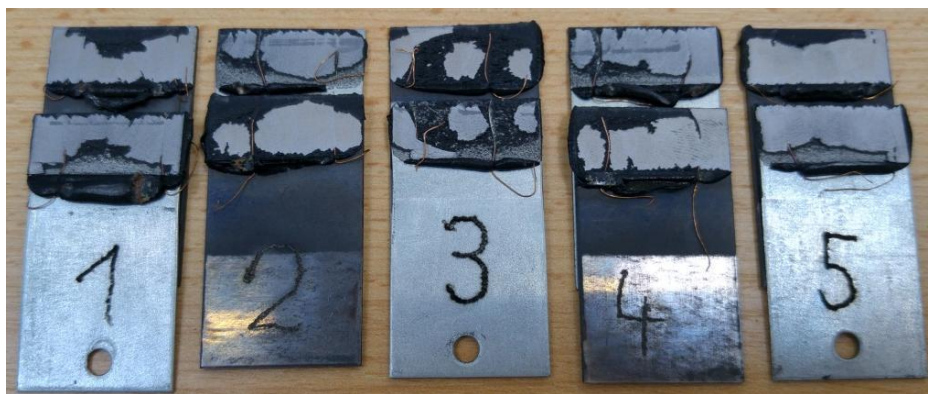
2.6.1 SikaPower 492

Tabulka 39 - Naměřené hodnoty dynamické zkoušky ve smyku s lepidlem SP 492G

Vzorek	1	2	3	4	5
F_{\max} [N]	19500	18800	18500	18700	17200
R_m [MPa]	78	75,2	74	74,8	68,8

Tabulka 40 - Vyhodnocení dynamické smykové zkoušky s lepidlem SikaPower 492G

Test: Dynamická zkouška ve smyku (15 m/s)						
Materiál povrchů: Z100 + AS150						
Použité mazivo: Anticorit PL 3802-39LV						
Množství maziva: 3 g/m ² - Z100 (AS150 - bez maziva)						
Testované lepidlo:	Test při	Typ porušení [%]				Pevnost ve smyku [MPa]
Tloušťka:		CF	SCF	AF	DF	
SikaPower 492G	RT (23°C)	5	10	0	85	74,16 ± 3,35
0,2 mm						



Obrázek 37 - Přetržené spoje po dynamické zkoušce s lepidlem SikaPower 492G

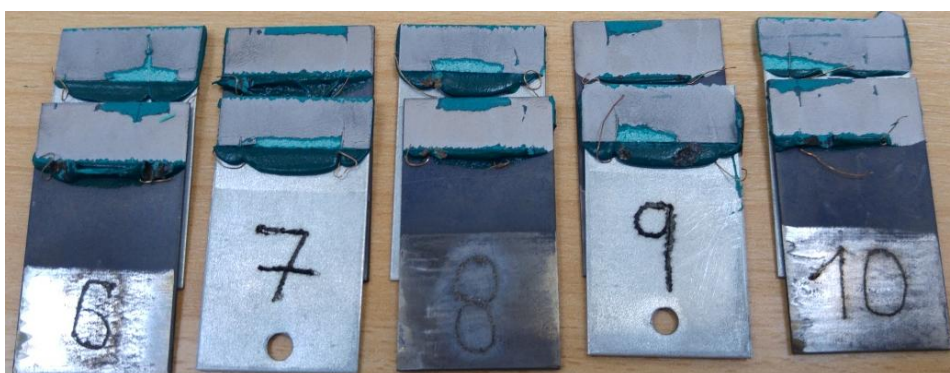
2.6.2 Betamate 1440G

Tabulka 41 - Naměřené hodnoty dynamické zkoušky ve smyku s lepidlem BM 1440G

Vzorek	6	7	8	9	10
F_{max} [N]	18600	15900	15800	12400	16400
R_m [MPa]	74,4	63,6	63,2	49,6	65,6

Tabulka 42 - Vyhodnocení dynamické smykové zkoušky s lepidlem Betamate 1440G

Test: Dynamická zkouška ve smyku (15 m/s)						
Materiál povrchů: Z100 + AS150						
Použité mazivo: Anticorit PL 3802-39LV						
Množství maziva: 3 g/m ² - Z100 (AS150 - bez maziva)						
Testované lepidlo:	Test při	Typ porušení [%]				Pevnost ve smyku [MPa]
Tloušťka:		CF	SCF	AF	DF	
Betamate 1440G	RT	0	10	0	90	63,28 ± 8,89
0,2 mm						



Obrázek 38 - Přetržené spoje po dynamické zkoušce s lepidlem Betamate 1440G

2.6.3 Zhodnocení

Pro porovnání byla využita data z diplomové práce Ing. Michala Bašuse [17], který testoval dynamickou pevnost ve smyku u homogenních lepených spojů z oceli 22MnB5 s povrchovou vrstvou AS150 při stejné době tepelného zpracování a za použití shodných lepidel. Hodnoty pevnosti byly naměřeny na tomtéž zkušebním zařízení.

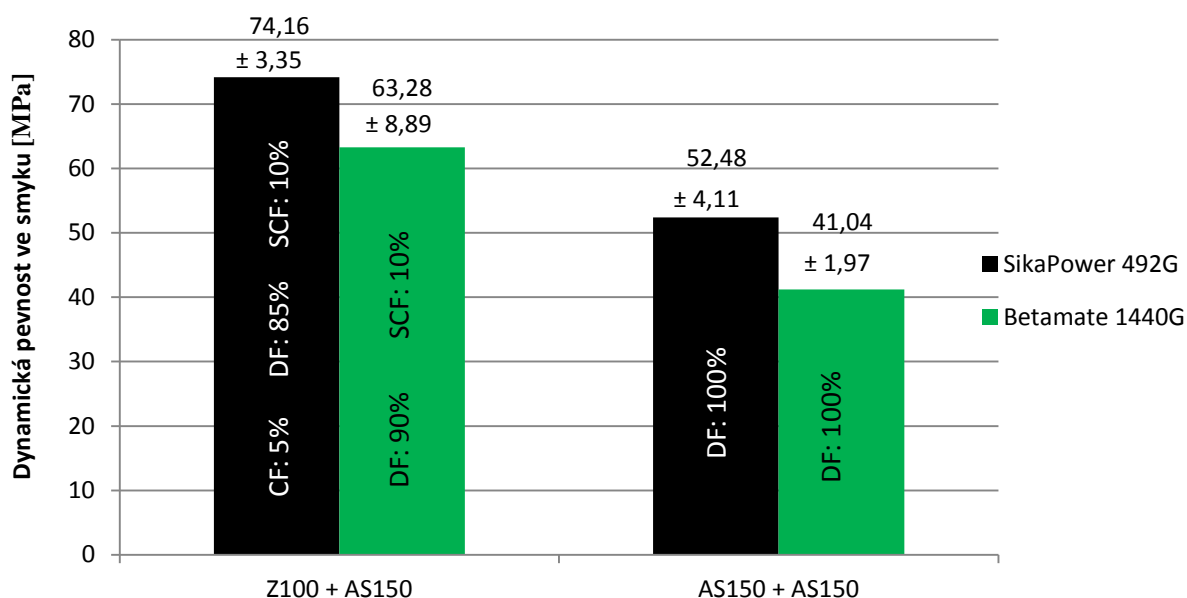
Vyšší pevnosti u dynamické zkoušky ve smyku bylo dosaženo u kombinovaných lepených spojů a to u obou typů lepidel. Po provedení zkoušky byly plechy z oceli HX340LAD viditelně v lepené části ohnuté, kdežto plechy z oceli 22MnB5 si i po dynamické zkoušce zachovaly stále původní rovný tvar po celé své délce. To opět, jako tomu bylo při statických zkouškách ve smyku, svědčí o tom, že navzdory stejným podmínkám byla samotná spojovaná místa kombinovaných a homogenních vzorků zatěžována mírně odlišným způsobem. U kombinovaných lepených spojů výrazně převládal delaminační typ porušení, u homogenních lepených spojů byl typ porušení čistě delaminační. Ovšem rozdíly v dosahované dynamické pevnosti ve smyku mezi stejnými typy lepidel u kombinovaných a homogenních typů vzorků jsou přibližně 20 MPa. Vyšších hodnot dosahovaly kombinované lepené spoje, což je rozdíl proti statické zkoušce ve smyku, kde vyšší pevnosti dosahovaly vzorky homogenní z oceli 22MnB5. Příčinou je zpevnění oceli HX340LAD při rázové zkoušce, kde toto zpevnění bylo velmi výrazné. Důkazem toho je, že i při nejnižší naměřené rázové síle byla překročena mez pevnosti oceli HX340LAD a to o 200 MPa. Přesto k porušení plechů z této oceli nedošlo ani v jednom případě. Zato u plechů z oceli 22MnB5 ani při největší změřené rázové síle hodnoty napětí v plechu nedosahovaly meze kluzu této oceli.

Při dynamické zkoušce ve smyku mělo vlivem dodání většího množství energie na destrukci vzorků za kratší časový interval proti statické zkoušce ve smyku dojít ke zvýraznění rozdílů mezi jednotlivými typy ocelí a jednotlivými lepidly. Jak již bylo popsáno výše, u kombinovaných lepených spojů došlo ke zpevnění oceli HX340LAD a to mělo největší vliv na zvýšení pevnosti proti statickým zkouškám. U lepidla Betamate 1440G se zvýšila pevnost přibližně o 30 MPa, u lepidla SikaPower 492G přibližně o 40 MPa. U homogenního spoje z oceli 22MnB5 ke zpevnění oceli nedocházelo, proto ani nedocházelo k tak výraznému nárůstu pevnosti spoje proti

zkouškám statickým. Pevnost spoje se zvyšovala jen v důsledku dodání většího množství energie na destrukci vzorků.

U obou typů spojů dosahovalo lepších výsledků při dynamické zkoušce ve smyku lepidlo SikaPower 492G. Proti lepidlu Betamate 1440G dosahovalo vyšších hodnot pevnosti přibližně o 10 MPa. Při dynamické zkoušce se ale proti zkoušce statické ukázalo, že lepidlo SikaPower 492G je lepší i u kombinovaného lepeného spoje. Při statické zkoušce dosahovaly kombinované vzorky s oběma lepidly téměř shodných pevností, přičemž lepidlo SikaPower 492G bylo u kombinovaného spoje mírně horší. Důvodem lepších výsledků lepidla SikaPower 492G může být opět, jako tomu bylo při statické zkoušce u homogenních lepených spojů z oceli 22MnB5, jeho větší smáčivost, tím tedy i lepší kopírování nerovností povrchů a větší styčná plocha.

Dynamická pevnost ve smyku



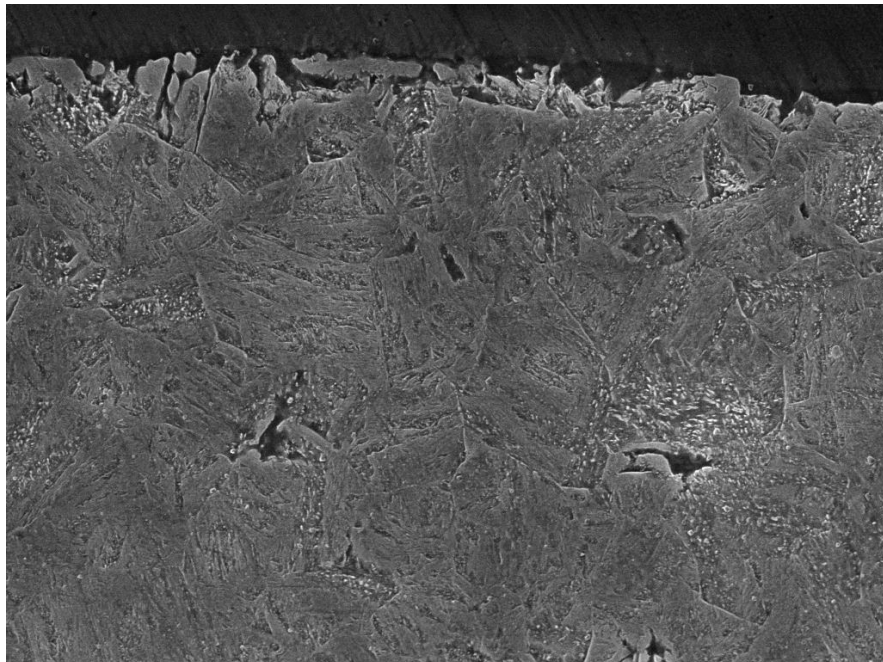
Graf 17 - Dynamická pevnost ve smyku

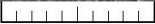

2.7 Analýza lepených spojů

Analýza vzorků po destrukci se uskutečnila na Dopravní fakultě Jana Pernera v Pardubicích ve výukovém a výzkumném centru v dopravě v laboratoři elektronové mikroskopie. K analýze byl použit řádkovací elektronový mikroskop VEGA\\ SB od firmy Tescan s energiově disperzním analyzátozem Bruker pro prvkovou analýzu povrchu.

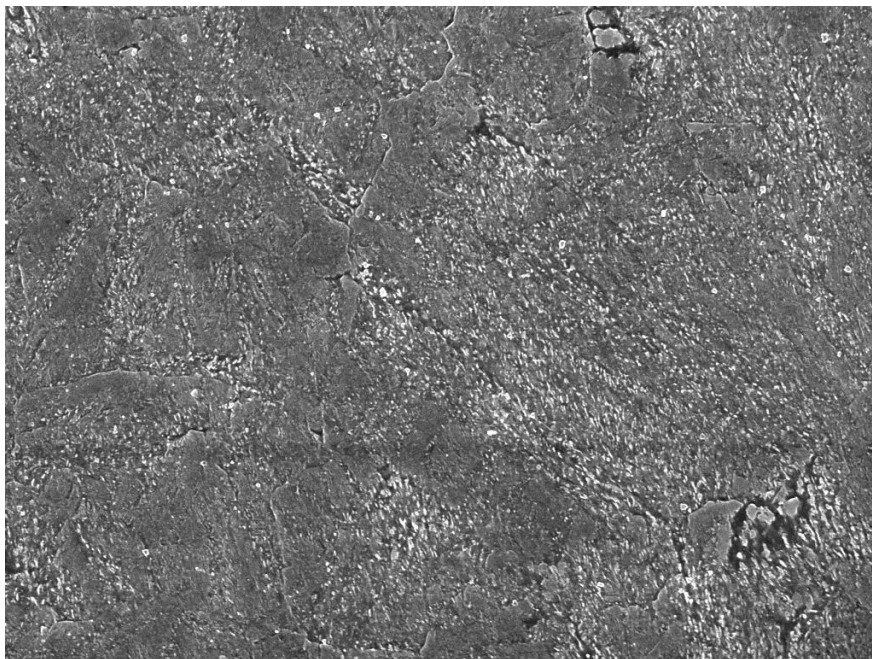
2.7.1.1 Porovnání oceli 22MnB5 s laboratorním a sériovým tepelným zpracováním



V kapitole 2.1.1 jsou uvedeny naměřené mechanické hodnoty u oceli 22MnB5 po laboratorním tepelném zpracování. Hodnoty smluvní meze kluzu u některých plechů nedosahovaly hodnot udávaných normou TL 4225 a byla v těchto hodnotách zjištěna velká odchylka. Mez pevnosti ovšem normě vyhovovala, ale držela se spíše ve spodním rozhraní udávaném normou. Tvrdost HV10 též normě vyhovovala. Rozdíl ve smluvní mezi kluzu byl nejspíše způsoben heterogenitou strukturního stavu. Zatímco na povrchu byla experimentálním tepelným zpracováním dosažena struktura (obrázek 39) odpovídající struktuře materiálu plechu odebraného ze středového tunelu karoserie vyrobeného sériovým způsobem (obrázek 41), ve středové oblasti byla zjištěna struktura podstatně odlišná (obrázek 40). Povrch byl tvořen převážně martenzitickou strukturou, proti plechu ze sériové výroby však strukturou s vyšším podílem karbidů. Ve středu tloušťky 22MnB5 plechů byla struktura feriticko-karbidická s malým podílem martenzitu. Distribuce relativně hrubých karbidů byla nerovnoměrná, usměrněná do feritických vrstev. Tento strukturní rozdíl svědčí o rozdílu rychlosti ochlazování povrchu a jádra plechu. To je důvodem, proč tvrdost odpovídala normě a velmi se blížila tvrdosti vzorku této oceli ze sériové výroby. Důvodem, proč nedošlo ke správnému napodobení struktury oceli i ve středu plechu, je způsob laboratorního kalení. Plechy se při kalení vkládají mezi dvě ocelové desky. Ty však nejsou chlazeny a nemají dostatečně velký přítlak a tím pádem ani rychlost odvodu tepla, jako je tomu v sériové výrobě.



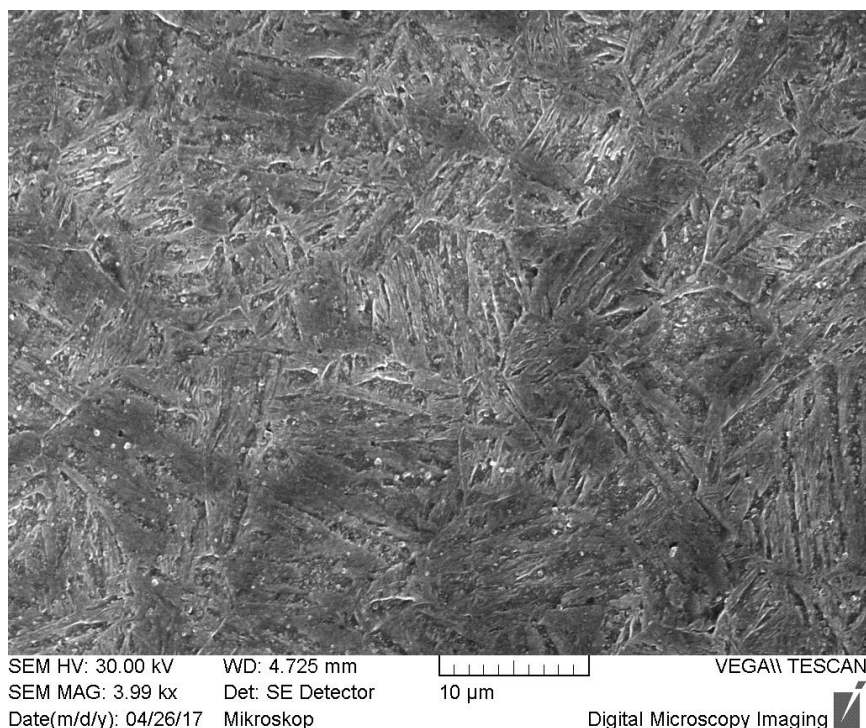
SEM HV: 30.00 kV WD: 5.987 mm  VEGA\\ TESCAN
SEM MAG: 4.00 kx Det: SE Detector 10 μ m
Date(m/d/y): 04/26/17 Mikroskop Digital Microscopy Imaging 

Obrázek 39 - Struktura povrchu 22MnB5 plechu po laboratorním TZ - vzorek 10A



SEM HV: 30.00 kV WD: 5.956 mm  VEGA\\ TESCAN
SEM MAG: 4.00 kx Det: SE Detector 10 μ m
Date(m/d/y): 04/26/17 Mikroskop Digital Microscopy Imaging 

Obrázek 40 - Struktura jádra 22MnB5 plechu po laboratorním TZ - vzorek 10A



Obrázek 41 - Struktura 22MnB5 plechu ze sériové výroby

2.7.2 Analýza kombinovaných lepených spojů

Po provedení zkoušek v odlupu a statických a dynamických zkoušek ve smyku se na lomových plochách vzorků kombinovaných lepených spojů vyskytovaly delaminační, kohezní a speciální kohezní typy porušení. U kombinovaných lepených spojů nebylo nikdy dosaženo čistě jednoho typu porušení, ale vždy se na lomové ploše objevila kombinace dvou nebo třech výše zmíněných druhů porušení a to u vzorků s oběma typy lepidel.

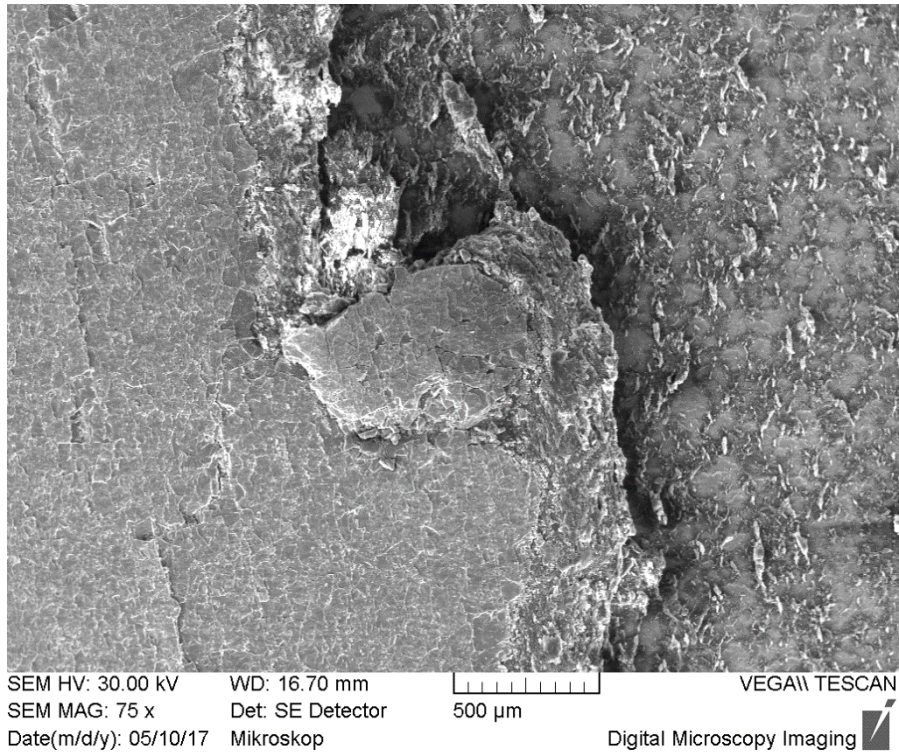
2.7.2.1 Delaminační a speciální kohezní porušení

K delaminačnímu porušení docházelo odtržením povrchové Al-Si vrstvy na oceli 22MnB5. Delaminační porušení svědčí o tom, že lepidlo mělo k povrchu dobrou přilnavost a jeho vlastní soudržnost byla zároveň lepší, než byla soudržnost povrchové Al-Si vrstvy. U statické i dynamické zkoušky ve smyku zaujímalo delaminační porušení největší část z lomové plochy.

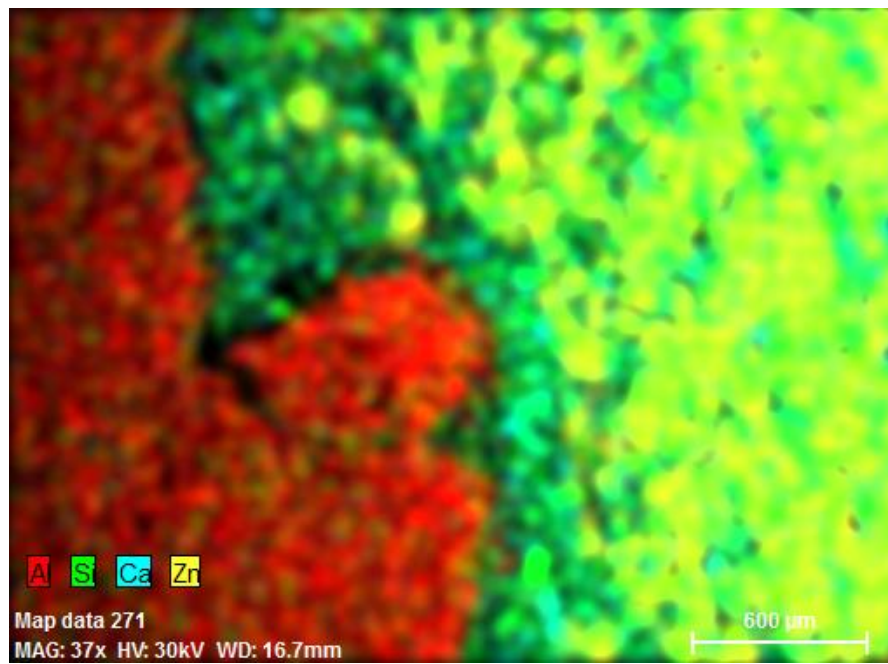
V případě speciálního kohezního lomu se na okrajích lepených spojů tvořily v lepidle špičky napětí právě vlivem namáhání v důsledku použití dvou materiálů s velmi odlišnými mechanickými vlastnostmi, docházelo k porušení lepidla. Speciální kohezní porušení se vyznačuje porušením spoje v lepidle v blízkosti jednoho z povrchů. Toto porušení může být způsobeno odlišnými vlastnostmi lepidla v této části, jelikož do lepidla difunduje olej, který na lepidlo působí jako změkčovadlo. To by odpovídalo tomu, že tento typ lomu se nacházel v blízkosti zinkové povrchové vrstvy na oceli HX340LAD, na kterou byla před samotným lepením nanášena vrstva oleje dle normy.

Na obrázku 42 a obrázku 43 je viditelná v levé části odtržená povrchová Al-Si vrstva z oceli 22MnB5, která ostře přechází do speciálního kohezního lomu, který se nachází na obrázcích v části pravé. V pravé části se tedy nachází velice slabá vrstva lepidla, pod kterou je viditelný zinkový podklad, který tvoří povrchovou ochranu plechu z oceli HX340LAD.

K delaminačnímu porušení docházelo při obou smykových zkouškách. Očekávání bylo takové, že k odtržení povrchové vrstvy dojde i při zkouškách v odlupu, nicméně toto očekávání se nenaplnilo. Speciální kohezní porušení se v největší míře vyskytovalo při zkouškách v odlupu, v malé míře se pak vyskytovalo při statických i dynamických zkouškách ve smyku.



Obrázek 42 - Struktura DF + SCF lomové plochy - vzorek 4Δ

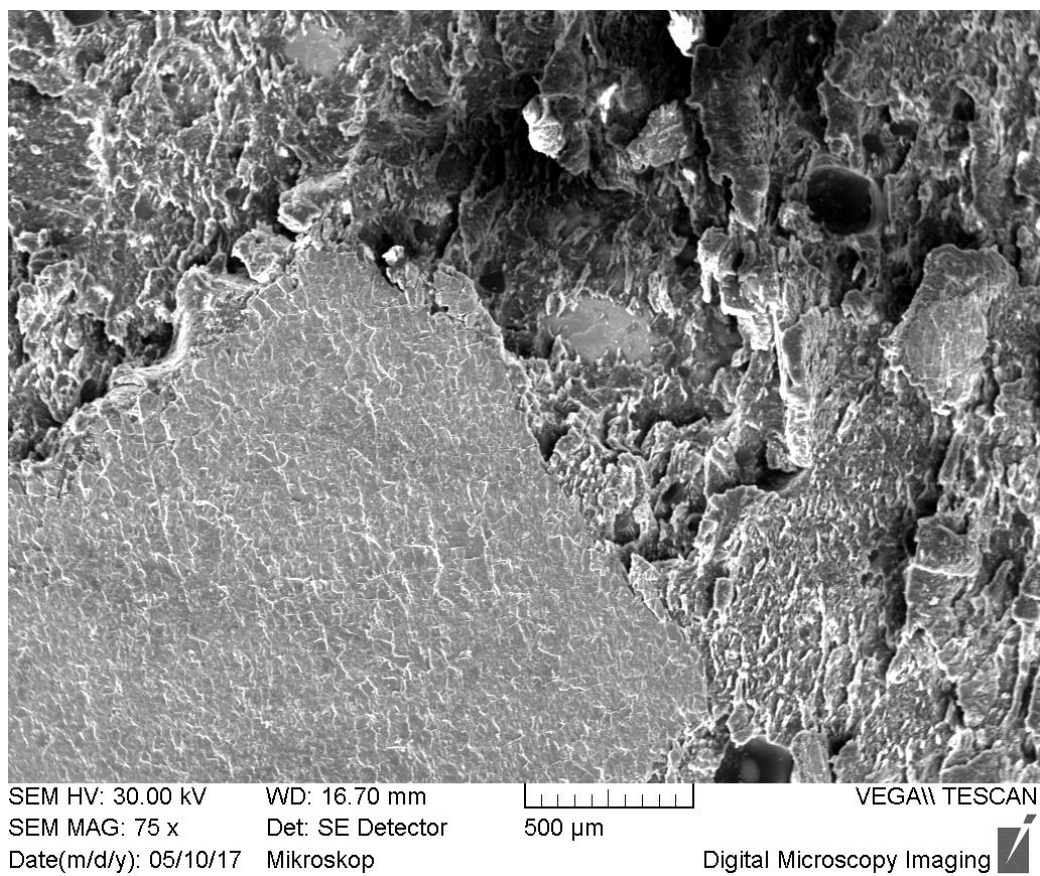


Obrázek 43 - CH mapping - vzorek 4Δ

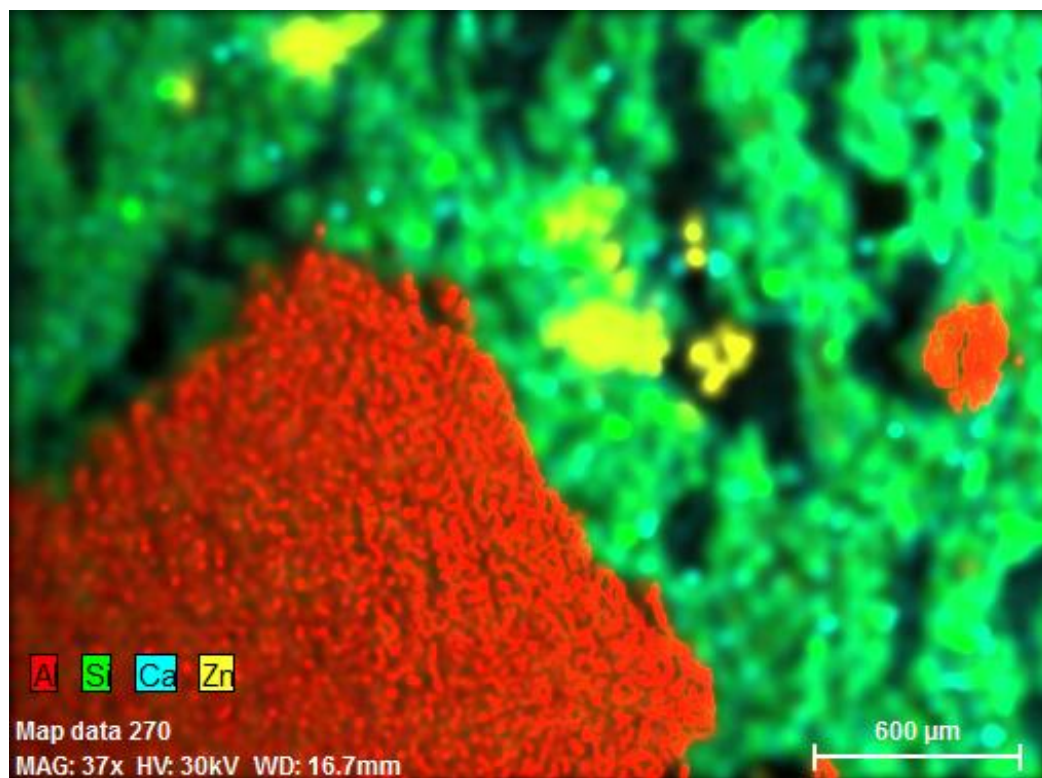
2.7.2.2 Delaminační a kohezní porušení

Kohezní druh porušení u zkoušených kombinovaných vzorků vznikal při smykových zkouškách na okrajích lepených ploch, tedy ve stejných místech, kde se často nacházelo i speciální kohezní porušení. Důvodem vzniku tohoto typu porušení je pravděpodobně opět použití dvou plechů z ocelí s velmi odlišnými mechanickými vlastnostmi. Při zatěžování se pak na okrajích lepených ploch tvořily špičky napětí, které vedly k porušení lepidla. Při zkouškách v odlupu se kohezní porušení nacházelo na tom konci spoje, kde spoj začal být rozevírán. Dále se při zkoušce v odlupu kohezní porušení nacházelo v podobě úzkého pásu po celé délce lepené plochy ve středu šířky plechu. Místa výskytu delaminačního porušení byla popsána v předchozí podkapitole.

Na obrázku 44 a obrázku 45 je zobrazena v levé spodní čtvrtině část odtržené Al-Si povrchové vrstvy z oceli 22MnB5. Ve zbylých třech čtvrtinách obrázku se nachází lepidlo s kohezním typem porušení. Místy v dutinách porušeného lepidla lze vidět povrchovou zinkovou vrstvu plechu z oceli HX340LAD.



Obrázek 44 - Struktura DF + CF lomové plochy - vzorek 9A



Obrázek 45 - CH mapping vzorek 9A

3 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo připravit a následně odzkoušet chování kombinovaných lepených spojů z ocelí 22MnB5 a HX340LAD při různých typech zatěžovacích zkoušek, dále vyhodnotit jejich pevnost a druhy porušení spojů při těchto zkouškách a výsledky porovnat se spoji homogenními. Pro experiment byla vybrána dvojice epoxidových jednosložkových lepidel. Lepené spoje byly zkoušeny na pevnost v odlupu a ve smyku, přičemž ve smyku byly spoje zkoušeny staticky i dynamicky. Výsledky provedených testů upřesnily pohled na chování lepidel, výslednou pevnost konkrétních strukturních dílů karoserie a chování pevnostních ocelí v takovýchto aplikacích.

Při přípravě vzorků lepených spojů byl zásadní proces simulace kalení lisováním. Tato operace má totiž velký vliv na mechanické vlastnosti oceli 22MnB5 a také na tloušťku difuzní a povrchové Al-Si vrstvy. Normě nebylo vyhověno v mezi kluzu a v tažnosti. Zatím co na povrchu oceli se podařilo dosáhnout martenzitické struktury velmi podobné plechům ze sériové výroby, ve středu plechu se nacházela struktura feriticko-karbidická, ačkoli by se měla martenzitická struktura nacházet v celém objemu plechu. Tyto odchylky od standardu však nebyly nijak významné v porovnání s tím, jakých pevností bylo dosahováno u lepených spojů a v porovnání s tím, že pevnostní parametry oceli 22MnB5 po laboratorním tepelném zpracování byly i tak více jak dvojnásobné oproti oceli HX340LAD. Důležité pro experiment bylo nasimulovat kritické místo, které se nachází v povrchové Al-Si vrstvě, a to konkrétně na rozhraní mezi difuzní a povrchovou vrstvou. Těmto parametrům bylo dle normy bez problémů vyhověno a dokonce se velmi blížily sériové výrobě. Co se týče pevnostních hodnot, důležité bylo dosáhnout toho efektu, aby se při zatěžování lepených spojů deformovala pouze ocel HX340LAD, čemuž bylo při zkouškách vyhověno a na vzorcích po destrukci je to jasně patrné. Pro případnou ještě větší přesnost výsledků a přiblížení se k reálnému stavu by bylo vhodné zvážit úpravu postupu kalení v laboratoři, za účelem zvýšení rychlosti odvodu tepla. V sériové výrobě se k této operaci používají vodou chlazené lisy, které ocelové desky v laboratoři nemohou nahradit ani svou velikostí a hmotností vzhledem k rozměrům vzorků.

Při zkouškách v odlupu byla zjištěna nejnižší pevnost u homogenních lepených spojů z oceli 22MnB5 a to s oběma typy lepidel. Důvodem je to, že po započetí odlupování pevnost tohoto spoje rychle klesá, což je dáno vysokou pevností oceli 22MnB5. Nedojde tak k ustálení působící síly v té části diagramu, ze které se provádí vyhodnocení pevnosti v odlupu. Jinak již tomu bylo u dalších typů vzorků, kdy se vlivem menší pevnosti oceli HX340LAD mohly plechy z této oceli při zatěžování deformovat. Díky tomu byla vždy zatěžována jen krajní část lepeného spoje, nedocházelo k rychlému poklesu pevnosti, ale pevnost si držela pomyslnou konstantní hladinu až do úplné destrukce spoje. Při porovnání kombinovaného spoje a homogenního spoje z oceli HX340LAD nelze jednoznačně říci, který z nich dosahuje vyšších pevností v odlupu. S lepidlem Betamate 1440G to byl totiž spoj homogenní, kdežto s lepidlem SikaPower 492G to byl spoj kombinovaný. Co se týče lepidel, tak při zkoušce v odlupu u všech typů vzorků dosáhlo lepších výsledků lepidlo Betamate 1440G, což bude dáno jeho složením, které má za následek jeho větší houževnatost. U všech typů vzorků i u obou lepidel se vyskytoval typ lomu CF, SCF nebo jejich kombinace.

U statické zkoušky ve smyku při zatěžování tahem dosáhly nejvyšší pevnosti homogenní spoje z oceli 22MnB5. Zde se projevil větší rozdíl mezi oběma lepidly, přičemž větší pevnosti dosáhly spoje s lepidlem SikaPower 492G. K lomu docházelo výhradně delaminací v povrchové Al-Si vrstvě. Nejnižší pevnosti ve smyku při statické zkoušce dosáhly homogenní spoje z oceli HX340LAD. Zde byl rozdíl mezi oběma použitými typy lepidel minimální. Také typ porušení se nelišil. V obou případech docházelo ke koheznímu typu porušení. Kombinované lepené spoje se s hodnotami pevnosti při statické zkoušce ve smyku umístily mezi oběma typy homogenních spojů. Rozdíl v pevnosti mezi oběma lepidly byl opět téměř zanedbatelný. Rozdíl proti homogenním spojům byl ovšem v typu porušení spoje. U kombinovaných spojů se objevoval delaminační, kohezní i speciální kohezní typ porušení.

Při dynamických zkouškách ve smyku se vyskytl jev, kdy plechy z oceli HX340LAD vlivem působení rázové síly zpevnily a hodnoty pevnosti kombinovaných spojů proti statické pevnosti ve smyku vzrostly o 40 MPa u lepidla Sikapower 492G a o 30 MPa u lepidla Betamate 1440G. Zde se projevil rozdíl mezi oběma lepidly, který

při statické zkoušce ve smyku byl téměř nezatelný. Typ porušení se opět skládal z více druhů a to z delaminačního a speciálního kohezního, u lepidla SikaPower 492G se nacházely i malé plochy s kohezním typem porušení. U homogenních spojů z oceli 22MnB5 nedocházelo k tak výraznému zvýšení pevnosti spojů. Typ porušení byl opět výhradně delaminační. K deformacím plechů z oceli 22MnB5 ani při této zkoušce nedocházelo. Přivedením většího množství energie pro destrukci spoje se pouze prohloubil rozdíl mezi oběma lepidly a i u homogenního spoje z oceli 22MnB5 byl pevnější spoj s lepidlem SikaPower 492G.

4 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] TVRZNÍK, Jiří a kol. *Škoda Octavia III – Lehké konstrukce v sériové technologii*. Lázně Bělohrad, 2013. Prezentace. VVA
- [2] PETRUCHA, Roman. *Snižování hmotnosti karoserií osobních automobilů na základě volby materiál* [online]. BRNO, 2015 [cit. 2017-03-05]. Dostupné z: https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/40354/2015_BP_Petrucha_Roman_152194.pdf?sequence=1. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Doc. Ing. Jaroslav ŠENBERGER, CSc.
- [3] LICHOROBJEC, Vojtěch. *Vliv vodíku na pevnost a svařitelnost vysokopevných martenzitických ocelí pro automobilové aplikace* [online]. Pardubice, 2010 [cit. 2017-03-05]. Dostupné z: http://dspace.upce.cz/bitstream/handle/10195/37122/LichorobiecV_Vodikvysokopevneoceli_ES_2010.pdf.pdf?sequence=1. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra dopravních prostředků a diagnostiky. Vedoucí práce Prof. Ing. Eva Schmidová, Ph.D.
- [4] Steels for hot stamping -Usibor®: Ultra high strength steels. *ArcelorMital Automotive Worldwide:Europe product catalogue* [online]. 2017 [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: http://automotive.arcelormittal.com/saturnus/sheets/E_EN.pdf
- [5] VOTAVA, Pavel. *Odporové svařování martenzitických ocelí s variantním tepelným zpracováním* [online]. Praha, 2015 [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/63565/F2-DP-2015-Votava-Pavel-DP%20Pavel%20Votava.pdf?sequence=-1>. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Ing. Marie Kolaříková, Ph.D., IWE.
- [6] BELANGER, Paul. Great Design in Steel - Gestamp 2016: Steel Innovations In Hot Stamping. *Slideshare: Discover. Share. Present.* [online]. 2016 [cit. 2017-03-08]. Dostupné z: https://www.slideshare.net/ChristopheCazes2/great-design-in-steel-gestamp-2016?qid=982f5565-5c8d-4dbb-84d0-5888f5f59009&v=&b=&from_search=1
- [7] TL 4225. *Alloyed Quenched and Tempered Steel for Press Quenching – Uncoated or Pre-Coated: Material Requirements for Semi-Finished Products and Components*. 4th edition. 2016.
- [8] 22MnB5: General Information. *Ovako.com:Material data sheet Steel grade* [online]. 2016 [cit. 2017-03-08]. Dostupné z: <https://steelnavigator.ovako.com/steel-grades/22mnb5/pdf?variantIDs=101>
- [9] Hot-Formed (HF) Steel. *WorldAutoSteel* [online]. [cit. 2017-03-08]. Dostupné z: <http://www.worldautosteel.org/steel-basics/steel-types/hot-formed-hf-steel/>

- [10] HEIN, Lothar a Ken WEISE. Lightweight Chassis Cradles. *Autosteel* [online]. [cit. 2017-03-08]. Dostupné z: <http://www.autosteel.org/~media/Files/Autosteel/Great%20Designs%20in%20Steel/GDIS%202008/23%20-%20Lightweight%20Chassis%20Cradles.pdf>
- [11] Inovativní technologie v automobilovém průmyslu. *MM Průmyslové Spektrum* [online]. 2007 [cit. 2017-03-11]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/inovativni-technologie-v-automobilovem-prumyslu.html>
- [12] Volkswagen Production - Press Shop. *YouTube* [online]. 2015 [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=1xYIP638xQ&index=4&list=PLsp2MnvcKGwNfbKBJgkCAV-VSL4saOE-p>
- [13] DIN EN 10346. *DIN EN 10346: Kontinuierlich schmelztauchveredelte Flacherzeugnisse aus Stahl zum Kaltumformen – Technische Lieferbedingungen; Deutsche Fassung EN 10346:2015*. Oktober 2015. Berlin, 2015.
- [14] ŠKODA Můj stroj: Linka PXL. *YouTube* [online]. [cit. 2017-04-17]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=UU6FIMZ2IWU>
- [15] *Průručka žárového zinkování*. [4., aktualiz. vyd.]. Ostrava: Asociace českých a slovenských zinkoven, 2011. ISBN 978-80-260-3324-0.
- [16] M. WINDMANN, A. RÖTTGER, W. THEISEN. Phase formation at the interface between a boron alloyed steel substrate and an Al-rich coating. *Surface & Coatings Technology*. 2013, 130 - 131. ISSN 0257-8972.
- [17] BAŠUS, Michal. *Pevnost lepených spojů bórem legovaných ocelí s povlakem AlSi*. Liberec, 2017. Diplomová. Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, Katedra strojírenské technologie.
- [18] NĚMEČEK, Stanislav. Laserové svařování s přídavným drátem: Laserové pájení. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2015 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/laserove-svarovani-s-pridavnym-dratem.html>
- [19] Žárové zinkování: Neoddělitelně spojený a odolný. *Wiegel - Žárové zinkování, práškové lakování* [online]. 2013 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: http://cz.wiegel.de/fileadmin/Redaktion/downloads-cz-k/Wiegel_Informace_ProZinkovani-web.pdf
- [20] SCHIFFMANN, Tomáš. *Studium vlivu chemického složení povrchu substrátu na vlastnosti epoxidových lepidel u autokaroserií*. Pardubice, 2014. Diplomová práce. Fakulta chemicko-technologická, Ústav chemie a technologie makromolekulárních látek. Vedoucí práce Ing. Luboš Prokůpek, Dr.
- [21] Jiří Učeň a kol. Škoda Fabia třetí generace. Mladá Boleslav, 2014. Prezentace. Škoda Auto

- [22] Technologie lepení v automobilovém průmyslu. *Stránkáký Katedry strojírenské technologie Technické univerzity v Liberci* [online]. [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/spt/lepeni.pdf
- [23] ZÁKLADY TEORIE LEPENÍ. *ABC lepidla* [online]. [cit. 2017-03-30]. Dostupné z: http://www.abclepidla.cz/Files/file/files/Teorie_lepeni.pdf
- [24] STOKLASA, František. Pájecí slitiny. *COPTEL* [online]. 2010 [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <http://coptel.coptkm.cz/index.php?action=2&doc=6096>
- [25] HASHIM, S.A. *Marine Structures 12: Adhesive bonding of thick steel adherends for marine structures* [online]. 1999, , 416 [cit. 2017-04-03]. Dostupné z: http://ac.els-cdn.com/S0951833999000295/1-s2.0-S0951833999000295-main.pdf?_tid=5b74dde6-18a1-11e7-b501-00000aacb35d&acdnat=1491246876_52945a2791c43997a6fb447b0ec6af8e
- [26] ISO 11339. *Adhesives - T-peel test for flexible-toflexible bonded assemblies*. 3rd edition. 2010.
- [27] PV 12.35. *Adhesives: Testing of Tensile Shear Strength*. 2nd. 2007.
- [28] ISO 10365. *Adhesives - Designation of main failure Patterns*. 1992.
- [29] JIRÁK, Jan. *Lepení bočních plechů a předního/zadního panelu při výrobě autobusů v podmínkách SOR Libchavy*. Pardubice, 2011. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra dopravních prostředků a diagnostiky. Vedoucí práce Doc. Dr. Ing. Libor Beneš.

5 PŘÍLOHY

Příloha 1: Protokol tahové zkoušky oceli 22MnB5 po laboratorním TZ	76
Příloha 2 : Porovnání sériové a laboratorní Al-Si vrstvy po TZ.....	77
Příloha 3: Protokol tahové zkoušky oceli HX340LAD	78
Příloha 4: Technický list SikaPower 492G.....	80
Příloha 5: Technický list Betamate 1440G	82

Zkušební protokol

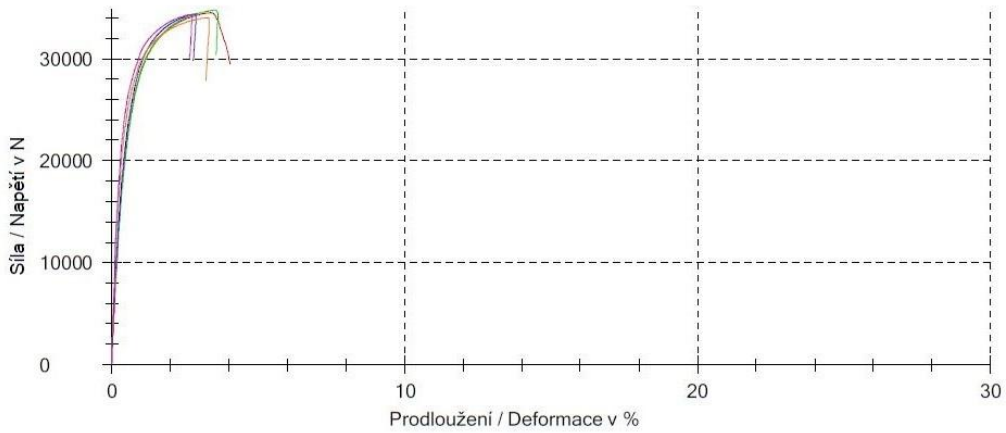
Zákazník : Typ vzorku :
 Číslo obj. : Zpracování :
 Zkušební norma : Zkoušel(a) :
 Typ a popis : Poznámky... :
 Materiál : Zkušební systém :
 Odběr vzorku :

Předzatižení : 2 MPa Rychlost do meze kluzu : 30 MPa/s
 Rychlost pro E-Modul : 30 MPa/s Rychlost zkoušky : 0,006 1/s

Výsledky zkoušek:

Nr	m _E GPa	R _{p0.2} MPa	R _{eH} MPa	R _m MPa	R _B MPa	A ₈₀ %	a ₀ mm	b ₀ mm	S ₀ mm ²
1	258	916	-	1390	1190	3,6	1,20	20,68	24,82
2	406	703	-	1400	1220	3,3	1,20	20,68	24,82
3	315	865	-	1390	1200	2,4	1,20	20,68	24,82
4	310	981	-	1370	1130	2,9	1,20	20,68	24,82
5	280	1070	-	1380	1210	2,2	1,20	20,68	24,82

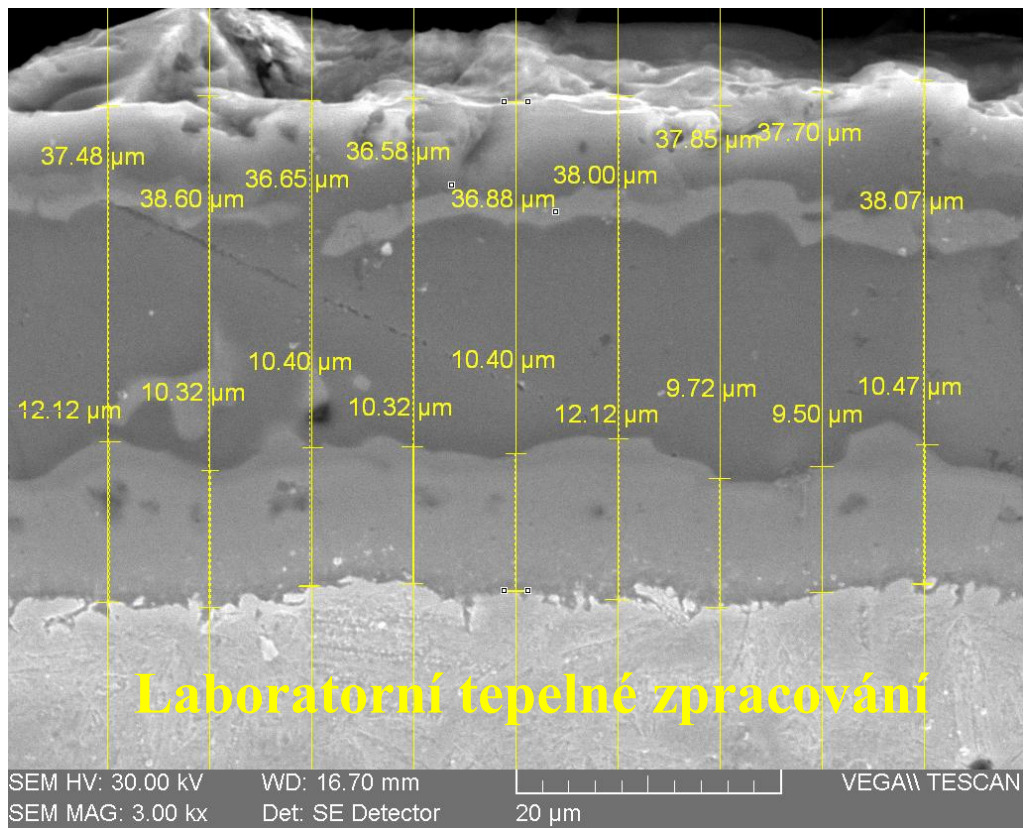
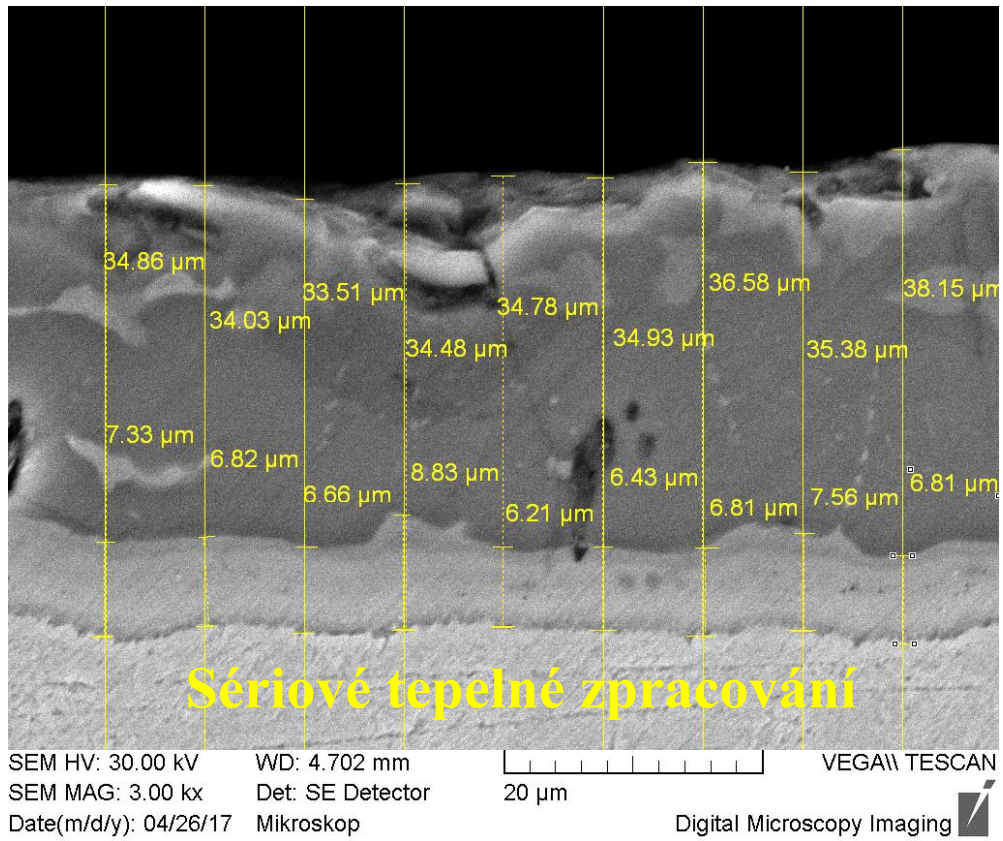
Grafické záznamy série:



Statistika:

Série n = 5	m _E GPa	R _{p0.2} MPa	R _{eH} MPa	R _m MPa	R _B MPa	A ₈₀ %	a ₀ mm	b ₀ mm	S ₀ mm ²
\bar{x}	314	908	-	1390	1190	2,9	1,20	20,68	24,82
s	56,3	138	-	10,8	38,7	0,6	0,00	0,00	0,00
v	17,95	15,23	-	0,78	3,25	19,74	0,00	0,00	0,00

Příloha 2 : Porovnání sériové a laboratorní Al-Si vrstvy po TZ



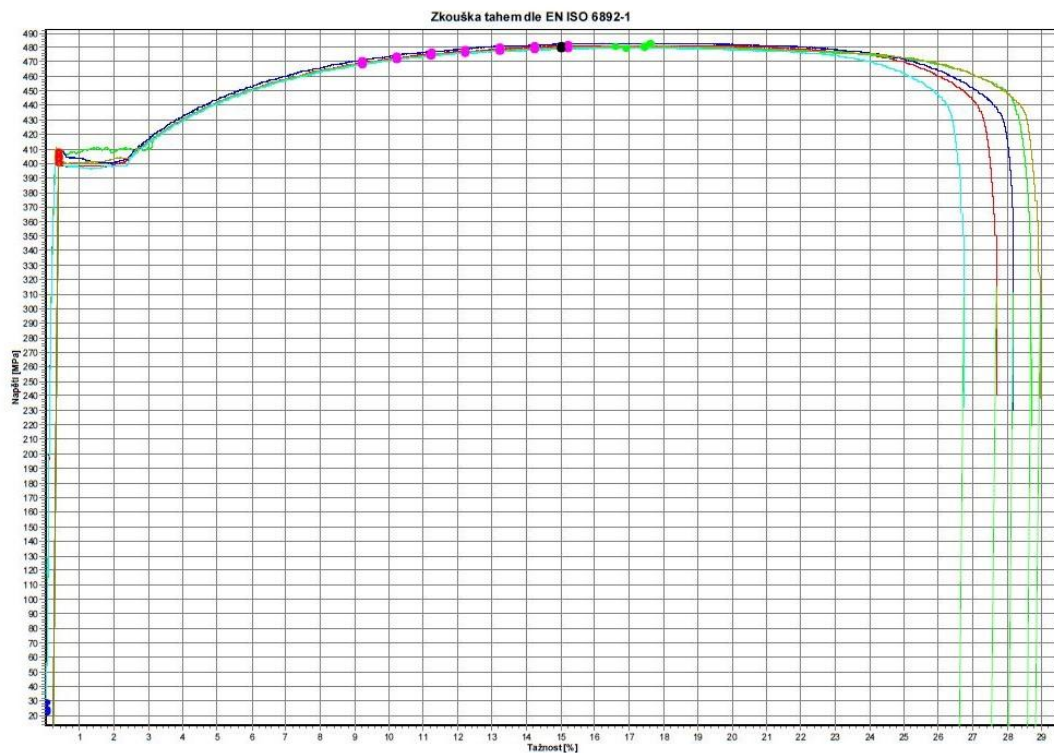
Příloha 3: Protokol tahové zkoušky oceli HX340LAD

Číslo dílu: XXX
Jakost: HX340LAD
Norma: EN10 346
Číslo svítku: XXX
Výrobce:
Ra: 0,88; Pc: 73; Úhel: 90

Datum: 21.04.17
Zkoušející: Josef Malina
Oddělení: PFS-K

Zkušební parametry

Typ stroje:	LabTest 6.100
Rozměry vzorku:	b = 20,1 mm
Zadání délek:	Le = 80 mm; Lc = 120 mm; L0 = 80 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 15 mm/min; V1 = 15 mm/min
Kriterium ukončení zkoušky:	Síla = 100000 N; dF = 50 %



Číslo dílu: XXX
 Jakost: HX340LAD
 Norma: EN10 346
 Číslo svitku: XXX
 Výrobce:
 Ra: 0,88; Pc: 73; Úhel: 90

Datum: 21.04.17
 Zkoušející: Josef Malina
 Oddělení: PFS-K

Tabulka výsledků

	OK	Rp0,2 MPa	Rm MPa	A %	a mm	Rm/Rp0.2	r	n (4..MaxA)	Práce kN*mm
1	x	400	481	27,54	0,702	1,20	0,98	0,16	143,37
2	x	408	480	28,57	0,702	1,18	0,98	0,16	148,83
3	x	405	483	28,05	0,702	1,19	1,01	0,16	146,58
4	x	403	480	28,81	0,702	1,19	0,98	0,16	150,00
5	x	400	480	26,61	0,702	1,20	1,00	0,16	137,98

Statistika a = 5

	Rp0,2 MPa	Rm MPa	A %	a mm	Rm/Rp0.2	r	n (4..MaxA)	Práce kN*mm
Střední hodnota	403	481	27,92	0,702	1,19	0,99	0,16	145,35
Standardní odchylka	3	1	0,88	0,000	0,01	0,01	0,00	4,84
Minimum	400	480	26,61	0,702	1,18	0,98	0,16	137,98
Maximum	408	483	28,81	0,702	1,20	1,01	0,16	150,00

Příloha 4: Technický list SikaPower 492G

Product Data Sheet
Version 4 (04 / 2010)

SikaPower®-492G

Semi crash resistant hem flange adhesive

Technical Product Data

Chemical base	Epoxy hybrid
Color (CQP ¹ 001)	black
Hazard designation	Xi, N
Non-volatile compounds (CQP 576)	> 99 %
Density before / after curing (CQP 576)	1.30 / 1.35 kg/l approx.
Application temperature	50 - 60°C (nozzle)
Viscosity; 50°C, oscillation 5Hz, P/P 25 mm, 1 mm gap (CQP 584-1)	1000 Pa·s approx.
Curing time / substrate temperature	20 min / 175°C
Lap shear strength ² , at 0.3 mm (CQP 580-1,-6 / EN 1465)	20 MPa approx.
Lap shear strength ² , -30°C / +80°C, at 0.3 mm (CQP 580-1,-6 / EN 1465)	22 / 15 MPa approx.
Lap shear strength ² , 20' 160°C / 40' 200°C, at 0.3 mm (CQP 580-1,-6 / EN 1465)	19 / 18 MPa approx.
Lap shear strength ³ , 1.5 mm metal sheet, at 0.3 mm (CQP 580-1,-6 / EN 1465)	30 MPa approx.
Dynamic resistance to cleavage ⁴ (CQP 580-3,-6 / ISO 11343)	30 N/mm approx.
T-Peel strength ⁵ (CQP 580-2,-6 / ISO 11339)	9 N/mm approx.
Tensile strength ⁶ (CQP 580-5,-6 / ISO 527)	30 MPa approx.
Elongation at break ⁶ (CQP 580-5,-6 / ISO 527)	8% approx.
Glass transition temperature, DMTA (CQP 509 / DIN EN ISO 6721, EN 61006)	105°C approx.
Shelf life, at 23°C (CQP 584-1)	9 months

¹ CQP = Corporate Quality Procedures

² DC 04 ZE 75/75 0.8 mm; 3 g/m² Anticorit PL 3802-39 S; adhesive layer: 25 x 10 x 0.3 mm; rate of extension: 10 mm/min.

³ H320 ZE 50/50 1.5 mm; 3 g/m² Anticorit PL 3802-39 S; adhesive layer: 25 x 10 x 0.3 mm; rate of extension: 10 mm/min.

⁴ DC 04 ZE 75/75 0.8 mm; 3 g/m² Anticorit PL 3802-39 S; adhesive layer: 20 x 30 x 0.3 mm; impact speed: 2.0 m/s.

⁵ DC 04 ZE 75/75 0.8 mm; 3 g/m² Anticorit PL 3802-39 S; adhesive layer 25 x 100 x 0.3 mm; rate of extension: 100 mm/min.

⁶ Rate of extension: 2 mm/min.

Description

SikaPower®-492G is a one-part, warm-applied, heat-curing high-structural, impact modified adhesive based on epoxy.

SikaPower®-492G is designed for sheet metal assembly work in the body shop and is cured with heat, e.g. in the paint oven, to form a high-performance thermoset.

SikaPower®-492G is manufactured in accordance with ISO 9001/14001 quality assurance system and with the Responsible Care program.

Product Benefits

- One-part
- High strength
- Adheres well to oily substrates
- Very high resistance to washing out
- Suitable for joining different metals
- Contains fine glass beads
- Distortion-free joining
- Provides protection against corrosion
- No damage to substrates
- Contains no solvents, PVC or isocyanates

Areas of Application

SikaPower®-492G is suitable for high structural bonding of different types of metal. As an adhesive product it is designed for use as a hem flange bonding adhesive. The glass beads contained in the adhesive provide a uniform layer of adhesive in the gap and help to reduce excessive material squeeze out. The bonding of oily substrates (standard anti-corrosion treatment and deep drawing oils, approx. 3 g/m²) is possible because of the oil uptake during the heat curing that is an essential part of the process.



SikaPower®-492G 1 / 2

Method of Application

SikaPower[®]-492G is applied in bead form with a recommended diameter of 1 to 3 mm. SikaPower[®]-492G is filtered with a mesh size of 300 µm before packaging.

Because the viscosity is temperature-dependent (see Fig. 1) all parts of the application system that are in contact with the adhesive must be heated. We recommend phased temperature increase from 40°C at the follower plate to 55°C at the application unit (nozzle). To prolong the life of the packings and facilitate removal of the cut foil disk we strongly recommend a preheating of the new drum for 15 minutes. This will make it easier to remove the foil. During longer breaks (e.g. over night or at the weekend) the equipment must be cooled down to ambient temperature and switched-off and the system (pump and dosage unit) depressurized.

The glass beads contained in the adhesive do not affect the application with standard application systems.

The time between application and curing must be as short as possible, since any uptake of moisture in the interim (climate-dependent) can cause formation of blisters during heat curing. As a guide to process planning, blister formation was not detected after conditioning of uncured parts at 23°C and 80% relative humidity in joined state for two weeks, a drop in dynamic resistance to cleavage was not detected even after four weeks. However, if suitable conditions cannot be guaranteed, pre-curing for 15 minutes at 160°C (substrate temperature) is necessary.

For advice on project-specific application techniques please contact the Corporate System Engineering department (Sika Services AG). For advice on suitable applications (Technical Service) please contact Sika Automotive GmbH.

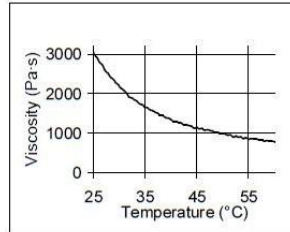


Figure 1: Viscosity as a function of temperature (Equipment Physica)

Cure Mechanism

SikaPower[®]-492G is cured by heat. The cure-rate depends both on temperature and elapsed time. The most suitable heat sources are convection ovens. The maximum temperature must not exceed 220°C.

Further Information

Copies of the following publications are available on request:

- Material Safety Data Sheet
- Pump specification

Packaging Information

Cartridges	300 ml
Hobcock ¹⁾	23 l
Hobcock	50 l
Drum	195 l

¹⁾ 280 mm diameter

Value Base

All technical data stated in this Product Data Sheet are based on laboratory tests. Actual measured data may vary due to circumstances beyond our control.

Local Restrictions

Please note that as a result of specific local regulations the performance of this product may vary from country to country. Please consult the local Product Data Sheet for the exact description of the application fields.

Health and Safety Information

For information and advice on the safe handling, storage and disposal of the chemical products, users shall refer to the most recent Material Safety Data Sheet containing physical, ecological, toxicological and other safety-related data.

Legal Notes

The information, and, in particular, the recommendations relating to the application and end-use of Sika products, are given in good faith based on Sika's current knowledge and experience of the products when properly stored, handled and applied under normal conditions in accordance with Sika's recommendations. In practice, the differences in materials, substrates and actual site conditions are such that no warranty in respect of merchantability or of fitness for a particular purpose, nor any liability arising out of any legal relationship whatsoever, can be inferred either from this information, or from any written recommendations, or from any other advice offered. The user of the product must test the product's suitability for the intended application and purpose. Sika reserves the right to change the properties of its product. The proprietary rights of third parties must be observed. All orders are accepted subject to our current terms of sale and delivery. Users must always refer to the most recent issue of the local Product Data Sheet for the product concerned, copies of which will be supplied on request.



Further information available at
www.sika.ch
www.sika.com

Sika Automotive GmbH
Reichsbahnstraße 99
D-22525 Hamburg
Germany
Tel. +49405400-0
Fax +494054002-241



SikaPower[®]-492G 2 / 2



Dow Automotive

Provisorisches Technisches Datenblatt

BETAMATE™ 1440

Crashstabiler Strukturklebstoff

Anwendung / Beschreibung:

BETAMATE™ 1440 ist ein einkomponentiger Epoxidklebstoff, welcher speziell für den Einsatz im Rohbau entwickelt wurde. Der Klebstoff wird angewendet, um die Betriebsfestigkeit, die Crashstabilität und die Steifigkeit des Fahrzeuges zu erhöhen.

Eigenschaften:

- Ausgezeichnete Prozess- und Lagerstabilität
- Ausgezeichnete Haftung auf den im Automobilbau verwendeten Stahlsorten, einschliesslich beschichteten Stählen und vorbehandeltem Aluminium. Gute Verträglichkeit von Ölen und Trockenschmierstoffen
- Erhöht die Steifigkeit und Crashstabilität des Fahrzeuges
- Hohe Beständigkeit des Klebstoffes und der Verklebung.
- Eignung zur Abdichtung und Schutz des Metalls als auch der Schweisspunkte vor Korrosion
- Kompatibel mit anderen mechanischen und themischen Fügeverfahren
- Kompatibel mit dem KTL - Prozess und auswaschbeständig
- Vorhärtnbar
- Bis zu sechs Wochen Offenzeit im gefügten Zustand

Applikation:

Das Produkt ist kalt anpumpbar, wirbelsprühbar und ist mittels Dünnstrahlspritzen oder als Raupe applizierbar. Es kann mit folgenden Parametern appliziert werden:

Auftragungsgeschwindigkeit	200 - 500 mm/s
Temperaturen:	Empfohlen:
Folgeplatte	unbeheizt möglich, oder 30-40°C
Folgeplatte - Dosierer	Pro Heizzone ca. 5°C Temperaturerhöhung.
Düse	40 - 55°C. 45 - 60°C

Um eine optimale Benetzung des Bauteiles mit dem Klebstoff zu erzielen, sollten die Bauteile bei mindestens 15°C gelagert werden. Bei einer längeren Unterbrechung der Applikation, zum Beispiel über das Wochenende (länger als 48 Stunden), sollte die Heizung abgestellt werden.

Alle Dow Automotive Produkte werden in erster Linie mit den Automobil-Herstellern für deren Bedürfnisse und gemäss deren Spezifikation entwickelt und von den Kunden für bestimmte Anwendungen freigegeben.

Der Einsatz für andere als die freigegebenen Anwendungen bedarf der vorherigen, schriftlichen Gutheissung durch den technischen Dienst der Dow Automotive.

Technische Daten:

Basis	Epoxidharz
Farbe	rot
Dichte 23°C (DIN 52451)	1.24 g/ml
Anteil nichtflüchtiger Bestandteile	> 99 %
Viskosität / Fließgrenze (45°C, Bohlin, Casson)	46 Pas / 410 Pa
Aushärtebedingung	> 140°C / 30 Minuten
Standardaushärtung	180°C / 30 Minuten
Zugfestigkeit (DIN EN ISO 527-1)	31 MPa
Bruchdehnung (DIN EN ISO 527-1)	ca. 11%
E-Modul (DIN EN ISO 527-1)	1830 MPa
Zugscherfestigkeit (DIN EN 1465) (CRS 14O3, 1.5 mm) Klebschichtdicke: 0.2 mm Verklebte Fläche: 25x10 mm	29.6 MPa
Winkelschälfestigkeit (DIN EN ISO 11339) (DX56 D Z100 MC, 0.8mm) Klebschichtdicke: 0.2 mm Verklebte Fläche: 25x100 mm	9.4 N/mm
Schlagschälfestigkeit (ISO 11343) (CRS 14O3, 1 mm; 2m/s) Klebschichtdicke: 0.2 mm Verklebte Fläche: 20x30 mm	46 N/mm
Vorbehandlung der Klebflächen	Das Material wurde für die Haftung auf öligem Blech mit bis zu 5 g/m ² Ölaufgabe entwickelt.
Verarbeitung	aus Kartuschen: Druckluftpistolen mit mechanischem Stempel, oder Handdruckpistolen. aus Hobbock und Fässern: Mit beheizbaren, handelsüblichen Hobbock- und Fasspumpen.
Reinigung	Vor dem Aushärten kann der unausgehärtete Klebstoff mit BETACLEAN 3510 entfernt werden. Achtung: Haftflächen dürfen <u>nicht</u> mit BETACLEAN 3510 gereinigt werden!
Gebinde	Hobbock und Fass: 20, 25, 45, 100 und 200 kg (Mehrweggebinde mit PE-Sack) Kartuschen: 0,36 kg
Lagerstabilität	Das Material ist bei Temperaturen unter 30°C zwölf Monate verarbeitbar.

Die angegebenen Daten sind Standardwerte.

Sicherheitshinweise:

Exotherme Reaktion

Das Material reagiert bei Aushärtung exotherm und es entsteht Reaktionswärme, die vor allem bei grösseren Gebinden nur sehr schlecht abgeführt wird. Um dies zu vermeiden, ist das Gebinde von Wärmequellen fernzuhalten.

Schutzmassnahmen

Die Handhabung von Epoxidharzklebstoffen ist ungefährlich, wenn die Vorschriften für den Umgang mit Chemikalien befolgt werden. Jedoch muss der Kontakt von unausgehärtetem Klebstoff mit Lebensmitteln und Lebensmittelbehältern unbedingt vermieden werden. Ebenso müssen Schutzmassnahmen getroffen werden, um den Hautkontakt zu verhindern. Undurchlässige Plastik- oder Gummihandschuhe und Augenschutz sind unerlässlich. Nach der Handhabung von Klebstoffen muss die Haut mit warmem Wasser und Seife gründlich gereinigt werden. Lösungsmittel sind zu vermeiden. Zur Trocknung der Haut sind Einwegpapiertücher empfehlenswert. Es ist für gute Belüftung zu sorgen. Weitere detaillierte Schutzmassnahmen entnehmen Sie den Sicherheitsdatenblättern.

Hinweis:

Qualität ist unser oberstes Gebot. Dow Automotive arbeitet mit einem modernen Qualitätsmanagement-System, das die internationalen Anforderungen nach ISO/TS 16949 erfüllt. Alle Standorte von Dow Automotive sind nach ISO 14001 zertifiziert.

Alle vorstehenden Angaben, technischen Daten und Empfehlungen beruhen auf Prüfungen, die unseres Erachtens zuverlässig sind. Die Entscheidung, ob Produkte von Dow Automotive für die jeweilige Anwendung geeignet sind, liegt in der alleinigen Verantwortung des Kunden. Eine Freistellung von Patenten von Dow oder Dritten wird weder direkt noch indirekt gewährt.

ES WERDEN HIERMIT KEINERLEI GARANTIE ABGEGEBEN. STILLSCHWEIGENDE GARANTIE ODER GEWÄHRLEISTUNGEN FÜR VERKAUFSFÄHIGKEIT ODER EIGNUNG FÜR EINEN BESTIMMTEN ZWECK SIND AUSDRÜCKLICH AUSGESCHLOSSEN.

Dow Automotive (Schweiz)

Dow Europe GmbH
Bachtobelstrasse 3
CH-8810 Horgen
Tel. +41 (0)44 728 21 11
Fax +41 (0)44 728 29 35

Dow Automotive (Deutschland) GmbH

Am Kronberger Hang 4
D-65824 Schwalbach
Tel. +49 (0)619 65 66 0
Fax +49 (0)6196 566 444

Dow Automotive (USA)

The Dow Chemical Company
250 Harmon Road
Auburn Hills USA
MI – 48326
Tel. +001 248 391 63 00
Fax +001 248 391 64 17

Dow Automotive (España)

Dow Chemical Iberica S.L.
Calle Camino del Corral, 7 (Pol. Ind. Alcamar)
E-28816 Camarma de Esteruelas
Tel. +34 (9)1 886 61 43
Fax +34 (9)1 885 75 60

Dow Automotive (UK)

Dow Chemical Company Limited
2 Heathrow Boulevard
284 Bath Road
West Drayton
Middlesex, UB7 0DQ
Tel. +44 (0)208 917 500
Fax +44 (0)208 917 5400

Dow Automotive (Italia)

Dow Italia s.r.l.
Via Patroclo 21
I-20151 Milan
Tel. +39 (0)2 48 22 1
Fax +39 (0)2 48 22 40 66