

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

**Posouzení korozní odolnosti u vybraných pozinkovaných
automobilových plechů, s ohledem na volbu technologie jejich
svařování**

Bc. Pavla Kosinová

Diplomová práce

2012

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Pavla Kosinová**
Osobní číslo: **D10792**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Silniční vozidla**
Název tématu: **Posouzení korozní odolnosti u vybraných druhů pozinkovaných automobilových plechů, s ohledem na volbu technologie jejich svařování.**
Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

Zásady pro vypracování:

1. Důkladná literární rešerše dané problematiky.
2. Charakteristika současného stavu v oblasti volby plechů pro výrobu automobilových karoserií.
3. Popis hlavních typů svařovacích technologií, aplikovaných u automobilových plechů.
4. Návrh experimentu, jeho příprava, realizace a vyhodnocení (svařovna, korozní komora, metalografická laboratoř).
5. Diskuse získaných výsledků, s důrazem na jejich využití v technické praxi.
6. Závěr - posouzení výběru vhodné technologie svařování s ohledem na zajištění potřebné úrovně korozní odolnosti

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

- [1] PTÁČEK, L. a kol.: Nauka o materiálu I., 1. vydání, Brno, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001, 505 stran, ISBN 80-7204-193-2.
- [2] PTÁČEK, L. a kol.: Nauka o materiálu II., 1. vydání, Brno, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 1999, 350 stran, ISBN 80-7204-130-4.
- [3] MACEK, K., ZUNA, P.: Nauka o materiálu. 2. vydání, Praha, vydavatelství ČVUT, 2002, 209 stran, ISBN 80-01- 02543-8.
- [4] KUNCIPÁL, J., PILOUS, V., DUNOVSKÝ, J.: Nové technologie ve svařování. Praha 1984.
- [5] KREIBICH V., HOCH K.: Koroze a technologie povrchových úprav, Praha: skriptum ČVUT, 1991.
- [6] KUNCIPÁL, J. a kol.: Teorie svařování. Praha, 1986.
- [7] KUNCIPÁL, J. a kol.: Svařování pro konstruktéry a technology. Praha 1980.
- [8] MIG svařování a MIG pájení. Dostupné na WWW [5.10.2009]: <http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2007101201>

Vedoucí diplomové práce:

doc. Dr. Ing. Libor Beneš

Katedra mechaniky, materiálů a částí strojů

Datum zadání diplomové práce:

24. února 2012

Termín odevzdání diplomové práce:

23. května 2012

prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.

doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.

vedoucí katedry

V Pardubicích dne 24. února 2012

Prohlašuji:

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

Byla jsem seznámena 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.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 20. 5. 2012

Pavla Kosinová

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala panu doc. Dr. Ing. Liboru Benešovi za věcné připomínky k obsahové i formální stránce diplomové práce.

Velký dík patří panu Ing. Petru Vlkovi za poskytnuté vzorky plechů Škody Auto, a.s., zajištění svaření vzorků, poskytnutí odborných rad a materiálů. Dále děkuji panu Ing. Ondřeji Sovákovi a Rudolfu Hrabínovi z firmy ESAB VAMBERK, s.r.o. a panu Václavu Pavlíčkovi z firmy Fronius Česká republika, s.r.o. za svaření vzorků.

V závěru chci vyjádřit díky své rodině za pomoc, pochopení a podporu během celého studia.

ANOTACE

Tato diplomová práce se věnuje porovnání různých metod spojení vzorků pozinkovaných plechů, které se používají při výrobě karoserie automobilu, z hlediska vzniku koroze. Dále jsou zde zhodnoceny pevnostní parametry jednotlivých svařovacích metod. Experimentální část měla prokázat, zda vhodnost použitých metod odpovídá požadavkům na životnost a odolnost karoserie vozidel.

KLÍČOVÁ SLOVA

karoserie, pozinkované plechy, MAG svařování, bodové odporové svařování, koroze, pevnostní odolnost

ANNOTATION

The thesis is dealing with the comparison of different methods of bonding for the chosen specimens of zinc-clad sheets, applied for body of a car, with a respect to the corrosion process. In the next part of the work, the parameters of stiffness and stability for these various welding methods are evaluated. The experimental part of the thesis should prove that the appropriate used methods are in accordance with the demands on a life-time and reliability of a car body.

KEYWORDS

body of a car; zinc-coated sheets; MAG-welding; spot resistance welding; corrosion; strength and resistance

OBSAH

ÚVOD	9
1 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE.....	11
2 POPIS SOUČASNÉHO STAVU.....	12
2.1 PLECHY PRO AUTOMOBILOVÉ KAROSERIE.....	12
2.2 POUŽÍVANÉ TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ	13
3 ZPŮSOBY SVAŘOVÁNÍ.....	14
3.1 ODPOROVÉ BODOVÉ SVAŘOVÁNÍ.....	14
3.2 BUCKELOVÁNÍ	15
3.3 MIG/MAG SVAŘOVÁNÍ.....	16
3.4 MIG PÁJENÍ.....	16
3.5 TECHNOLOGIE CMT	16
3.6 LASEROVÉ PÁJENÍ A SVAŘOVÁNÍ	17
3.7 CLINCHOVÁNÍ.....	18
3.8 NÝTOVÁNÍ	18
3.9 PŘIVAŘOVANÁ SVORNÍKOVÁ SPOJENÍ	19
3.10 LEPENÍ	19
4 ZKOUŠKY KVALITY SPOJŮ.....	21
4.1 STŘIHOVÁ ZKOUŠKA.....	21
4.2 KOROZNÍ ZKOUŠKA	22
4.2.1 <i>Katodforéza (KTL)</i>	23
4.3 METALOGRAFIE	24
5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST PRÁCE.....	25
5.1 POUŽITÝ MATERIÁL.....	25
5.2 POUŽITÉ TECHNOLOGIE	27
5.2.1 <i>Odporové bodové svařování</i>	27
5.2.2 <i>Technologie CMT</i>	28
5.2.3 <i>Technologie MAG</i>	31
5.3 VYHODNOCENÍ	34
5.3.1 <i>Pevnostní odolnost (střihová zkouška)</i>	34
5.3.2 <i>Korozní odolnost (korozní komora)</i>	37
5.3.3 <i>Hodnocení struktury (metalografie)</i>	41
6 ZÁVĚR	44
SEZNAM OBRÁZKŮ	52

SEZNAM TABULEK	54
SEZNAM PŘÍLOH	55
SEZNAM ZKRATEK.....	56
POUŽITÁ LITERATURA.....	57

ÚVOD

Jedním z požadavků na nová vozidla je ekologický provoz, vyšší výkon a životnost nebo ekonomický provoz. Například CO₂ emise by měly být do roku 2020 oproti stavu 1990 sníženy na 40 % a v roce 2050 na polovinu [1]. To je možné cestou vývoje stávajících spalovacích motorů, ale současně také se snižováním hmotnosti karoserií. Snižováním hmotnosti automobilu o 100 kg klesne spotřeba paliva zhruba o 0,3 l/100 km. Převáděno na množství emisí CO₂ jde tedy o redukci sedmi gramů na ujetý kilometr. Dále pak lehčí karoserie dovoluje použít lehčí tlumiče, menší hmotnost vozu dává šanci sáhnout po kompaktnější brzdové soustavě atd. V konečné bilanci pak potřebujete menší a samozřejmě i lehčí motor. [2]

Proti tomuto trendu jsou rostoucí požadavky na zvyšování komfortu a bezpečnosti cestujících. Stále více se dělá pro pasivní bezpečnost cestujících, při respektování crashových požadavků na karoserie. Aby však vozidla splňovala bezpečnostní parametry, musí být použity nové materiály, ale také nové tvářecí a spojovací technologie. [1]

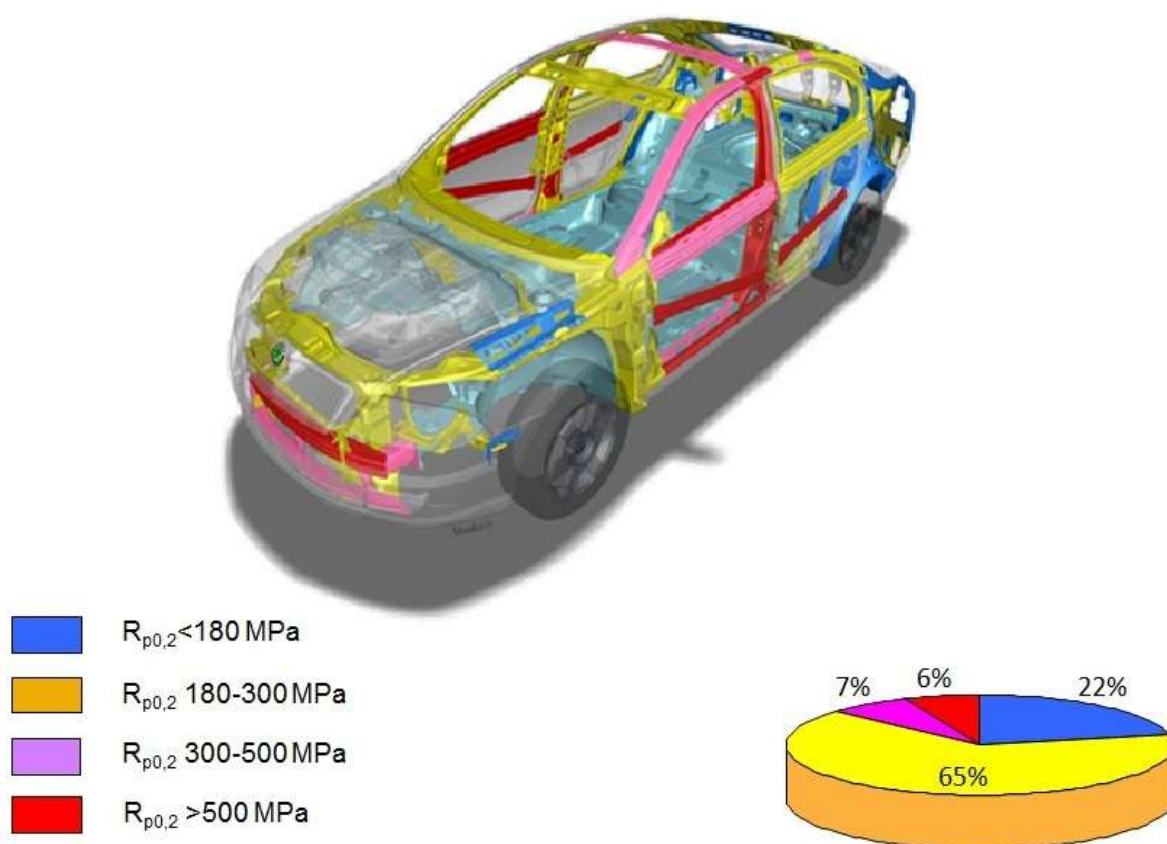
Původní karoserie byla dřevěná kostra doplněná plechovými díly či ocelový rám a na něm plechová nástavba. Na to navázala konstrukce samonosných karoserií. Konstrukce je vyrobena svařováním výlisků z ocelových plechů. Jako výztuhy jsou poprvé použity díly tvářené za tepla. Další vývoj pokračoval výrobou skeletu z tvářených protlačovaných profilů. Při zpracování těchto polotovarů se jedná zejména o tváření ohýbáním. Tyto díly jsou spojovány do karoserie odlitky z hliníku či jejich slitin, lité pod tlakem. Možná je i kombinace se svařováním. [1]

Využití hliníku se jeví jako velice vhodné. Nejen z toho důvodu, že hliníková karoserie je přibližně o 40% lehčí než ocelová, ale také ho lze velmi levně a účinně recyklovat. Ovšem na druhou stranu je dražší než ocel a také problém nastal při jeho spojování. První celohliníkový automobil využíval bodového svařování, ovšem vzhledem k tomu že hliník vede mnohem lépe teplo než ocel, bylo toto spojování obrovsky energeticky náročné. Proto se začaly používat kombinace technologií jako je nýtování, bodové svařování, MIG svařování a tlakové spoje.

V současné době se používají různé materiály z hliníku a jeho slitin, Kromě hliníku se ovšem jako vhodné lehké materiály dobře uplatňují nejen kompozity, ale také speciální vysokopevnostní oceli a slitiny hořčíku. Jsou používány díly tvářené za tepla, jejichž hlavním přínosem je zvýšení pevnosti až na 2 000 MPa a zkrácení výrobních časů. Na obr. 1 je vidět

grafické znázornění používaných plechů dle smluvní meze kluzu. Dále se také častěji využívá dílů z plastů.

Požadavky automobilového průmyslu jsou stále náročnější vzhledem ke kombinované konstrukci. Jsou kladeny stále vyšší nároky v oboru termického spojování především v oblasti tenkých plechů. A vzhledem k tomu, že karoserie vozidla je vyrobena z různých komponentů, rozdílných materiálových parametrů, používá se při spojování jednotlivých dílů karoserie mnoho různých technologií.



Obr. 1 – Znázornění použitých plechů dle pevnosti

1 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Hlavním cílem této práce bylo prokázat, jak jsou svarové spoje pozinkovaných automobilových plechů odolné proti korozi, v závislosti na použité technologii svařování, tzn. jak rychle dojde k iniciaci a postupu korozního poškození s ohledem na zvolený způsob svaření plechů. Dále pak byly posouzeny změny struktury spojovaných materiálů a ovlivnění mechanických vlastností v důsledku vneseného tepla, které je jedním z významných činitelů ovlivňujících charakter a výsledné vlastnosti spoje.

Důležitou roli v hodnocení zvolené technologie spojování různorodých materiálů je pevnost spoje, která musí odpovídat normovaným hodnotám. Nelze tuto skutečnost přehlédnout v případě volby technologie a zaměřit se pouze na hodnocení spojů z hlediska životnosti. Dalším cílem tedy bylo posoudit, zda zvolená technologie z hlediska korozní odolnosti současně vyhovuje také požadavkům na pevnost svarového spoje.

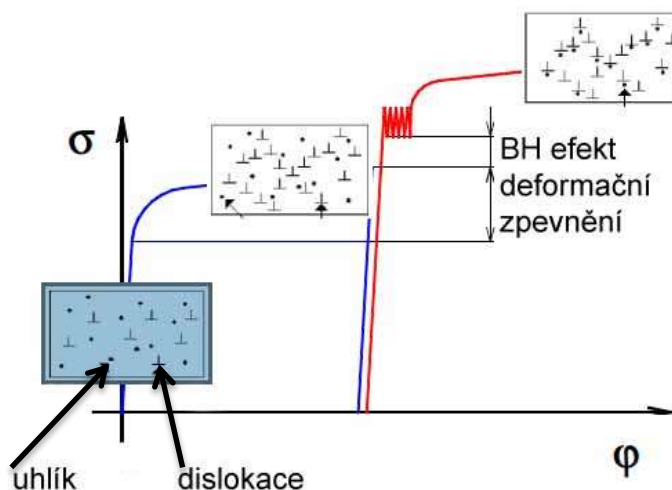
Dalším cílem pak bylo zhodnotit účinnost provedené protikorozní ochrany, zejména vrstvy zinku, která je v průběhu svařování vystavena extrémnímu působení teplotních vlivů, ale i kataforézního povlaku, nanášeného až po svařování s cílem zvýšit odolnost těchto plechů s ohledem na působení korozního prostředí.

2 POPIS SOUČASNÉHO STAVU

Plechý používané v automobilovém průmyslu můžeme podle meze kluzu rozdělit na:

- hlubokotažné s mezí kluzu do 210 MPa
- vysokopevnostní s mezí kluzu 210 – 550 MPa
- ultravysokopevné s mezí kluzu vyšší než 550 MPa

V této práci byly použity vysokopevnostní plechy s BH efektem. BH (Bake Hardening) efekt je způsob deformačního zpevnění, kdy dojde k dodatečnému zvýšení smluvní meze kluzu, viz obr. 2. Materiál je ponechán v peci při teplotě 170°C o 20 minut déle než by bylo nutné pouze pro zaschnutí povrchové lakované vrstvy karoserie.



Obr. 2 – BH efekt

2.1 Plechy pro automobilové karoserie

Pro karoserie automobilů se dnes používají nejčastěji žárově pozinkované ocelové plechy. Tento způsob nanášení vrstvy zinku je velice efektivní. Metoda využívá vzájemné rozpustnosti železa a zinku, kdy se upravovaný díl ponoří do lázně tekutého zinku. Vzniká tak tloušťka 10 – 30 μm . Výhodou zinku je relativně nízká cena a vynikající ochrana proti korozi.

Povlak má v závislosti na vzdálenosti od jeho povrchu rozdílné chemické složení, přičemž s narůstající vzdáleností od povrchu povlaku stoupá procento železa. Výsledná vrstva má rovnoměrnou tloušťku a dobrou přilnavost. [2]

Ochranná vrstva má přispívat ke zvýšení celkové odolnosti proti podkorodování a minimalizovat korozi ve spárách a dutinách, kde jsou vrchní lakované vrstvy neúplné

nebo méně kvalitní. Avšak při tažení plechů dochází k porušování celistvosti povlaku, proto jsou plechy opatřovány ještě fosfátovým povrchem.

2.2 Používané technologie svařování

Vzhledem k tomu, že karoserie vozidla je vyrobena z různých komponentů, rozdílných materiálových parametrů, používá se při spojování jednotlivých dílů karoserie několik technologií:

- odporové bodové svařování
- buckelování
- MAG svařování
- MIG pájení
- technologie CMT
- laserové pájení
- laserové svařování
- clinchování
- nýtování
- přivařovaná svorníková spojení
- lepení

U vozidel typu Škoda Octávia jsou používány:

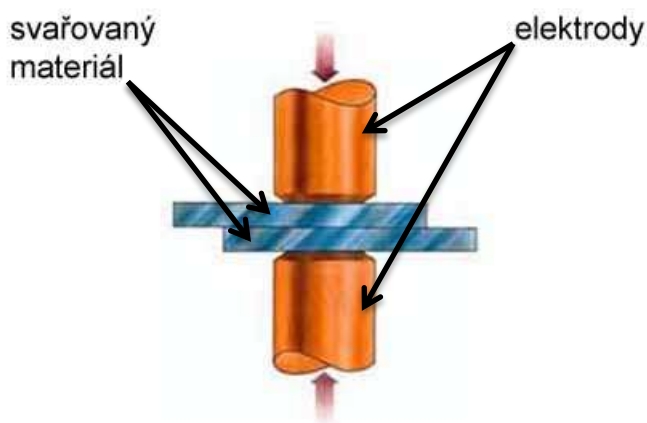
- podvozek: bodové svařování, MIG pájení, MAG svařování, buckelování, nýtování
- klobouk: bodové svařování, MIG pájení, MAG svařování, laserové pájení, buckelování, nýtování
- panelové díly: bodové svařování, MAG svařování, laserové svařování, laserové pájení, nýtování, clinchování

3 ZPŮSOBY SVAŘOVÁNÍ

Důvodů pro výběr vhodné technologie je hned několik. Některá místa nejsou dostatečně přístupná pro nejpoužívanější technologii, kterou je odporové bodové svařování. MAG svařování je nejpevnější, ale vnáší do spoje příliš mnoho tepla, což má za následek deformace a pnutí v karoserii, velký opal zinkové vrstvy, z čehož vyplývá vyšší následná korozí. Tento negativní jev lze částečně zmírnit použitím MIG pájení, avšak za cenu nižší pevnosti spoje. Z výše uvedeného tedy plyne, že výběr technologie je závislý na přístupu k spojovaným dílům, požadavků na pevnost, protikorozní odolnost, slícovanost, v sériové výrobě pak také rychlost provedení spojení apod.

3.1 Odporové bodové svařování

Odporové bodové svařování patří mezi způsoby svařování, kdy zdrojem tepla není elektrický oblouk, ale elektrický odpor. Svařované materiály jsou sevřeny mezi elektrody, které jsou upevněny na přítlačná ramena, na která je přiveden svařovací proud, viz obr. 3. Při průchodu elektrického proudu svařovaným místem dojde k ohřevu materiálů. Materiály se teplem nataví a po silném stlačení dojde k jejich svaření. Vznikne svarový spoj v podobě svarových čoček dvou přes sebe přesahujících plechů. Důležitými parametry jsou: svařovací proud, přítlačná síla, svařovací čas. Dostatečného natavení lze dosáhnout vysokým proudem a krátkým časem (tvrdý režim), nebo nižším svařovacím proudem a delším časem (měkký režim).



Obr. 3 - Bodové svařování

Výhody měkkého režimu:

- nevyžaduje stroje velkého příkonu
- umožňuje používat menší průřezy elektrických vodičů
- je méně citlivý na odchylky odporové svařitelnosti svařovaných materiálů

Nevýhody měkkého režimu:

- vyžaduje delší strojové časy
- vznikají větší deformace a napětí ve svarových spojích
- je doprovázen hrubozrnnou strukturou
- vyžaduje častější úpravu svařovacích elektrod

Výhody tvrdého režimu:

- vyžaduje krátké strojní časy
- jemnozrnná struktura svarového kovu
- minimální napětí a deformace
- snižuje spotřebu elektrické energie a elektrod

Nevýhody tvrdého režimu:

- vyžaduje stroje velkých příkonů a silnějších konstrukcí
- vyžaduje dobrou energetickou situaci v podniku [3]

Tato technologie je rychlá, vnáší do materiálu málo tepla a pnutí, zároveň malé deformace a spoj má velice dobrou korozní odolnost. Používá se nejčastěji u přepřátovaných spojů z tenkých plechů obvykle 2,5 – 3,0 mm. V automobilové výrobě je to nejrozšířenější metoda.

3.2 Buckelování

Buckelování (výstupkové) svařování je obdoba odporového bodového svařování, kdy ke spojení (vytvoření svarové čočky) nedochází v místě dotyku elektrody, ale v místě předem vytvořených výstupků (buckelů), samozřejmě za působení tlaku a průchodu proudem. Vzhledem k tomu, že svařovaný proud i tlak musí být rovnoměrně rozdělen, musí součásti přesně lícovat a povrch musí být čistý. Jinak by vznikly nestejně provařené sváry.

3.3 MIG/MAG svařování

MIG (Metal Inert Gas)/MAG (Metal Active Gas) svařování je způsob, při kterém je žár vytvářen elektrickým obloukem udržovaným mezi svařovaným materiálem a svářecím drátem. Do místa svařování je drát dodáván speciálním hořákem, který dodává současně i ochranný plyn nebo směs plynů.

Touto metodou se svařují uhlíkové ocele, nerez, hliník i speciální kovy. Na základě druh materiálu, průměr svařovacího drátu a typ plynu, lze jednoduše zvolit odpovídající hodnoty nastavení napětí a rychlosti posuvu drátu. Na těchto parametrech závisí svařovací proud. Přenos kovu v oblouku je závislý na svařovacím proudu a může probíhat třemi způsoby: zkratový, kapkový, sprchový.

Rozdíl mezi MIG a MAG je v použitém ochranném plynu. V případě MIG svařování plyn zajišťuje ochranu tavné lázně, oblouku a svařované plochy před atmosférickou oxidací. Neúčastní se žádných chemických reakcí ve svarové lázni. Používá se převážně argon, nebo směs argonu s heliem. U svařování MAG plní plyn ochrannou funkci, ale také se aktivně podílí na procesech, které probíhají v roztaveném svarovém kovu. Nejčastěji používané plyny jsou v současné době oxid uhličitý, směs argonu a oxidu uhličitého nebo vícesložková směs na bázi argonu.

3.4 MIG pájení

MIG pájení je spojování součástí roztaveným pomocným materiálem. Princi je stejný jako u MIG/MAG svařování, pouze hodnoty proudu jsou nižší, nedochází k natavení základního materiálu a používají se jiné pomocné materiály. Nejčastěji se jako přídatný materiál používá drát CuSi_3 nebo CuAl_8 .

3.5 Technologie CMT

Jednou z velice mladých technologií je CMT (Cold Metal Transfer) svařování, což je proces MIG pájení s velmi nízkým přísunem tepla, při využití nové metody uvolňování kapky pomocí střídavého dopředného a zpětného pohybu drátu, viz obr. 4. Drát se pohybuje směrem dopředu, jakmile dojde ke zkratu je automaticky zatažen zpět. Zkrat je kontrolován a proud je udržován na nízké hodnotě. Výsledkem je bezrostrkový přechod materiálu. [4] Vzhledem k tomu, že se zachycení a nastavení oblouku provádí automaticky, zůstává oblouk stabilní nezávisle na rychlosti svařování a povrchu svařence.

Touto metodou je možné svařovat plechy od tloušťky 0,3 mm, materiály s velkou a také s proměnlivou šířkou mezery. Velice zajímavou oblastí použití je problematika spojování ocele s hliníkem.



Obr. 4 – CMT technologie

Vzhledem k fyzikálním a chemickým vlastnostem se v případech spojení dvou takto výrazně rozdílných materiálů používaly především mechanické postupy a lepení.

Při termickém spojení těchto materiálů dochází ve spoji ke vzniku intermetalické fáze (IM-fáze). Důvod jejich vzniku spočívá v tom, že železo a hliník jsou při běžné teplotě jen velice omezeně rozpustné. Tyto IM-fáze se při běžné teplotě vyznačují vysokou tvrdostí a velice nízkou houževnatostí. Vznik těchto IM – fází je určován množstvím vneseného tepla. Čím vyšší je množství tohoto tepla, tím jsou horší mechanicko-technologické vlastnosti spoje. Proto všechny tepelné postupy směřují k tomu, aby vnašely co nejmenší množství tepla a maximálně omezily, případně vyloučily tvorbu IM-fází. [8]

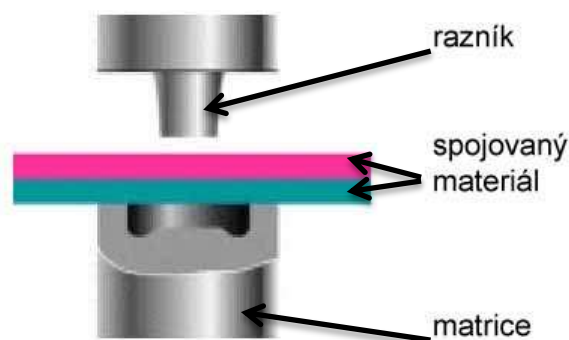
3.6 Laserové pájení a svařování

Tyto technologie jsou svým principem shodné s výše popsanými technologiemi svařování a pájení, pouze k natavení základního materiálu u svařování a přídavného materiálu u pájení, je použito laseru.

3.7 Clinchování

Clinchování je způsob vytváření spoje bez přidání dalšího materiálu a zastudena. Výhodou je možnost spojování povrchově upravených materiálů, materiálů s různým chemickým složením nebo i ve více vrstvách.

Vysoce pevného, čistého a estetického spoje dosáhneme pomocí stroje, který vyvine dostatečný a nastavitelný tlak, s nastavitelnou regulací hloubky dorazu nebo vypnutí při dosažení určitého tlaku. Vlastní spoj je vytvořen razníkem a matricí vhodnými pro danou sílu spojovaných materiálů, viz obr. 5. Důležitou součástí je odtrhovač, který po dokončení spoje vytáhne razník i matrici ven z materiálu. To je zvláště důležité u materiálů s povrchovou úpravou. Standardní nástroje jsou konstruovány na spojování plechu do celkové síly materiálu 4 mm pro ocel a 5 mm pro hliník. [5]



Obr. 5 – Clinchování

3.8 Nýtování

Nýtování je vytvoření nerozebíratelného spoje, kdy se dřík nýtu zasune do otvorů ve spojovaných materiálech, hlava nýtu musí překrývat okraj otvoru v dostatečné ploše. Na druhé straně se vykovává závěrná hlava.

U ocelových nýtů – tam kde jsou zvýšené nároky na únosnost či těsnost spoje, nebo při průměru dříku větším jak 10 mm, se provádí nýtování za tepla. Do otvoru se vloží rozžhavený nýt – buď v koksově výhni, nebo elektrickým odporem – do bílého žáru, dřík nýtu se spěchuje tak, aby dostatečně vyplnil otvor. Poté se vykove závěrná hlava při teplotě kolem 600 °C. Vykování závěrné hlavy se provádí ručně kladivem, za pomoci hlavičkáře, pneumatickými kladivem nebo lisem (hydraulickými, pneumatickými nebo elektrickými). Při chladnutí se nýt smrští a tak stáhne nýtované součásti k sobě. [6]

3.9 Přivařovaná svorníková spojení

Přivařovaná svorníková spojení jsou přivařované závitové čepy, přivařované pomocí elektrického oblouku, který vzniká buď metodou oddálení, nebo metodou vybití kondenzátoru.

Technologie kondenzátorového výboje se používá k přivařování závitových svorníků, svorníků bez závitu, plochých elektrokontaktů, izolačských trnů i jiných součástí v materiálu ocel, nerez, mosaz a hliník. Tavná zóna, u této technologie, je cca 0,1 mm, což umožňuje přivařování na plechy tloušťky 0,6 - 0,8 mm, aniž by došlo ke zbarvení, nebo mechanickému poškození vnější strany plechu.

Metoda oddálení je technologie zdvihového zážehu s:

- užitím keramických kroužků - používá se k přivařování spřahovacích trnů, kotev, závitových svorníků, kotlových trnů a jiných součástí v průměrovém rozsahu 2 - 25 mm. Umožňuje rovněž přivařování svorníků a trnů speciálních tvarů. Materiálové kombinace ocel, nerez a žáruvzdorná ocel.
- použitím ochranné atmosféry aktivního plynu - používá se pro přivařování svorníků se závitem i bez něj a jiných součástí v průměrovém rozsahu 2 - 12 mm. Možné materiálové kombinace ocel, nerez a žáruvzdorná ocel.
- režimem krátkého času - používá se pro přivařování svorníků se závitem i bez něj, izolačských trnů, nebo i jiných součástí v průměrovém rozsahu 2 - 6 mm. Možné kombinace materiálů - ocel, nerez a žáruvzdorná ocel. Pro tuto technologii se nepoužívají keramické kroužky ani ochranná atmosféra. Používá se pro přivařování na tenké plechy od cca 0,6 - 0,8 mm.

3.10 Lepení

V současné době se lepené spoje využívají při stavbě karoserie stále častěji a to z důvodů jejich hlavních výhod, které do stavby karoserie vnášejí.

Mezi jejich hlavní přínosy patří:

- zvýšení pevnosti a tuhosti karoserie
- snižování výrobních nákladů cestou zvýšení pevnosti (tenčí plechy, méně výztuh)
- úspora hmotnosti vozu (tenčí plechy)
- utěsnění jednotlivých partií karoserie a tím zvýšení její korozní odolnosti

- snížení hlučnosti vozu
- neporušení zinkové vrstvy a tím zvýšení korozní odolnosti

Proto také oproti např. roku 1960, kdy bylo na karoserii použito cca 10 m délky lepených ploch, v současné době dosahují délky lepených ploch až 200 m.

Lepidla lze dělit dle několika hledisek do více kategorií. Dle jejich složení, na lepidla např. PVC (polyvinylchloridová), PUR (polyuretanová), kaučuková, epoxidová a jejich vzájemné kombinace. Dle množství složek na lepidla jednosložková tzv. (1-K), dvousložková (2-K) i vícesložková.

Dle teploty vytvrzování lepidla:

- studená lepidla (do 20°C) – převážně (2-K) lepidla
- teplá lepidla (21°-144°C)
- horká lepidla (nad 144°C)

Dle účelu použití lepidla na lepidla:

- pevnostní (zvýšení tuhosti a pevnosti karoserie)
- těsnící (zvýšení korozní odolnosti)
- tlumící (snížení hlučnosti vozu)
- výztužná (zvýšení tuhosti a pevnosti karoserie)

Při stavbě karoserií v provozech svařoven se používají nejčastěji lepidla horká, kdy k samotnému procesu jejich vytvrzení dochází až jejich zahřátím v provozech lakovny, konkrétně v sušících pecích provozu KTL, kde teploty dosahují až 190°C po dobu cca 20 - 25 minut a lepidla pevnostní, přispívající ke zvýšení pevnosti a tuhosti samotné karoserie.

Z testovaných technologií, v dané této práci je pro kombinaci s lepenými spoji vhodná pouze technologie odporového bodového svařování, při které nedochází k výraznému snížení kvality samotného svarového spoje a která také díky minimálnímu množství vneseného tepla s sebou nepřináší negativa s ohledem na znehodnocení lepeného spoje.

Použití technologií obloukového svařování v ochranné atmosféře (MIG, MAG), v kombinaci s lepenými spoji, vede naopak díky velkému množství vnesené tepelné energie do spoje a jeho okolí, k vyhoření lepidla a tím k zamezení účelu, pro který bylo příslušného lepeného spoje použito a také a to hlavně ke zhoršení kvality samotného svařeného spoje, díky zvýšení např. jeho pórovitosti apod.

4 ZKOUŠKY KVALITY SPOJŮ

V běžné sériové výrobě se provádí například u odporového bodového svařování sekáčová zkouška, která se provádí pomocí sekáče, který se vsune mezi nabodované plechy tak, že dojde k porušení svaru. K porušení dojde buď vytrhnutím, nebo zlomením svaru. Vytržený průměr svarové čočky je vyhodnocen dle normy. Dále se provádí ultrazvuková zkouška, zkouška odlupovací, metalografická, magnetická, stříhová zkouška a mnohé další. Pro potřeby této práce je důležitý postup stříhové zkoušky, který je uveden v normě ČSN EN ISO 14273 [10].

U spojů zhotovených technologií CMT a MAG se provádí nedestruktivní pohledová zkouška, kde se vyhodnocuje například vnější kvalita, délka a poloha svaru. Destrukční zkoušky, které zahrnují metalografický výbrus, stříhovou zkouška nebo ohybovou zkouška.

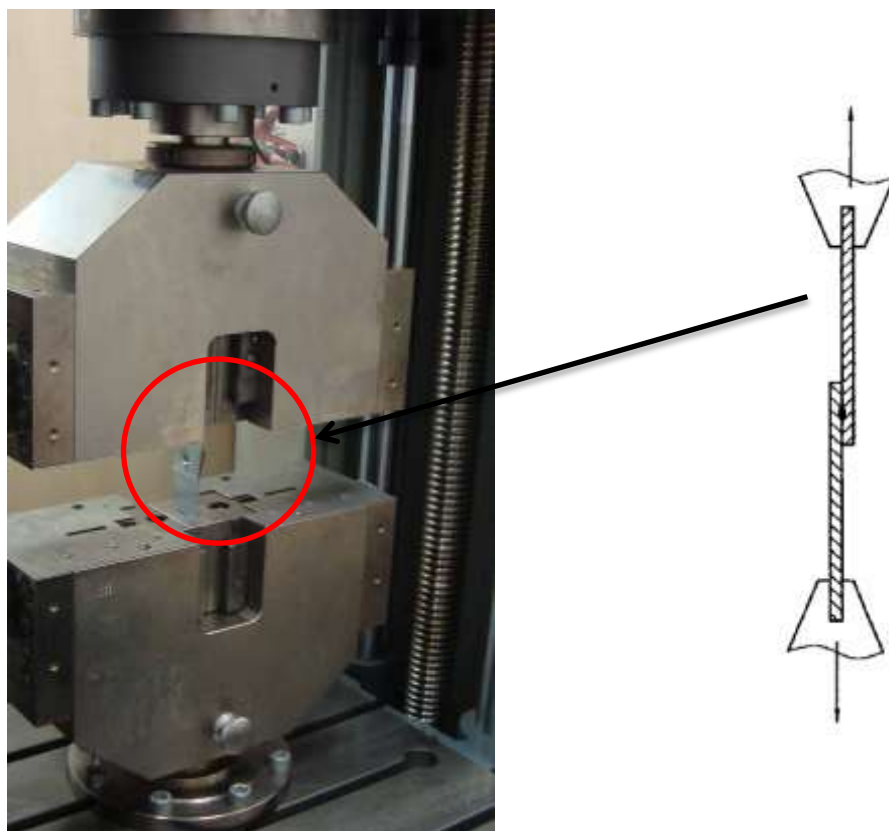
Důležitou vlastností karoserií je také, aby životnost karoserie odpovídala požadavkům zákazníků. Zde je důležitý proces lakování, který zajistí korozní odolnost a odolnost proti vlivům prostředí a provozu. Zkoušky se provádí jak laboratorní, tak v přírodních nebo provozních podmínkách pod statickým i dynamickým zatížením. V případě laboratorní zkoušky, která byla prováděna u zhotovených vzorků pro tuto diplomovou práci, se posuzuje ochrana laku proti korozi při zhuštěném čase, což způsobuje pochody koroze a obrazy koroze, které jsou dobře porovnatelné s těmi, které vznikají v provozu. Krátká zkouška simuluje zejména podpovrchovou korozi vycházející z poškození laku a také rezivění okrajů a hran u speciálních korozních zkušebních plechů, nebo u součástí se slabými místy nátěru laku a povrchové rezivění.

Vzorky posuzované v této práci byly po svaření povrchově upraveny procesem KTL (katofórze). Což je základní povrchová úprava před nanesením vrchního laku, viz kapitola 4.2.1.

4.1 Stříhová zkouška

Stříhová zkouška se provádí na trhacím stroji, viz obr. 6. Trhací stroj musí splňovat požadavky v souladu s ISO 7500–1 a upínací čelisti musí být v předem stanovené vzdálenosti od sebe. Pro plechy o tloušťce menší než 3 mm, nebo v poměru dvou tloušťek plechů větší než 1,4 mm je nutné kompenzovat tloušťky na okrajích pro upnutí dodatečným prvkem. Testování se provádí při pokojové teplotě. Vzorky mohou být zhotoveny jako řada určitého

počtu bodových svarů, které jsou pak od sebe odděleny, nebo svařením jednotlivých vzorků jedním samostatným svarem. V této práci byla zvolena metoda jednotlivého svaru.



Obr. 6 – Trhací stroj

4.2 Korozní zkouška

Korozní zkouškou se zjišťuje odolnost materiálu proti atmosférické korozi. Odolnost povrchových vrstev proti vlivu prostředí, které je nejbližší podmínkám skutečného provozu. Zkoušení koroze kovu se řídí ČSN 03 8101. Pro vzorky byla zvolena korozní zkouška v kondenzační komoře, která je normalizována dle ČSN 03 9131. Tato zkouška je vhodná k posuzování odolnosti kovových materiálů a ochranných povlaků ve vlhkých, čistých nebo průmyslově znečištěných atmosférách.

V kondenzační komoře je vzorek vystaven působení rozhodujících činitelů atmosférické koroze, tj. kondenzaci vodních par za zvýšené teploty, příp. za spolupůsobení znečištění zkušebního prostředí oxidem siřičitým. Zkušební prostředí je upraveno tak, aby teplota v průběhu zkoušky byla ve zkušebním prostoru $35\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ při 100 % relativní vlhkosti vzduchu. Při zkoušce ve vlhké průmyslové atmosféře se do zkušebního prostoru 2x denně vhání oxid siřičitý o koncentraci 0,007 až 0,008%. Zkušební vzorky mohou být v komoře zavěšeny nebo umístěny ve speciálních stojanech z materiálů, které nemohou

ovlivnit korozní děj sledovaných vzorků. Vzorky se nesmí dotýkat a zkondenzovaná voda nesmí stékat z jednoho vzorku na druhý. Po ukončení zkoušky jsou vzorky vyjmuty z prostoru komory, opláchnuty vodou a osušeny a následně probíhá vyhodnocení dle požadovaných výsledků (metalografické hodnocení, hmotnostní úbytky atd.). [12]

Zkušební zařízení není normalizováno, nesmí však být vyrobeno z korodujícího materiálu a nesmí docházet ke skapávání zkondenzované vody ze stěn na vzorky. Hlavními prvky komory jsou ohřívací systém a kontrola teploty, ventilátor a sběrná zařízení. [12]

4.2.1 Katoforéza (KTL)

Karoserie musí být ještě před první povrchovou úpravou odmaštěna od olejů, kovových částí, zbytků lepidel, prachu a jiných nečistot. Stejný postup byl také proveden u vzorků, viz obr. 7. Po odmaštění byl proveden oplach vodou. Poté následuje fosfátování, které slouží jako protikorozní ochranná vrstva a ovlivňuje přilnavost vrstvy KTL. Na karoserii pak vznikne povlak z krystalů fosfátu. Následuje pasivace, která taktéž zlepšuje korozní odolnost a přilnavost vrstvy KTL, dále pak vyplnění nerovností mezi krystalky fosfátu.

Katoforéza je systém nanášení barvy, při které karosérie ve vaně slouží jako katoda stejnosměrného proudu a na katodě probíhající reakce vedou k vylučování lakového filmu. Lázeň pro KTL obsahuje kladně nabitě částice barvy, které obsahují pigment a pojivo (umělá pryskyřice a záporně nabitě zbytky organické kyseliny. Probíhá ponořením karosérie do vany, následuje třístupňový oplach ultrafiltrátem a konečný oplach demineralizovanou vodou. [13]



Obr. 7 – Povrchová úprava KTL

Po této úpravě je dále na karoserii nanesen vrchní lak ve dvou fázích. Nejprve dojde k broušení, čištění, aplikace vodou ředitelného plniče a sušení, v druhé fázi opět broušení, čištění a aplikace vodou ředitelné barvy, na kterou je v závěrečné fázi nanesen bezbarvý lak. Plnič, barevný lak a bezbarvý vrchní lak však již na vzorky nebyly aplikovány.

4.3 Metalografie

Při této zkoušce jsou hodnoceny trhliny v základním materiálu, žádné nebo nedostatečné spojení pájky (technologie CMT) se základním materiálem, vměstky plynů nebo cizí materiál a nekovové částice v pájeném švu.

Kvalitu spoje ovlivňují prvky, které se do oceli dostanou v etapě výroby, nebo prvky které jsou přidány záměrně za účelem zlepšení mechanických vlastností. Mezi prvky, které ovlivňují vlastnosti plechů již při, výrobě patří např.:

- Síra (S) a Fosfor (P) - zhoršuje tvárnost, svařitelnost a korozní odolnost
- Kyslík (O) – snižuje houževnatost
- Vodík (H) - snižuje plasticitu a houževnatost materiálu
- Dusík (N) – snižuje houževnatost a tvárnost za studena

K prvkům, které se přidávají záměrně, tzv. legující prvky patří např.:

- Chrom (Cr) – zvyšuje korozní odolnost
- Mangan (Mn) – zvyšuje pevnost a odolnost proti opotřebení
- Křemík (Si) – zvyšuje pevnost

5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST PRÁCE

Pro experiment bylo použito technologií MAG svařování, technologie CMT a odporové bodové svařování. Svaření metodou MAG bylo provedeno ručně ve firmě ESAB VAMBERK, s.r.o., technologií CMT byly automaticky spájeny vzorky ve firmě Fronius Česká Republika, s.r.o. a odporové bodové svařování bylo provedeno na ručních svařovacích kleštích ve firmě Škoda Auto, a.s.

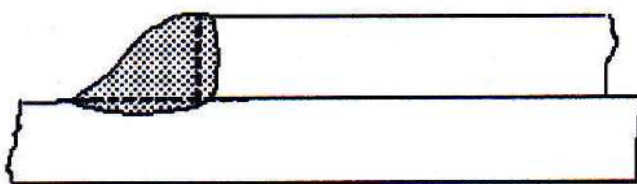
5.1 Použitý materiál

Pro posouzení korozní odolnosti v závislosti na použité technologii spojování bylo nutné vybrat plechy shodné jakosti i povrchových úprav. Pro zvýšení vypovídací hodnoty byly zvoleny ještě plechy různých tloušťek. Přehled vzorků je uveden v tab. 1 dle EN 10 346 [14]. Vzorky nejmenší tloušťky 0,69 mm jsou určeny k lisování povrchového plechu kapoty a všeobecně pro povrchové díly, plechy tloušťky 1,0 mm se používají pro lisování výztuh B sloupků a nejsilnější vzorky tloušťky 1,2 mm jsou určeny k lisování výztuh C sloupků.

Jedná se vždy o žárově pozinkované plechy s pozinkovanou vrstvou 100 g Zn/m^2 , které se v praxi používají ve větší míře než elektrolyticky pozinkované plechy. Také rozsah tloušťek plechů není u technologie elektrolytického pozinkování tak velký a neověřili bychom rozdílný vliv dle síly materiálu.

Při volbě technologie spojení jednotlivých dílů s ohledem na odolnost proti korozi nelze opomenout pevnostní parametry spojů. Neboť nejpevnější spoje mohou mít nejhorší korozní odolnost a naopak. Proto je nutné vždy přihlížet k požadavkům konkrétní části karoserie a volit kompromis, který vyhovuje jak z hlediska pevnostního, tak korozního.

Všechny vzorky byly spojeny jako koutový spoj s přeplátovaným stykem, viz obr. 8. Vzorky, které byly použity do solné komory, byly o velikosti 200 x 150 mm s velikostí přeplátování 20 mm, Vzorky pro stříhovou zkoušku byly dle normy ČSN EN ISO 14273 [8] o rozměrech 105 x 45 mm s velikostí přeplátování 35 mm.



Obr. 8 – Přeplátovaný spoj

Tab. 1 – Experimentální vzorky

Vlastnosti materiálu			
Tloušťka materiálu	0,69	1,00	1,20
Název dle ČSN	HX220BD	HX300BD	HX300BD
Označení ČSN	1.0919	1.0930	1.0930
Chemické složení [%]			
Uhlík (C)	0,1	0,11	0,11
Křemík (Si)	0,5	0,5	0,5
Mangan (Mn)	0,7	0,8	0,8
Fosfor (P)	0,08	0,12	0,12
Síra (S)	0,025	0,025	0,025
Hliník (Al)	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1
Niob (Nb)	0,09	0,09	0,09
Titan (Ti)	1,12	1,12	1,12
Mechanické vlastnosti			
Smluvní mez kluzu (Rp _{0,2}) [MPa]	220 až 280	300 až 360	300 až 360
Bake Hardening (BH) [min.]	35	35	35
Pevnost v tahu (R _m) [MPa]	320 až 400	400 až 480	400 až 480
Tažnost do přetržení [%]	32	26	26

H — plochý výrobek z oceli se zvýšenou pevností, určený ke tváření za studena

X — válcované

Číselná hodnota — nejnižší smluvní mez kluzu materiálu Rp_{0,2}

B (Bake Hardening) — dodatečné zvýšení meze kluzu

D — určeno k povlakování (v tomto případě k pozinkování)

Výše uvedené označení včetně chemického složení a mechanických vlastností je dáno normou EN 10346. [14]

5.2 Použité technologie

Vzhledem k množství technologií, které se při výrobě karoserie automobilu dnes používají, byly pro diplomovou práci vybrány pouze metody, které se aplikují v největší míře.

5.2.1 Odporové bodové svařování

Při tomto svařování dochází ke vzniku tepelně ovlivněné oblasti bodového spoje. Tato oblast je závislá na příkonu svařovacího stroje. Proto je pro zhotovení kvalitního bodového svaru zapotřebí vhodné nastavení základních parametrů: svařovacího proudu, přítláčné síly elektrod a svařovacího času. Nastavení těchto parametrů pro vzorky je uvedeno v tab. 2.

Přítláčná síla elektrod se vyjadřuje v jednotkách dekanewton [daN], pro ni platí převodní vztah $1 \text{ daN} = 10 \text{ N}$. Svařovací čas se vyjadřuje v periodách, kdy 1 perioda = 20 ms.

Tab. 2 – Parametry odporového svařování

Tloušťka materiálu	Přítlak [daN]	Počty period	Proud [kA]
0,69	250	12	7,8
1,00	250	14	8,00
1,21	250	16	8,2

Provedení bodového svaru je dáno normou VW 0110–1 [7], kde jsou přesně stanoveny podmínky pro provedení spoje, rozměry a postup kontroly.

Vzorky byly svařeny na ručních svařovacích kleštích (typ C) francouzské firmy ARO, které využívají k vyvození přítláčné síly pneumatický válec, prostřednictvím kterého je nastavena konstantní hodnota tlaku pro všechny fáze svařovacího procesu, viz obr. 9. Kleště využívají pracovní frekvence 50 Hz. Při práci s kleštěmi je zapotřebí jisté zkušenosti a zručnosti svářeče a to z důvodu přesného polohového umístění sváru, tak i z důvodu zabránění produkování tzv. vylomených svarů – nedodržení kolmosti mezi svařovaným dílem a samotnými elektrodami svařovacích kleští.

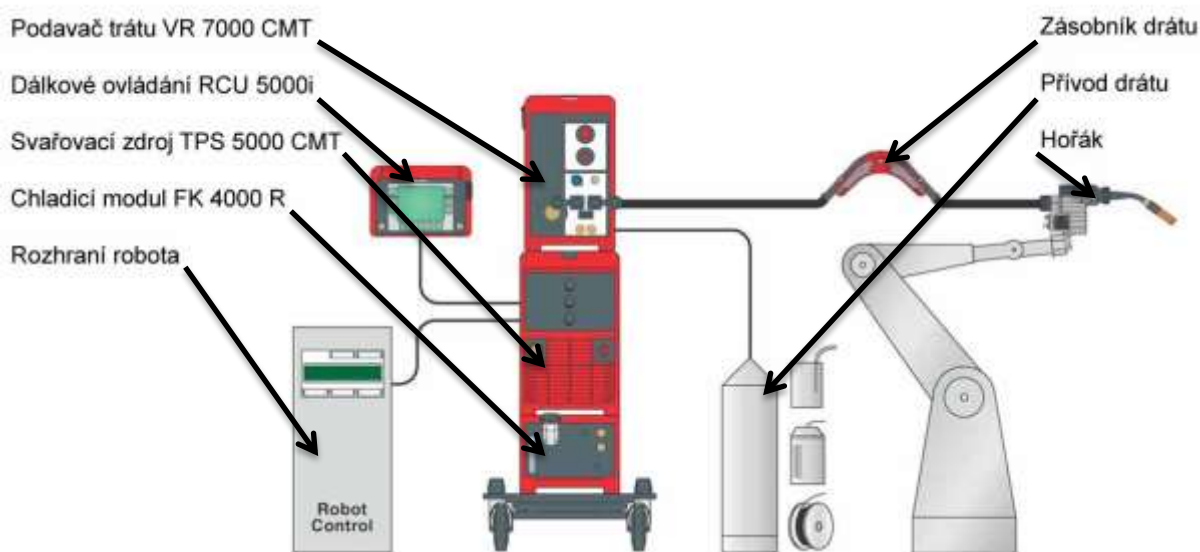


Obr. 9 – Odporové bodové svařování

Na svařovacích kleštích byly použity svařovací kontakty (čepičky) s označením 39D 1798 o průměru 16 mm, je to v současné době nejpoužívanější typ svařovacích kontaktů ve svařovnách Škoda auto, a.s. (90% odporových bodových svarů). Základním materiálem samotného kontaktu je díky své výborné elektrické vodivosti měď (Cu), obohacena je však několika dalšími legujícími prvky např, zirkoniem (Zr), chromem (Cr) apod, které zvyšují tepelnou odolnost samotného kontaktu.

5.2.2 Technologie CMT

Tato technologie obloukového svařování se vyznačuje tím, že jak do spojovaného materiálu, tak i do jeho okolí vnáší pouze minimum tepelné energie, a tím dochází k eliminaci tzv. tepelně ovlivněné oblasti. Samotné vzorky byly spájeny automatem. Popis jednotlivých dílů robotizovaného systému je uveden na obr. 10. Základními parametry jsou: svařovací proud, napětí a rychlost pohybu drátu. Parametry uvedené v tab. 3 jsou hodnoty základního nastavení v závislosti na tloušťce materiálu a zkušenostech svářeče, avšak jak je vidět z příložených grafů, viz příloha 1., dochází na počátku a na konci pájení k procentuálnímu nárůstu a poklesu proudu. Nárůst proudu je na počátku přibližně 120% startovacího proudu po dobu 2 sekund. Závěrný proud je přibližně 45% startovacího proudu po dobu 2 sekund.



Obr. 10 – Systém CMT

Rozhraní robota je vhodné pro všechny obvyklé roboty s digitálním nebo analogovým řízením či se sběrnici, chladicí modul zajišťuje optimální chlazení vodou chlazeného hořáku. Dálková ovládací jednotka s plnohodnotným displejem umožňuje snadné vedení uživatele a systematickou strukturu nabídek. Zásobník drátu odděluje pohon jednotky v hořáku (musí umožnit pohyb drátu vpřed a vzad) a pohon podavače drátu (stálý pohyb vpřed) od sebe a zajišťuje hladký transport drátu. Plně digitalizovaný, mikroprocesorem řízený invertorový svařovací zdroj zajišťuje dokonalou přesnost svařovacího procesu. Kompaktní svařovací hořák s digitálně řízeným vysoce dynamickým servomotorem pohybuje svařovacím drátem dopředu a dozadu až 90x za sekundu. Zajišťuje tak přesné podávání drátu a konstantní přítlak. [4]

Tab. 3 – Parametry CMT

Tloušťka materiálu	Proud [A]	Napětí [V]	Pohyb drátu [m/min]
0,69	250	12	7,8
1,00	250	14	8,0
1,21	250	16	8,2

Pro pájení byl použit svařovací drát dle EN 14 640 [9], pod označením S Cu 6560 (CuSi3Mn1) o průměru 1 mm. Tento drát lze použít jak pro svařování měděných slitin s křemíkem a zinkem, tak i pro spojování ocelových plechů. Je to nejčastěji používaný typ drátu pro letování, (pájení) dílů z pozinkovaných plechů, především v automobilovém průmyslu. Parametry drátu a chemické složení jsou uvedeny v tab. 4.

Jako ochranný inertní plyn byl použit argon (Ar). Tento plyn je vhodný jak pro svařování hliníku, slitin mědi apod., tak i pro pájení ocelových karosářských plechů.

Tab. 4 – Parametry drátu pro CMT

Vlastnosti svařovacího drátu	
označení ČSN	S Cu 6550 (CuSi3Mn1)
obchodní označení	OK AUTROD 19.30
doporučené napětí [V]	12,5 - 18,0
doporučená rychlost podávání drátu [m/min]	4,0 - 12,0
doporučený svařovací proud [A]	80 - 210
Chemické složení [%]:	
křemík (Si)	3,4
mangan (Mn)	1,1
měď (Cu)	>94
Mechanické vlastnosti	
smluvní mez kluzu v tahu ($R_{p0,2}$) [MPa]	130
Tažnost [%]	40
Tvrdość dle Brinella	80 - 100
Pevnosť v tahu (R_m) [MPa]	350

Vzorky byly při svařování v tomto případě upnuty do držáků, viz obr. 11, u kterých ovšem nebylo možné dodržet totožné upnutí dalších vzorků, proto musel být svařovací program pokaždé upraven tak, aby hořák měl správnou vzdálenost a dráhu. Svary však byly všechny jednotné, jak délkou, tak umístěním ve spoji.



Obr. 11 – Technologie CMT

5.2.3 Technologie MAG

Tato technologie obloukového svařování je z vybraných nejstarší metodou svařování. Vnáší ovšem do svařovaného materiálu, tak do jeho okolí velké množství tepelné energie, čímž vytváří i značně velkou tepelně ovlivněnou oblast. Základní svařovací parametry jsou stejné, jako u metody CMT, svařovací proud, napětí a rychlost pohybu drátu, viz tab. 5. Vzorky byly svařeny ručně, tudíž velkou roli hraje zkušenost svářeče a jeho zručnost.

Tab. 5 – Parametry MAG

Tloušťka materiálu	Proud [A]	Napětí [V]	Pohyb drátu [m/min]
0,69	14,2	61	3,5
1,00	14,2	66	4,0
1,21	15,2	89	5,0

Bylo použito svařovacího zdroje AristoTM Mig 5000i, viz obr. 12. Zdroj je založen na technologii, která zajišťuje vysokou spolehlivost a vynikající svařovací charakteristiky. Komunikační a řídicí systém CAN-bus optimalizuje flexibilitu zařízení. Díky menšímu

potřebnému množství kabelů je zařízení spolehlivější. Čerpadlo zajišťuje chlazení vodou chlazeného hořáku. Prodlužovací kabely mohou být v délce až 35 m, poskytující pracovní rádius do 35 m. V případě použití hořáku ESAB PSF je zaručena stabilita nastavené hodnoty napětí v průběhu svařovacího procesu bez ohledu na úbytek napětí způsobený délkou svařovacích kabelů. [11]



Obr. 12 – Svařovací zdroj pro MAG

Pro svaření byl použit drát dle EN ISO 14341A [9], pod označením OK AristoRod 12.50 (G3Si1) o průměru 0,8 mm. Je to lesklý, nepoměděný drát, určený pro svařování většiny běžných nelegovaných konstrukčních ocelí s pevností v tahu do 350 MPa. Je vhodný i pro svařování jemnozrnných ocelí s mezí kluzu do 420 MPa. Parametry drátu a chemické složení jsou uvedeny v tab. 6. Drát je dodáván buď na drátěných cívkách, nebo v osmihranných velkokapacitních sudech pro nepřetržitou dodávku svařovacího drátu.

Ochranný aktivní plyn byla použita směs Argonu (Ar) a oxid uhličitý (CO₂). Podíl oxidu uhličitý ve směsi může být maximálně 25%. V tomto případě se námi použitá směs skládá z 82% Argonu (Ar) a 18% oxidu uhličitý (CO₂).

Tab. 6 – Parametry drátu pro MAG

Vlastnosti svařovacího drátu	
označení ČSN	G3Si
obchodní označení	OK ArisoRod 12.50
doporučené svařovací napětí [V]	18 - 24
doporučená rychlost pohybu drátu [m/min]	3,2 - 10,0
doporučený svařovací proud [A]	60 - 200
Chemické složení [%]:	
křemík (Si)	0,9
mangan (Mn)	1,5
uhlík (C)	0,1
Mechanické vlastnosti	
smluvní mez kluzu v tahu ($R_{p0,2}$) [MPa]	470
Tažnost [%]	26
Pevnost v tahu (R_m) [MPa]	560

Tento způsob svařování je časově nenáročný, není nutné programování jednotlivých kroků. Ovšem svary na jednotlivých spojích jsou rozdílné, viz obr. 13 také u slabých tloušťek docházelo k provaření materiálu a přichycení k svařovací podložce.



Obr. 13 – Technologie MAG

5.3 Vyhodnocení

Všemi zvolenými metodami bylo dosaženo spojení vzorků plechů, je tedy zřejmé, že byly zvoleny vhodné základní parametry. Pohledově lze označit spoje svařené odporovým bodovým svařováním za nejlépe vyhovující, plechy nejsou téměř zdeformované, je zde minimální opal kolem svaru, body jsou totožné. Spoje provedené metodou CMT jsou hladké, rovnoměrné, opal zde není žádný vzhledem k tomu, že jde o způsob pájení, kdy základní materiál není natavován. Vizuálně méně vyhovující jsou vzorky svařené technologií MAG. Kolem svarů jsou velké opaly pozinkované vrstvy, spoje jsou nesouměrné s rozstříkáním, vzorky jsou zdeformovány vlivem vneseného tepla při svařování.

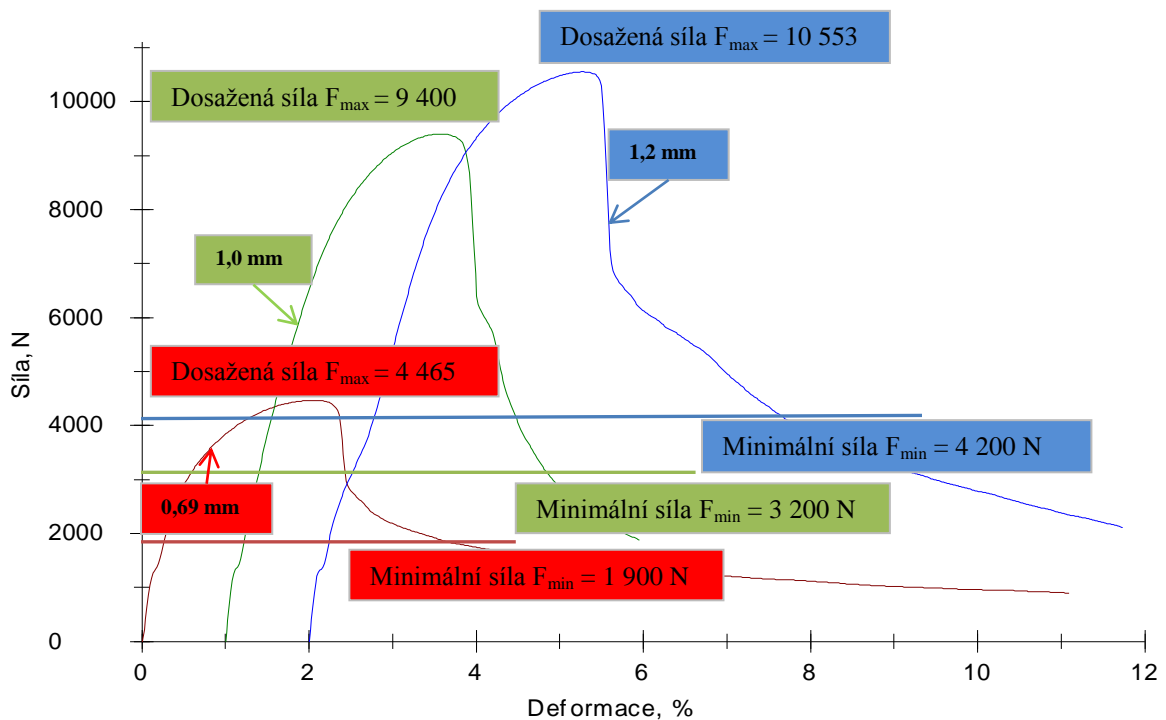
Pro objektivní posouzení jednotlivých technologií byly hodnoceny testované vzorky těmito způsoby:

5.3.1 Pevnostní odolnost (stříhová zkouška)

Stříhová zkouška byla provedena na vzorcích spojených všemi metodami uvedenými v kapitole 5. Metodou odporového bodového svařování bylo zhotoveno a vyhodnoceno vždy 8 kusů vzorků od každé tloušťky, vzhledem k tomu, že těchto bodů je na karoserii vozidla nejvíce. U metody MAG a CMT byly vyhotoveny a následně vyhodnoceny 3 kusy vzorků od jednotlivých tlouštěk. Minimální hodnota tahové síly je dána dle tloušťky materiálu normou EN 10 346. [14]

- **odporové bodové svařování**

Vzorky svařené odporovým bodovým svařováním tloušťky 0,69 mm musí vyhovovat minimální tahové síle $F_{\min} = 1\,900$ N. Jak je patrné z grafického záznamu zkoušky, viz příloha 2, všechny posuzované vzorky pevnostně vyhovují. Maximální tahová síla byla někde překročena více než dvojnásobně. Vzorky tloušťky 1,0 mm musí vyhovovat tahové síle $F_{\min} = 3\,200$ N. Z protokolu, viz příloha 3 je patrné, že také tyto vzorky vyhověly. U posledních z posuzovaných vzorků odporového bodového svařování tloušťky 1,2 mm je minimální tahová síla $F_{\min} = 4\,200$ N. Tady se ukazuje pevnost spojení velice vysoká, přesahuje minimální hodnotu téměř trojnásobně, viz příloha 4. Pro srovnání jednotlivých pevnostních vlastností vzhledem k síle materiálu stejné technologie spojení byla vyhotovena zkouška s jedním vzorkem od každé tloušťky, viz obr. 14.



Obr. 14 – Srovnání pevnostních parametrů vzorků odporového bodového svařování

U všech vzorků došlo k vytržení celého bodového svaru ze základního materiálu, což je způsobeno vznikem tepelně ovlivněné oblasti v okolí svaru, kde dochází vlivem tepla ke zhrubnutí zrna a snížení pevnostních vlastností. Žádný spoj nebyl porušen ani vylomen, viz obr. 15.



Obr. 15 – Vzorky svařené odporovým bodovým svařováním po sřihové zkoušce

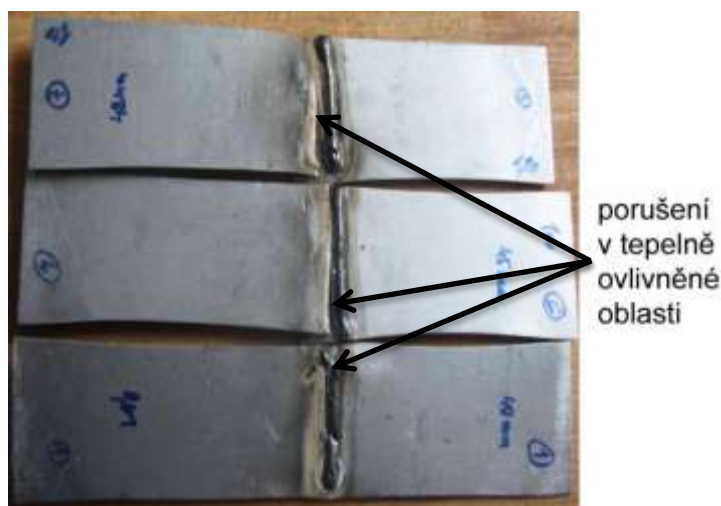
U spojení technologií CMT a MAG je minimální tahová síla stanovena výpočtem pro jednotlivé tloušťky materiálu. Výsledná minimální tahová síla je násobkem nejnižší hodnoty pevnosti v tahu (R_m), která je uvedena v tab. 1, tloušťkou materiálu a šířkou vzorku (v případě že svar je přes celou šířku vzorku). Mezní hodnoty vyznačené v grafech protokolů o zkoušce, viz příloha 5 a příloha 6, vycházejí z výpočtu konstantní šířky svaru 45 mm. Vzhledem k tomu, že v reálné výrobě se u vzorků karoserií vyřizne vzorek svaru a minimální tahová síla se přepočítá pro danou šířku svaru, jsou přepočtené hodnoty pro skutečné délky svarů na vzorcích v tab. 7.

Tab. 7 – Přepočtené hodnoty minimální tahové síly

Přepočtené hodnoty minimální tahové síly F_{\min}			
Tloušťka [mm]	Pevnost v tahu (R_m) [MPa]	Skutečná šířka [mm]	F_{\min} [N]
0,69	340	40	9384
		33	7741,8
		33	7741,8
1,00	400	45	18000
		45	18000
		45	18000
1,20	400	41	19680
		44	21120
		43	20640

- **technologie MAG**

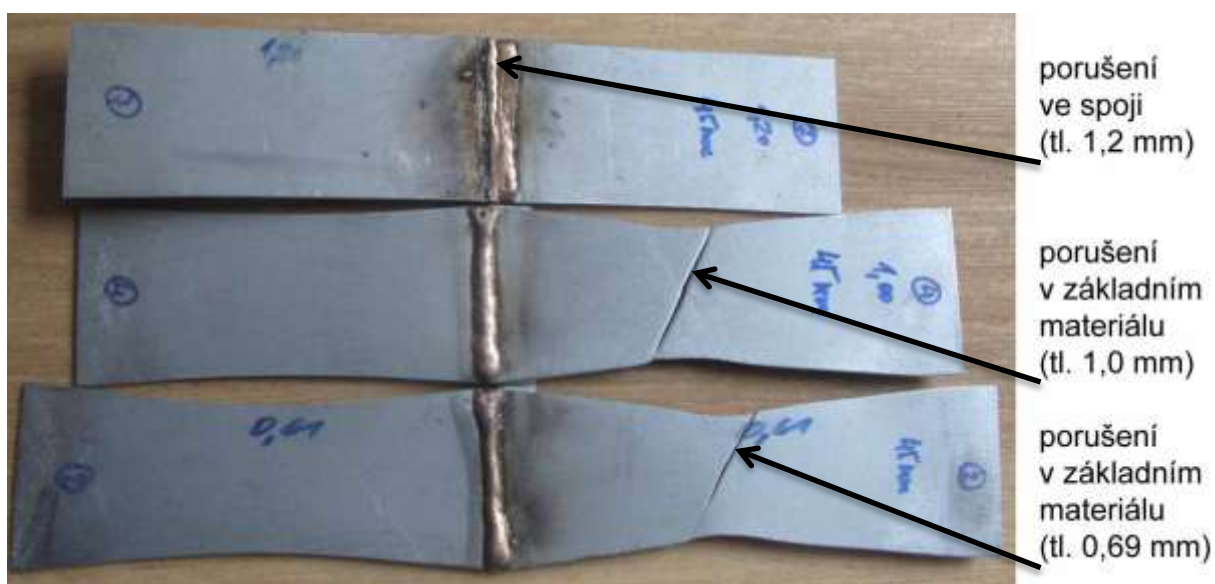
U technologie MAG dle přepočtených hodnot nevyhovují pevnostní podmínce pouze vzorky plechů tloušťky 0,69 mm. U těchto plechů byly vzorky propáleny a zároveň v těchto místech došlo ke vzniku tepelně ovlivněných oblastí, ve kterých došlo k výraznému zhoršení mechanických vlastností. Také u ostatních vzorků došlo vždy k jejímu porušení mimo samotný svar, konkrétně v tepelně ovlivněné oblasti, viz obr. 16, avšak nad hranicí přípustné minimální tahové síly.



Obr. 16 – Vzorky svařené technologií MAG po sřihové zkoušce

- **technologie CMT**

Jako poslední byly hodnoceny spoje zhotovené technologií CMT, viz příloha 6. Zde je patrné, že vzorky menších tlouštěk vyhovují předepsaným pevnostním hodnotám. Vzorky plechů o tloušťce 1,2 mm však těmto hodnotám nevyhověly, neboť došlo k jejich porušení přímo ve spoji, viz obr. 17. Toto je možné vysvětlit porovnáním pevností v tahu (R_m) obou materiálů. Pevnost v tahu přídatného materiálu byla 350 MPa, což je méně než pevnost v tahu základního materiálu, která se pohybuje od 400 – 480 MPa a tato nebyla snížena výskytem tepelně ovlivněné oblasti, neboť při použití této technologie k jejímu vzniku nedochází.



Obr. 17 – Vzorky spojené technologií CMT po sřihové zkoušce

5.3.2 Korozní odolnost (korozní komora)

Posuzované vzorky byly vloženy do korozní komory, viz obr. 18, kde byly ponechány 300 hodin. V komoře bylo vytvořeno prostředí solné mlhy tvořené roztokem 4% chloridu sodného (NaCl) ve vodě.



Obr. 18 – Korozní komora

Posouzení korozní odolnosti bylo orientačně odhadnuto i pomocí měření tzv. samovolného korozního potenciálu. Potenciál byl měřen v 1M roztoku chloridu draselného (NaCl) s argentochloridovou referenční elektrodou (standardní potenciál +0,222V). Naměřené hodnoty pozinkovaného plechu a příslušného svarového spoje jsou uvedeny v Tab. 8.

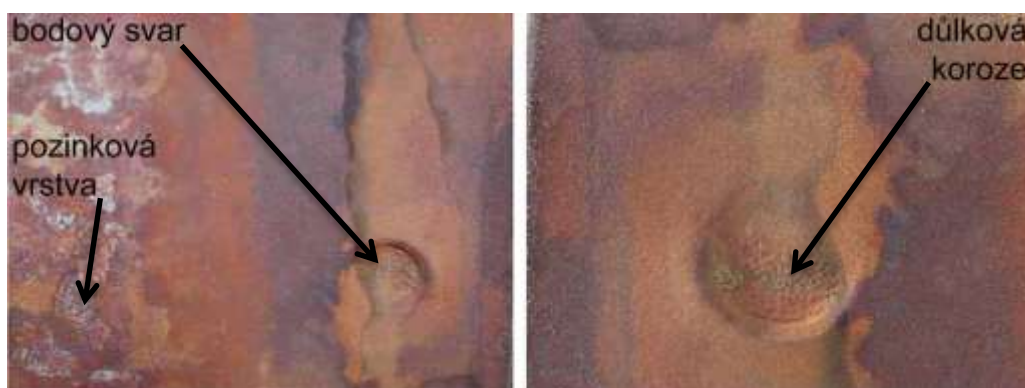
Tab. 8 – Naměřené hodnoty korozního potenciálu

Typ svaru	U_{ZM} (vs. standardní argentochloridová elektroda) [V]	U_{SVARU} (vs. standardní argentochloridová elektroda) [V]	Korozní potenciál [V]
Bodový svar 1,2 mm	0,951	0,943	-0,008
Bodový svar 0,69 mm	0,948	0,942	-0,006
Svařenec technologií CMT 1,2 mm	0,942	0,969	0,027
Svařenec technologií CMT 0,69 mm	0,942	0,982	0,04
Svařenec technologií MAG 1,2 mm	0,947	0,961	0,014
Svařenec technologií MAG 0,69 mm	0,945	0,963	0,018

Z uvedených měření je možno usuzovat, že v případě bodových svarů bude docházet spíše ke korozi v místě jednotlivých svarových čoček, avšak její další postup bude velmi pozvolný. V případě tavných spojů zhotovených metodou CMT je přídavný materiál ušlechtlejší, takže lze předpokládat korozi spíše v okolí spoje, která se ovšem v důsledku dvou různorodých materiálů bude šířit velice rychle. U svarových spojů provedených technologií MAG pravděpodobně dojde k ovlivnění korozi jak svaru, tak hlavně v bezprostředním okolí, kde došlo k porušení povlakové vrstvy vlivem vneseného tepla. Postup koroze bude však pomalejší než u technologie CMT, vzhledem k podobnému složení a potenciálu jak přídavného, tak základního materiálu.

- **odporové bodové svařování**

Jak je patrné z obr. 19, díky dlouhé expozici v korozní komoře se koroze rozšířila i do okolí svaru. Ve vzdálenější části jsou vidět zbytky pozinkové vrstvy. Ve svaru je jasně viditelná důlková koroze. Detail svarové čočky ukazuje, že v místě působení tepla došlo ke změně struktury kovu v důsledku vneseného tepla a kov je v tomto místě náchylnější na korozi.



Obr. 19 – Makrosnímek koroze odporového bodového svaru

- **technologie MAG**

Na obr. 20 je vidět koroze jak svarového spoje, tak tepelně ovlivněné oblasti. Korozní zplodiny kopírují kresbu svaru a stékají po vzorku dolů. Koroze je velmi silná, rozšířená po celém spoji. Zkorodovaná vrstva je porézní a podporuje další postup koroze. Zbarvení ve větší vzdálenosti od svarového rozhraní je způsobeno přenosem korozních zplodin, není to koroze.



Obr. 20 – Makrosnímek koroze svaru technologií MAG

- **technologie CMT**

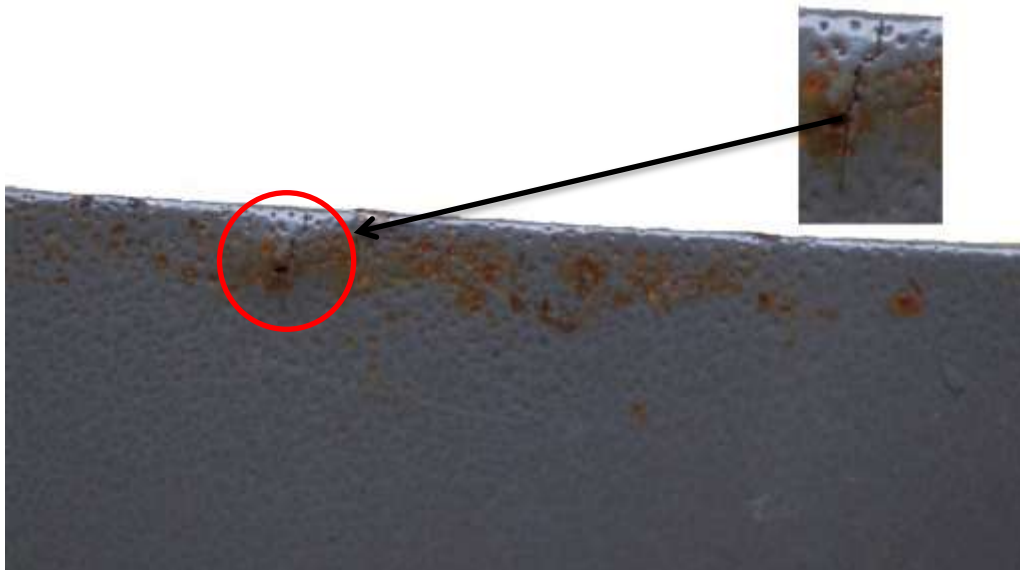
V případě spojů provedených technologií CMT je korozi napaden základní materiál. Nedošlo ke korozi tavného spoje, viz obr. 21. Aby došlo ke korozi spoje, bylo by nutné prodloužit dobu působení solné mlhy.



Obr. 21 – Makrosnímek koroze svaru technologií CMT

- **katodforéza**

Kataforetické povlaky vykazovaly po korozní zkoušce jen velmi mírnou korozi na hranách plechů. V tomto místě je sice teoreticky stejně silná (nebo dokonce silnější) vrstva organického povlaku, ale vrstva je zde velmi silně mechanicky namáhána, a proto je zde porušena a dochází ke korozi. Jak je vidět na obr. 22, trhlinka, která může vzniknout například při manipulaci se vzorky, se začala šířit od hrany plechu, vzniká tak citlivé místo, odkud se objevuje i postup korozního poškození.



Obr. 22 – Makrosnímek vzorku s KTL

Korozní poškození svarů odpovídalo zjištěným hodnotám samovolných korozních potenciálů. Tyto potenciály nebyly příliš rozdílné mezi pozinkovaným povrchem a přídavným materiálem. Ke korozi v případě svařování metodou MAG docházelo hlavně na povrchu svarového kovu a tepelně ovlivněné oblasti. U pájených vzorků metodou CMT došlo ke korozi především v bezprostředním okolí svaru, protože svarový kov je ušlechtilější v důsledku vzniku korozního článku korodoval méně ušlechtilý zinek a poté podkladová ocel.

5.3.3 Hodnocení struktury (metalografie)

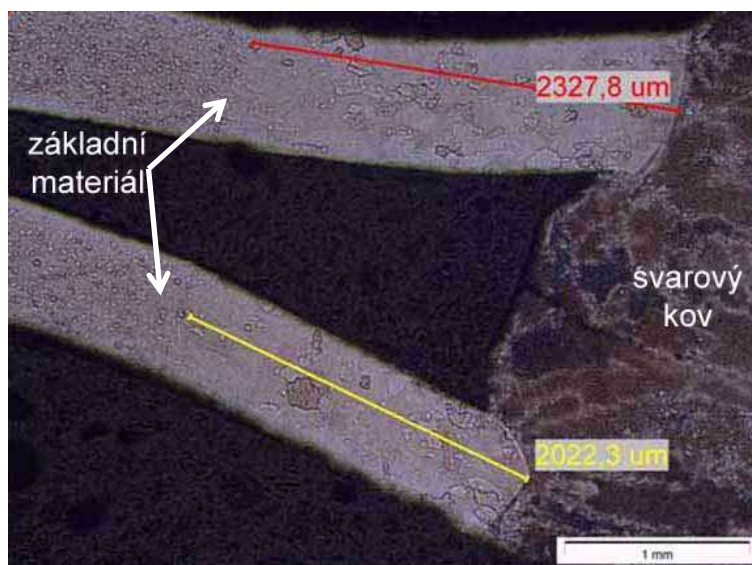
Nejprve byla měřením zjištěna tloušťka pozinkové vrstvy pomocí nedestruktivní metody přístrojem PosiTest DFT. U všech plechů byla stanovena tloušťka pozinkové vrstvy v rozmezí 5 až 9 μm , což odpovídá udané hodnotě – 100g Zn/m², která je po přepočtu 14 μm . Tento údaj se vztahuje k oběma povrchům plechů, proto uvedené hodnoty korespondují.

Mikrostruktura a tepelné ovlivnění svařených součástí bylo posouzeno na metalografických výbrusech pomocí světelného mikroskopu. Základní materiál odpovídá jemnozrnné feritické oceli s nízkým obsahem uhlíku. Ocel byla patrně válcována za tepla, protože zrna jsou rovnoosá, bez viditelného protažení ve směru válcování.

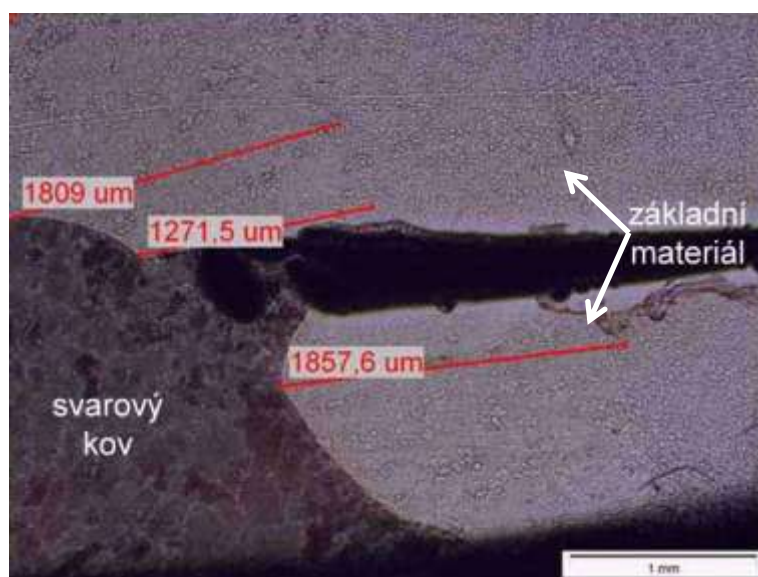
- **technologie MAG**

Z provedených analýz vyplynulo, že v tepelně ovlivněné oblasti došlo při aplikaci MAG technologie ke zhrubnutí feritického zrna základního materiálu. Dosah tepelně ovlivněné oblasti byl v případě tenkých plechů (o tloušťce 0,6 mm) asi 2,3 mm, viz obr. 23, zatímco u plechů o tloušťce 1,2 mm byl zhruba o 20% menší, cca 1,8 mm, viz obr. 24.

V těchto případech nebyla na hranici ztavení pozorována vrstva zinku. Během ohřevu na svařovací teplotu došlo k jejímu odpaření.



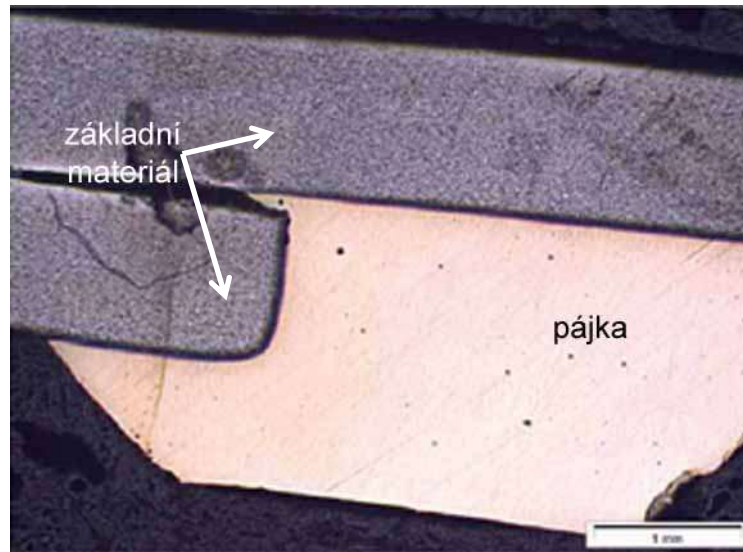
Obr. 23 – Mikrosnímek vzorku tloušťky 0,69 mm při použití technologií MAG (zvětšení 25x)



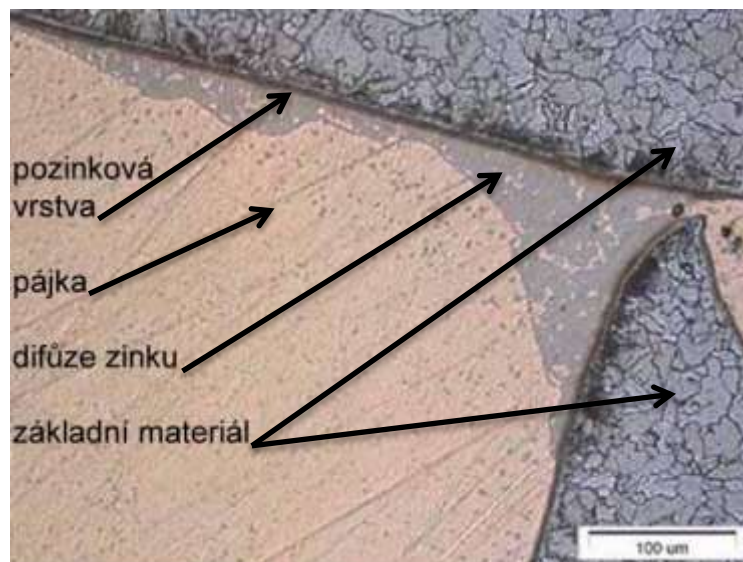
Obr. 24 - Mikrosnímek vzorku tloušťky 1,20 mm při použití technologií MAG (zvětšení 25x)

- **technologie CMT**

Pájení metodou CMT ukázalo, že vždy došlo k dobrému spojení mezi povrchem plechu a přídavným materiálem, viz obr. 25. Lokálně bylo poznatelné promísení (resp. difuze) zinkové vrstvy do přídavného materiálu pájky. V tomto případě nebylo pozorováno zhrubnutí zrna, což svědčí o nízké teplotě ohřevu základního materiálu a relativně krátkém čase pájecího procesu. To je i důvodem zjištěné přítomnosti vrstvy zinkového povlaku po pájení, viz obr. 26



Obr. 25 - Mikrosnímek vzorku tloušťky 1,20 mm při použití technologií CMT (zvětšení 25x)



Obr. 26 - Mikrosnímek vzorku tloušťky 1,20 mm při použití technologií CMT (zvětšení 200x)

6 ZÁVĚR

Z vizuálního posouzení **jednotlivých technologií** lze konstatovat, že spoje byly vyhovující. Spoje metodou MAG a CMT nevykazovaly trhliny ve svarovém švu, povrch byl hladký bez výrazných pórů. Čelo spoje bylo vždy zcela vyplněno. Při použití technologie MAG byl u plechů tloušťky 0,69 mm základní materiál propálen a vytvořila se tak vadná místa. Pokud bychom snížili svařovací proud, nedocházelo by sice k propálení základního materiálu, avšak vznikalo by riziko, že základní materiál nebude dostatečně nataven a nedojde k jeho svaření (studený spoj). U spojů odporového bodového svařování a pájení CMT není nutné další upravující kroky. U svarů technologií MAG by měly být rozstříky ještě před další povrchovou úpravou vybroušeny.

Vyhodnocení **stříhových zkoušek** všech vzorků prokázalo, že v případě dodržení technologie svařování, všechny spoje vyhovují předepsaným pevnostním podmínkám. Avšak technologie MAG svařování se s ohledem na získané výsledky jeví jako méně vhodná pro svařování tenčích plechů, v tomto případě do 1 mm, vzhledem k velké citlivosti na zvolené svařovací parametry (propaly spoje, velké ovlivnění pevnostních parametrů v tepelně ovlivněné oblasti). Naopak technologie CMT se prokázala jako méně vhodná pro spojování materiálů s vyšší pevností v tahu (R_m), neboť pevnost samotného spoje je tu limitována pevností použitého přídavného materiálu (pájky). V případě, že pevnost v tahu základního materiálu je větší než pevnost v tahu přídavného materiálu, dojde vždy k porušení v přídavném materiálu (pájce).

Z pohledu **korozní odolnosti** lze prvotní hodnocení provést po aplikaci jednotlivých metod svařování s ohledem na opal pozinkové vrstvy. Lze konstatovat, že její ovlivnění, u technologie odporového bodového svařování, nebylo téměř žádné. U technologie CMT z lícové strany spoje byl patrný okem viditelný opal, který byl ovšem pouze jako tenká linka podél spoje. Z rubové strany spojovaných vzorků byl opal pozinkové vrstvy slabý, u tloušťky 1,2 mm téměř nulový. Naopak u vzorků svařených metodou MAG byl velmi silný a lze tedy předpokládat zhoršenou korozní odolnost.

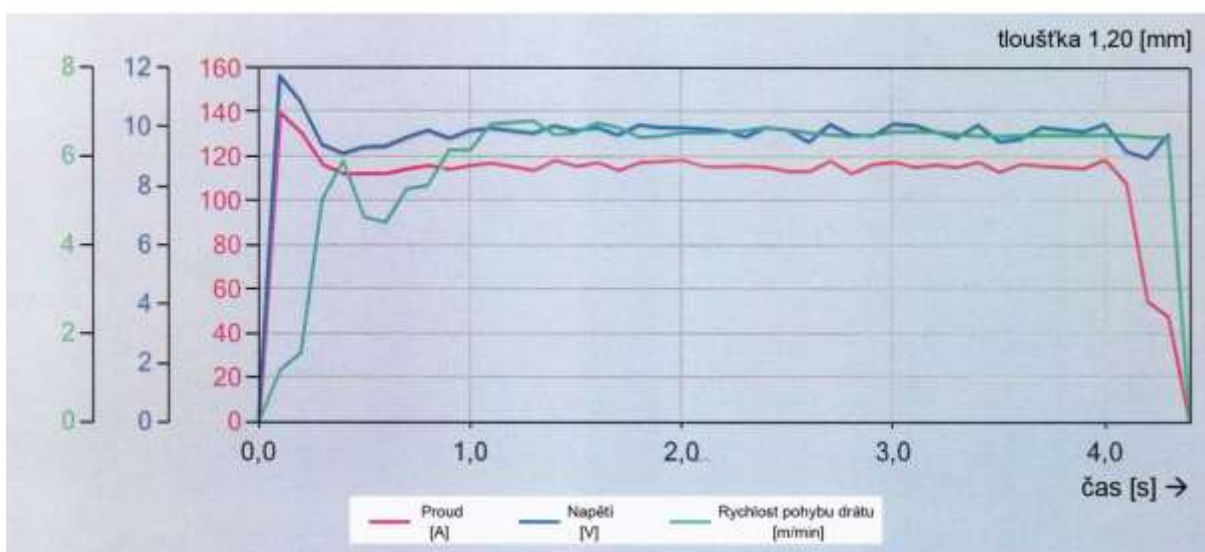
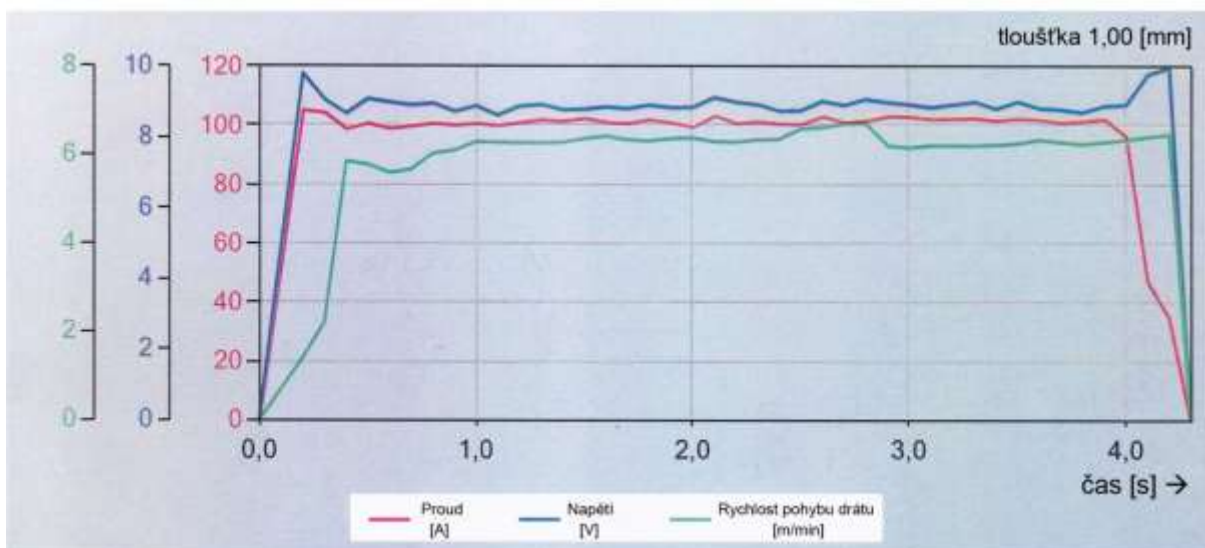
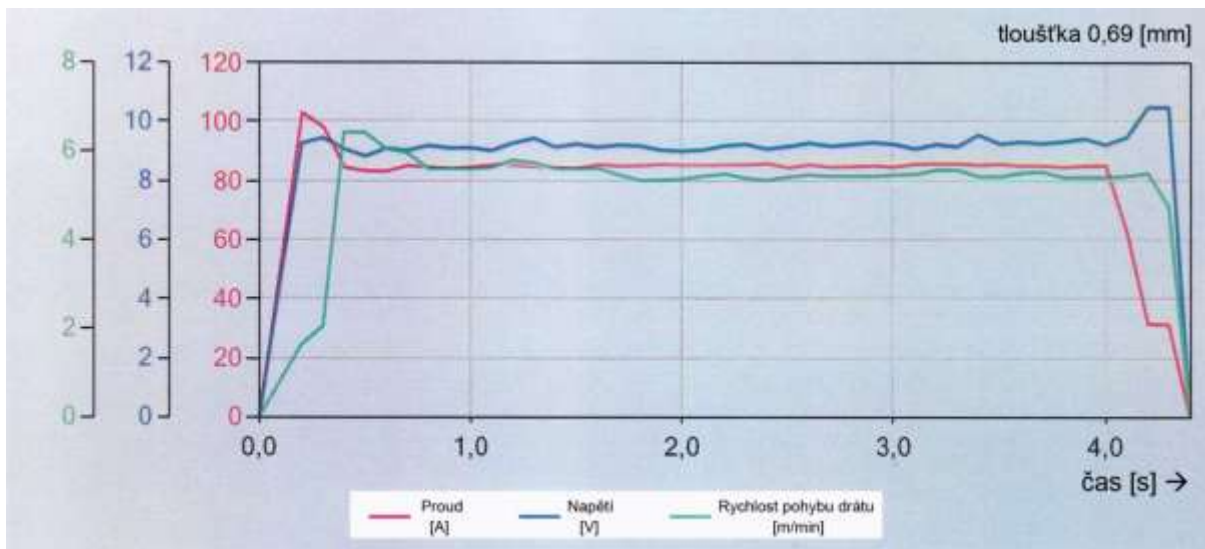
Výsledné hodnocení odolnosti proti korozi potvrdilo předpoklady, které byly patrné již v průběhu zhotovování vzorků. Svařování technologií MAG je metoda, u které dochází téměř k úplnému odpaření ochranné pozinkové vrstvy, svar je náchylný ke korozi a pro použití této technologie je důležitá následná protikorozní povrchová úprava. Spoje svařené metodou odporového bodového svařování začaly podléhat koroznímu napadení

ve stejné míře jako svary provedené technologií MAG, avšak při svařování zůstala na základním materiálu část pozinkové vrstvy, která tak zpomaluje korozní šíření do rozsáhlejší oblasti od bodového svaru. Největší odolnost byla prokázána u vzorků spojených metodou CMT. Koroze spoje byla minimální, spoj zůstal neporušený, bez větších lokálních ložisek koroze. To je dáno ušlechtilostí materiálu pájky a téměř neporušenou pozinkovou vrstvou. Tyto spoje jsou velice odolné proti korozi, avšak pokud spoj již začne korodovat, dojde ke vzniku mikročlánku v důsledku dvou rozdílných materiálů a koroze se šíří rychleji než v předchozích dvou posuzovaných případech.

Jasně patrný vliv na odolnost proti korozi má povrchová úprava (katodická ochrana). Tento základní způsob ochrany plechů používaných v automobilovém průmyslu eliminuje v maximální míře vznik ložisek koroze u všech posuzovaných technologií. Rizikovými oblastmi jsou však ostré přechody a hrany, proto je také jedním z požadavků na technologii spojování hladký spoj, na kterém již nemusí být prováděny žádné dokončovací práce.

Ve vzájemné úvahu výše uvedené skutečnosti, lze konstatovat, že z hlediska korozní odolnosti se jeví pro svařování karoserií vozidla jako nejvhodnější metoda CMT. Avšak při návrhu technologických postupů je nutné nejprve vycházet z pevnostních parametrů, následně pak korozní odolnosti, kterou lze snadno zvýšit následnou povrchovou úpravou. Toto skloubení pevnostních podmínek pro spoje a zároveň přijatelné snížení kvality základního materiálu při vnesení tepla, upřednostňuje technologii odporového bodového svařování.

Příloha 1 – Průběh svařovacích veličin pro CMT



Protokol o zkoušce

Datum: 12.3.2012

Zkušební parametry:

druh zkoušky : Střihová zkouška tahem
číslo protokolu : 120312/1
Oddělení : VFO1/8
Zkoušel : Kosejk Roman

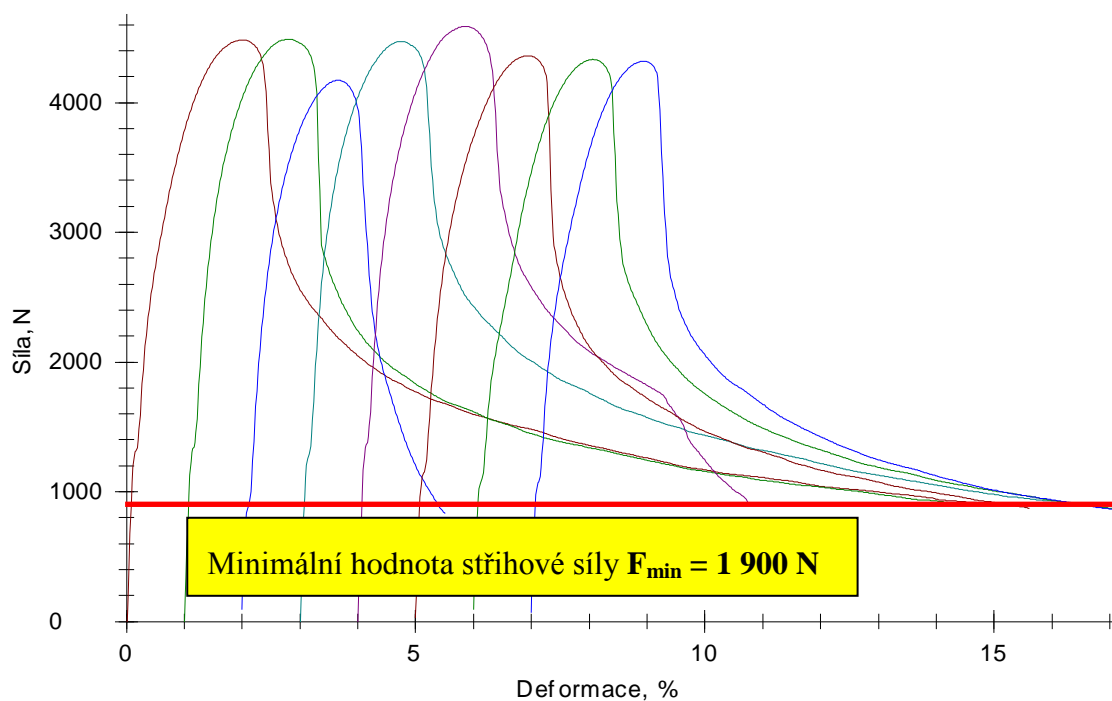
předzatížení : 2 N
rychlost předzatěžování : 10 mm/min
rychlost zkoušky, řídicí parametr : 50 mm/min

Tl. plechu: 0,69 mm

Výsledky:

Nr	L0 mm	Fmax. N	F _{lom} N	ε _{lom.} %	ε Fmax. %
1	94,99	4483,39	896,59	15,35	2,01
2	95,00	4488,91	897,36	13,65	1,82
3	95,01	4171,04	830,00	3,51	1,68
4	94,99	4471,43	893,81	13,64	1,73
5	95,00	4586,97	916,19	6,75	1,87
6	95,00	4361,09	871,93	10,61	1,96
7	95,01	4332,64	866,25	11,11	2,06
8	95,01	4319,84	863,77	10,10	1,96

Grafické záznamy zkoušek:



Protokol o zkoušce

Datum: 12.3.2012

Zkušební paramet

druh zkoušky : Tahová zkouška stříhem
číslo protokolu : 120314/2
Oddělení : VFO1/8
Zkoušel : Kosejk Roman

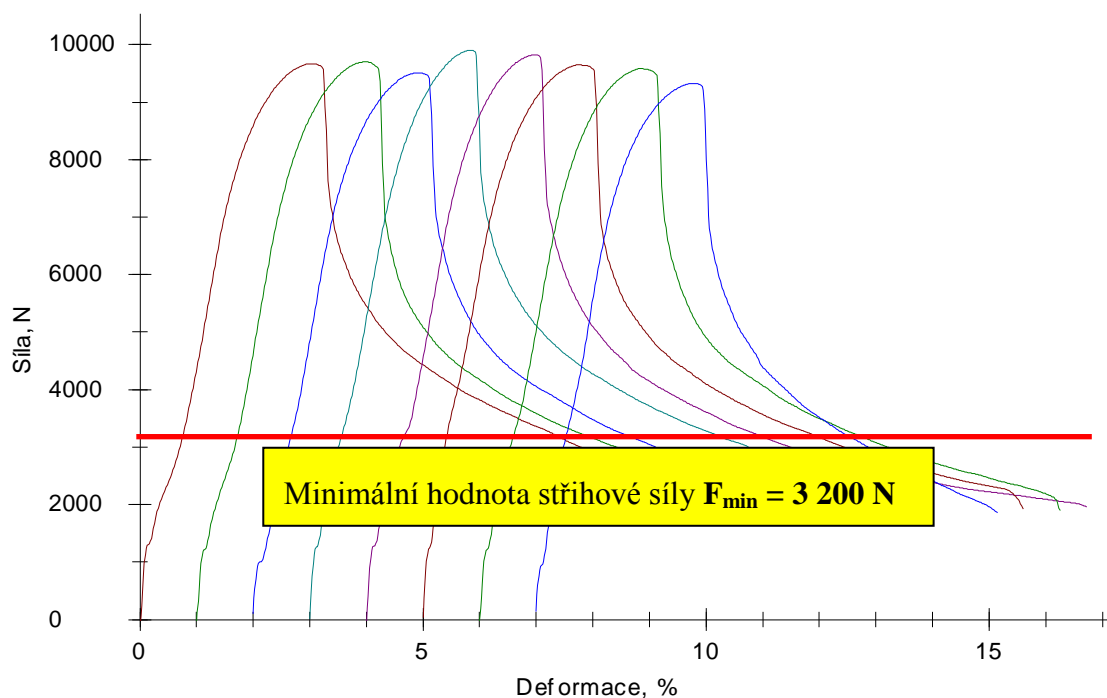
předzatížení : 2 N
rychlost předzatěžování : 10 mm/min
rychlost zkoušky, řídicí parametr : 50 mm/min

TI. plechu: 1,00 mm

Výsledky:

Nr	L0 mm	Fmax. N	F _{lom} N	ε _{lom.} %	ε Fmax. %
1	94,98	9667,77	1931,48	10,83	3,04
2	94,99	9702,29	1938,41	10,56	2,99
3	95,01	9507,16	1893,55	10,52	2,90
4	95,00	9899,33	1959,17	9,76	2,82
5	94,99	9821,97	1962,95	12,72	2,96
6	95,00	9647,15	1920,29	10,60	2,75
7	94,99	9586,92	1897,13	10,25	2,85
8	95,01	9326,02	1862,47	8,15	2,76

Grafické záznamy zkoušek:



Protokol o zkoušce

Datum: 12.3.2012

Zkušební parametry:

druh zkoušky : Střihová zkouška tahem
číslo protokolu : 120312/2
Oddělení : VFO1/8
Zkoušel : Kosejk Roman

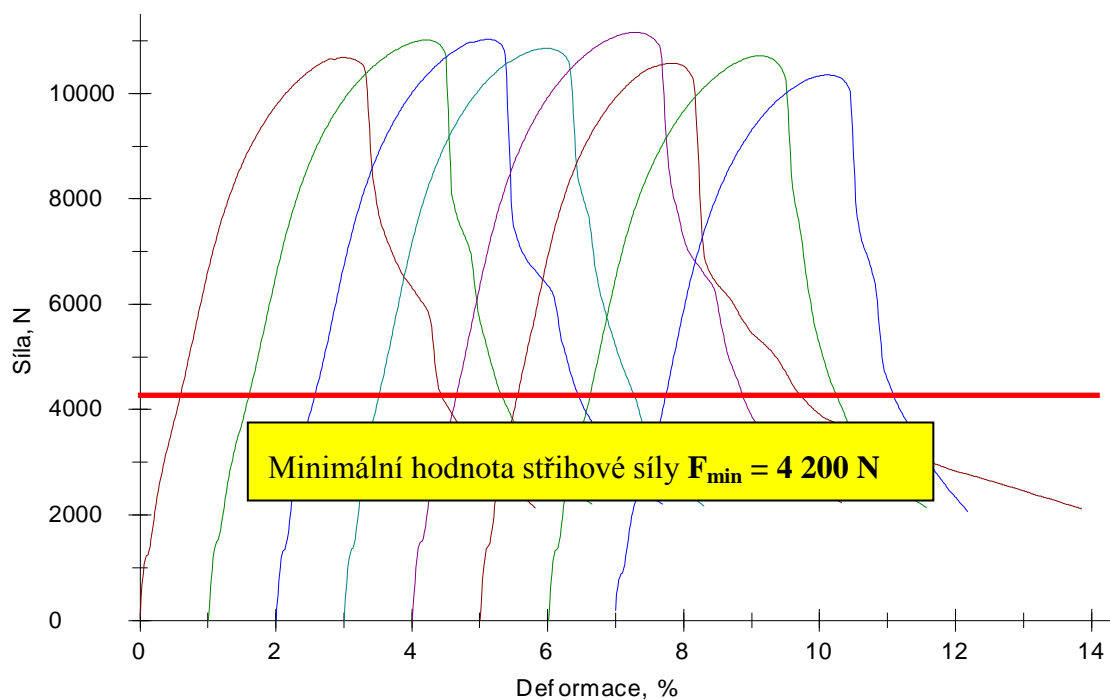
předzatižení : 2 N
rychlost předzatižení : 10 mm/min
rychlost zkoušky, řídicí parametr : 50 mm/min

Tl. plechu: 1,20 mm

Výsledky:

Nr	L0 mm	Fmax. N	F _{lom} N	ε _{lom.} %	ε Fmax. %
1	95,01	10687,39	2133,52	5,82	2,99
2	94,99	11015,25	2196,76	5,66	3,22
3	94,99	11028,96	2201,35	5,68	3,13
4	94,99	10859,27	2169,38	5,30	2,99
5	94,99	11164,08	2227,03	6,33	3,29
6	94,99	10576,77	2114,35	8,86	2,82
7	94,99	10719,59	2138,90	5,58	3,11
8	95,01	10352,99	2060,24	5,18	3,11

Grafické záznamy zkoušek:



Protokol o zkoušce

Datum: 13.4.2012

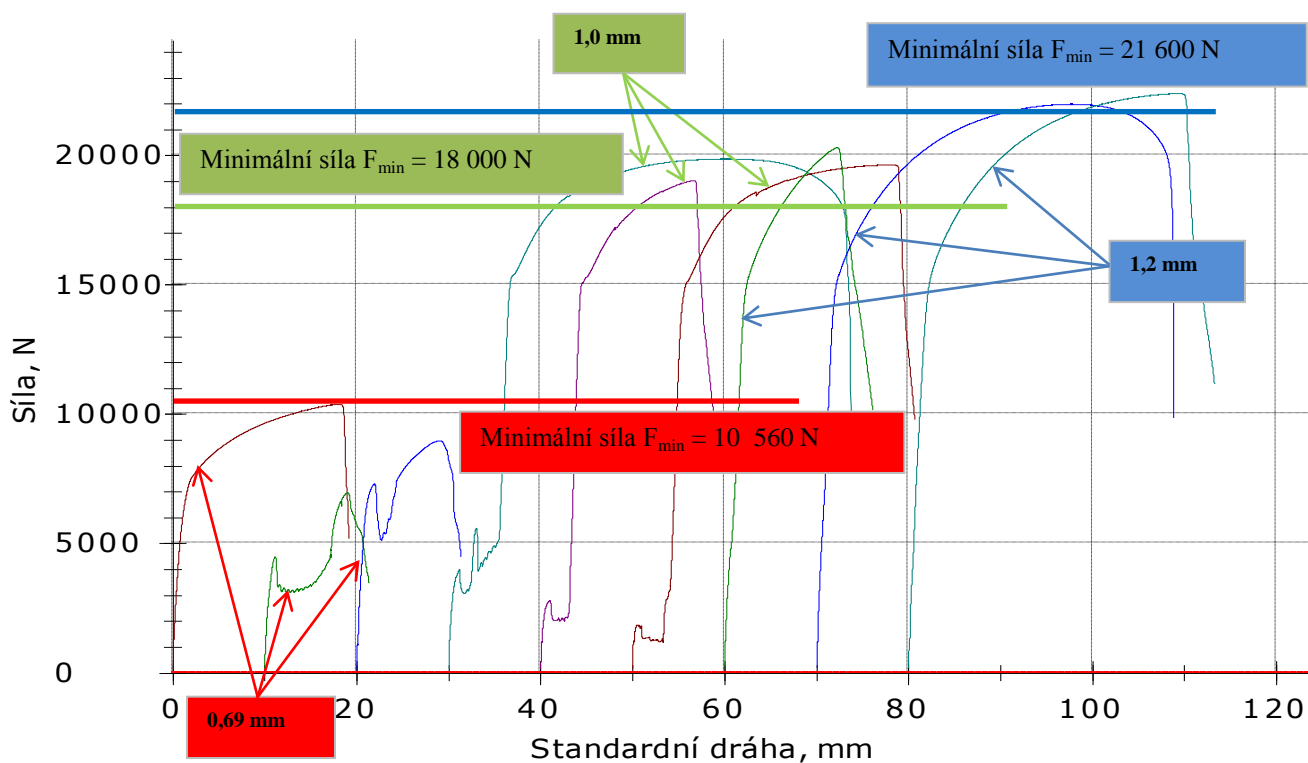
druh zkoušky : Tahem
číslo protokolu : 120413/2
Oddělení : VFO1/8
Zkoušel : Kosejk Roman

Zkušební parametry:

Výsledky:

Nr	ozn.	Datum	Čas	a0 mm	b0 mm	F N	S0 mm ²
1	MAG: 1	13.04.2012	12:53:45	0,69	40,00	10393,61	27,60
2	MAG: 2	13.04.2012	12:57:25	0,69	33,00	6973,44	22,77
3	MAG: 3	13.04.2012	13:00:48	0,69	35,00	8976,90	24,15
4	MAG: 4	13.04.2012	13:03:50	1,00	45,00	19879,12	45,00
5	MAG: 5	13.04.2012	13:12:28	1,00	45,00	19047,03	45,00
6	MAG: 6	13.04.2012	13:15:49	1,00	45,00	19643,07	45,00
7	MAG: 7	13.04.2012	13:20:01	1,20	41,00	20320,52	49,20
8	MAG: 8	13.04.2012	13:22:34	1,20	44,00	21994,43	52,80
9	MAG: 9	13.04.2012	13:26:23	1,20	43,00	22405,91	51,60

Grafické záznamy zkoušek:



Protokol o zkoušce

Datum: 13.4.2012

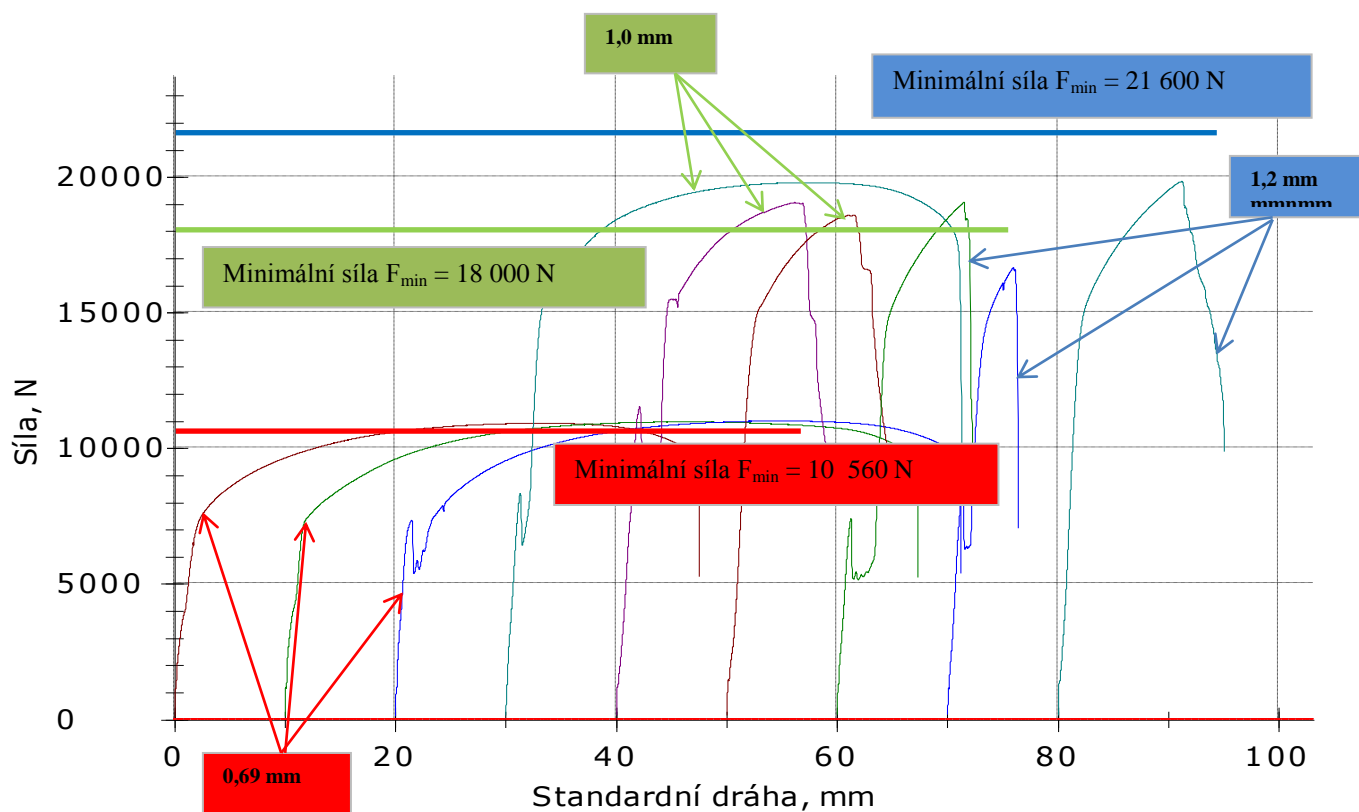
druh zkoušky : Tahem
číslo protokolu : 120413/1
Oddělení : VFO1/8
Zkoušel : Kosejk Roman

Zkušební parametry:

Výsledky:

Nr	ozn.	Datum	Čas	a0 mm	b0 mm	Fm N	S0 mm ²
1	MIG: 1	13.04.2012	13:31:14	0,69	45,00	10936,48	31,05
2	MIG: 2	13.04.2012	13:35:45	0,69	45,00	10985,63	31,05
3	MIG: 3	13.04.2012	13:41:41	0,69	45,00	11018,97	31,05
4	MIG: 4	13.04.2012	13:48:34	1,00	45,00	19804,82	45,00
5	MIG: 5	13.04.2012	13:54:50	1,00	45,00	19072,11	45,00
6	MIG: 6	13.04.2012	13:58:01	1,00	45,00	18615,99	45,00
7	MIG: 7	13.04.2012	14:00:48	1,20	45,00	19093,67	54,00
8	MIG: 8	13.04.2012	14:03:29	1,20	45,00	16663,24	54,00
9	MIG: 9	13.04.2012	14:05:44	1,20	45,00	19856,14	54,00

Grafické záznamy zkoušek:



SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 – Znázornění použitých plechů dle pevnosti.....	10
Obr. 2 – BH efekt	12
Obr. 3 - Bodové svařování.....	14
Obr. 4 – CMT technologie.....	17
Obr. 5 – Clinchování	18
Obr. 6 – Trhací stroj	22
Obr. 7 – Povrchová úprava KTL	23
Obr. 8 – Překlávaný spoj	25
Obr. 9 – Odporové bodové svařování.....	28
Obr. 10 – Systém CMT	29
Obr. 11 – Technologie CMT	31
Obr. 12 – Svařovací zdroj pro MAG	32
Obr. 13 – Technologie MAG.....	33
Obr. 14 – Srovnání pevnostních parametrů vzorků odporového bodového svařování	35
Obr. 15 – Vzorky svařené odporovým bodovým svařováním po stříhové zkoušce.....	35
Obr. 16 – Vzorky svařené technologií MAG po stříhové zkoušce.....	36
Obr. 17 – Vzorky spojené technologií CMT po stříhové zkoušce	37
Obr. 18 – Korozní komora.....	38
Obr. 19 – Makrosnímek koroze odporového bodového svaru	39
Obr. 20 – Makrosnímek koroze svaru technologií MAG	40
Obr. 21 – Makrosnímek koroze svaru technologií CMT	40
Obr. 22 – Makrosnímek vzorku s KTL	41
Obr. 23 – Mikrosnímek vzorku tloušťky 0,69 mm při použití technologií MAG (zvětšení 25x)	42

Obr. 24 - Mikrosnímek vzorku tloušťky 1,20 mm při použití technologií MAG (zvětšení 25x)	42
Obr. 25 - Mikrosnímek vzorku tloušťky 1,20 mm při použití technologií CMT (zvětšení 25x)	43
Obr. 26 - Mikrosnímek vzorku tloušťky 1,20 mm při použití technologií CMT (zvětšení 200x)	43

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 – Experimentální vzorky	26
Tab. 2 – Parametry odporového svařování	27
Tab. 3 – Parametry CMT	29
Tab. 4 – Parametry drátu pro CMT	30
Tab. 5 – Parametry MAG	31
Tab. 6 – Parametry drátu pro MAG	33
Tab. 7 – Přepočtené hodnoty minimální takové síly	36
Tab. 8 – Naměřené hodnoty korozního potenciálu	38

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Průběh svařovacích veličin pro CMT	46
Příloha 2 – Protokol zkoušky pro odporové bodové svary pro plechy tloušťky 0,69 mm	47
Příloha 3 – Protokol zkoušky pro odporové bodové svary pro plechy tloušťky 1,00 mm	48
Příloha 4 – Protokol zkoušky pro odporové bodové svary pro plechy tloušťky 1,21 mm	49
Příloha 5 – Protokol zkoušky pro MAG	50
Příloha 6 – Protokol zkoušky pro CMT	51

SEZNAM ZKRATEK

BH..... Bake Hardening

MAG..... Metal Active Gas

MIG Metal Inert Gas

CMT Cold Metal Transfer

IM-fáze Intermetalická fáze

PVC polyvinylchlorid

PUR polyuretan

KTL katodová redukce

CAN..... Congroller Area Network

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Nové tvářecí technologie pro výrobu karoserií. MM spektrum [online]. 2012 [cit. 2012-04-26].
Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nove-tvareci-technologie-pro-vyrobu-karoserii.html>
- [2] Lehké materiály – Nové požadavky. Automobil revue [online]. 2011 [cit. 2012-04-26]. Dostupné z:
http://www.automobilrevue.cz/rubriky/technika/lehke-materialy-nove-pozadavky_40846.html
- [3] Rozdělení metod tlakového odporového svařování [online]. [cit. 2012-03-17]. Dostupné z:
<http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/10-21.pdf>
- [4] Svařovací technika: Cold Metal Transfer [Prospekt]. Praha, 8 s. [cit. 14.4.2012].
- [5] Vysoce pevné spojení v kovových materiálech. Böllhoff Websites [online]. © 2011 [cit. 2012-03-17].
Dostupné z: http://www.boellhoff.cz/cs/cz/montazni_systemy/clinčovani.php
- [6] Nýt. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-
[cit. 2012-04-19]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/N%C3%BDt>
- [7] VW 01105-1. Odporové bodové svařování, konstrukce, výpočty, zajištění procesu. Volkswagen
Aktiengesellschaft, 2010.
- [8] Interní dokument firmy Fronius Česká Republika, s.r.o.: Možnosti nasazení procesu CMT, zejména pro
spojování ocele s hliníkem, 9 s. [cit. 2012-05-07]
- [9] Katalog přídatných materiálů pro svařování. 2. přeprac. a dopl. vydání. Vamberk: ESAB VAMBERK,
s.r.o., 2011.
- [10] ČSN EN ISO 14273. Rozměry vzorku a postup pro zkoušení stříhem odporových bodových, švových a
výstupkových svarů. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [11] ESAB VAMBERK, s.r.o. Katalog výrobků 2011 [CD]. 2011 [cit. 2012-05-10].
- [12] Korozní zkoušení kovových materiálů: Metody zkoušení koroze. Vysoké učení technické v Brně
[online]. 2010 [cit. 2012-05-09]. Dostupné z:
<http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/oporakoroze4/k3.html>
- [13] Interní dokumenty firmy Škoda Auto, a.s: Proces lakování karoserií – lakovna M11A + M11B Škoda
auto Mladá Boleslav, 2011
- [14] ČSN EN 10346. Kontinuálně žárově ponorem povlakované ocelové ploché výrobky - Technické dodací
podmínky. Brusel: CEN, 2009.