

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta strojní
Ú12133 - Ústav strojírenské technologie



Bakalářská práce
Porovnání technologie MIG pájení a MAG svařování

2015/2016

Martin Mikula

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

pro **Martina MIKULU**

Program: Teoretický základ strojního inženýrství

Obor:

Název: Porovnání technologie MIG pájení a MAG svařování

Název anglicky: Comparison of GMA brazing and GMA of zinc-coated steel sheets

Zásady pro vypracování:

- Rozbor problematiky spojování pozinkovaných ocelových plechů + popis možných metod spojování
- Návrh experimentální činnosti, provedení zkušebních spojů různými způsoby: MIG pájení, MAG svařování
- Vyhodnocení výsledků, vyhodnocení kvality provedených spojů

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
Konzultant: Ing. Karel Kovanda, Ph.D., IWE

Datum zadání bakalářské práce: 30.10.2015

Termín odevzdání bakalářské práce: 15.1.2016

Neodevzdá-li student bakalářskou nebo diplomovou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské nebo diplomové práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou nebo diplomovou práci podruhé.

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou nebo bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové nebo bakalářské práci.

Zadání bakalářské práce převzal dne: 23.11.2015

.....
Student

.....
Vedoucí ústavu
Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE



.....
Děkan
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.

V Praze

dne 30.10.2015

Prehlásenie

Prehlasujem, že som svoju bakalársku prácu vypracoval samostatne a použil som iba zdroje (literatúru, projekty, software atď.), ktoré sú uvedené v priloženom zozname. Nemám žiadny závažný dôvod proti použitiu tohto školského diela v zmysle §60 zákona č.121/2000 Zb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon).

V Prahe dňa 15. januára 2016

.....

Podpis

Abstrakt

Cieľom tejto bakalárskej práce bolo oboznámiť o tom, aké problémy nastávajú pri MAG zvaraní a MIG spájkovaní pozinkovaných plechov v automobilovom priemysle. Bolo nevyhnutné popísať a navzájom porovnať tieto dve metódy, do detailov rozobrať ich výhody a nevýhody a na základe získaných informácií a poznatkov z uskutočneného experimentu dospieť k rozhodnutiu, ktorá z metód je vhodnejšia do výroby. Dôležité bolo dôjsť k správne mu záveru kvalitatívnym porovnaním vykonaných spojov, ktoré sa odladžovali a skúšali pre radu meniacich sa parametrov.

Kľúčové slová: MAG zvaranie, MIG spájkovanie, automobilový priemysel

Vysoká škola:	ČVUT v Prahe, FS
Ústav:	12133
Vedúci ústavu:	Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
Názov bakalárskej práce:	Porovnanie technológie MIG spájkovanie a MAG zvaranie
Školský rok vyhotovenia:	2015/2016
Meno autora:	Martin Mikula
Vedúci bakalárskej práce:	Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
Počet strán:	56
Počet obrázkov:	49
Počet tabuliek:	4
Počet príloh:	2

Abstract

The purpose of this bachelor's work was to inform about problems, which can occur, when technologies of GMA welding and GMA brazing of galvanized plates are used in automotive industry. It was necessary to describe and compare these two methods, according to acquired knowledge of the experiment to analyze benefits and disadvantages in detail, and to make decision, which method is more suitable for manufacturing. According to quality comparing of welds, which was developed and tested for a scale of different parameters, it was important to make accurate deduction.

Key words: GMA welding, GMA brazing, automotive industry

University:	CTU Prague, Faculty of mechanical engineering
Department:	12133
Chief of department:	Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
Name of the bachelor's work:	Comparison of GMA brazing and GMA of zinc-coated Steel sheets
School year:	2015/2016
Name of the author:	Martin Mikula
Chief of the bachelor's work:	Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
Amount of pages:	56
Amount of pictures:	49
Amount of tables:	4
Amount of additions:	2

Pod'akovanie

Na úvod by som sa chcel poďakovať vedúcemu mojej bakalárskej práce Ing. Ladislavovi Kolaříkovi, Ph.D., za jeho čas na konzultácie, pripomienky a poskytnuté materiály. Moja vďaka taktiež patrí pánovi Ing. Karlovi Kovandovi, Ph.D. za jeho čas, ktorý mi venoval na vykonanie praktickej časti bakalárskej práce. Tiež by som chcel poďakovať všetkým, ktorí mi nejako poradili v priebehu spracovania práce.

Obsah

Úvod.....	12
1. Rozbor problematiky korozivzdornej ochrany.....	13
1.2 Korózia.....	13
1.3 Typy korózie.....	14
2. Zinkovanie.....	15
2.1 Ochranné pôsobenie zinku.....	15
2.2 Typy zinkovania, postupy.....	15
2.3 Triedy zinkových povlakov.....	19
3. Zinok a jeho vlastnosti pôsobenia vo zvarovom procese.....	20
3.1 Spôsoby spájania pozinkovaných plechov.....	20
4. MAG zváranie.....	21
4.1 Základný princíp metódy.....	22
4.2 Ochranné plyny.....	23
4.3 Prídavné materiály.....	23
5. MIG spájkovanie.....	23
5.1 Pevnosť spájkovaného spoja.....	25
5.2 Príprava spájkovaného spoja.....	26
5.3 Faktory ovplyvňujúce kvalitu zvaru pri MIG spájkovaní.....	26
5.4 Nastavený výkon zvaracieho zdroja.....	26
5.5 Vzdialenosť kontaktnej trubice.....	27
5.6 Vedenie horáka.....	27
5.7 Poloha.....	28
5.8 Prenos kovu.....	28
5.9 Ochranné plyny pri MIG spájkovaní.....	29
5.10 Prídavné materiály.....	32

6. Experiment.....	33
6.1 Popis použitých materiálov.....	33
6.2 Návrh experimentu.....	34
6.3 Popis experimentálneho pracoviska.....	35
6.4 Systém upnutia do prípravku.....	37
7. Vyhodnotenie skúšobných vzoriek.....	38
7.1 Vizuálne hodnotenie.....	39
7.2 Ťahové skúšky preplátovaných spojov.....	45
7.3 Metalografia.....	48
Záver.....	53
Zoznam použitej literatúry.....	54
Prílohy.....	55

Zoznam použitých skratiek

CC	konštantný prúd
cca	približne
č.	číslo
I	elektrický prúd
PM	prídavný materiál
TOO	tepelne ovplyvnená oblasť
U	elektrické napätie
v	rýchlosť zvarovania/spájkovania
ZM	základný materiál
zv.	zväčšenie

Úvod

V dnešnej dobe sa kladie veľký dôraz na ochranu životného prostredia, čo v automobilovom priemysle vedie k použitiu ľahkých materiálov. Mnoho automobiliek sa snaží svoje vozidlá odľahčiť čo najviac, aby dosiahli minimálnu spotrebu paliva. Plechy ktoré sa používajú na výrobu karosérií musia preto byť ľahké ale zároveň pevné a musia dlho vydržať, čo znamená, že musí byť zaistená ich korozivzdorná ochrana. Korozivzdornosť ocelových plechov zabezpečuje štruktúra oceli ale aj povlak zinkovej vrstvy na ich povrchu. Tu však nastáva problém pri spájaní niektorých plechov, pretože je dôležité aby sa zinková vrstva zachovala v čo najlepšom stave, teda aby sa nespálila. Ďalšia dôležitá požiadavka je aby sa plechy pri spojení nezdeformovali, alebo zdeformovali len minimálne. Týmto požiadavkám najviac vyhovujú dve technológie nerozoberateľného spájania plechov, a to sú MAG zváranie a MIG spájkovanie. Cieľom tejto práce je tieto dve technológie porovnať na základe teoretických informácií získaných z rôznych zdrojov a následne vyhodnotiť ktorá z technológií je vhodnejšia, v závislosti na informáciách a skúsenostiach získaných pri vykonávaní experimentu v laboratóriu.

1. Rozbor problematiky korozivzdornej ochrany

Každý materiál ma svoje dobré, aj zlé vlastnosti. Pri oceli k tým dobrým zaraďujeme relatívne veľkú pevnosť a húževnatosť, dobrú tvarovateľnosť a zvárateľnosť. Za jednu z najväčších nevýhod považujeme, že koroduje, čo znamená že okolité prostredie napadá jej povrch, a teda dochádza k úbytku materiálu. Z tohoto dôvodu sa snažíme túto nežiadúcu vlastnosť minimalizovať úpravou povrchu. Okrem organických farebných náterov sa používajú hlavne kovové povlaky, ktoré zaručujú ochranu pre takmer všetky plynné a kvapalné média.

Kovové povlaky musia spĺňať nasledujúce požiadavky:

- Malá rýchlosť korózie
- Napadnutie základného materiálu na miestach, kde došlo k narušeniu povlaku, musí byť pôsobením chemických a elektrochemických procesov obmedzené alebo celkom potlačené

Týmto požiadavkám vyhovuje vo veľkej miere zinok, navyše jeho cena je relatívne priaznivá, v porovnaní s inými kovmi, ktoré sa používajú na povlakovanie materiálov. Preto je zinkovanie najčastejšie používanou protikoróznou ochranou. Využitie si našlo aj v automobilovom priemysle, kde sa korózne problémy snažia riešiť použitím pozinkovaných plechov. Pozinkované ocelové plechy patria v dnešnej dobe medzi moderný konštrukčný materiál, ktorý si vďaka svojej odolnosti voči atmosférickej korózii našiel uplatnenie v automobilovom priemysle na výrobu karosérií. [1]

1.2 Korózia

Nanesený kovový povlak sa postupom času v závislosti na koróznej agresivite prostredia rôzne rýchlo stráca. Jeho životnosť je nepriamo úmerná koróznej rýchlosti, ktorá sa udáva vo veľkosti ročných korózných úbytkov v mikrometroch alebo gramoch na jednotku plochy. Systém ochrany zinkovým povlakom je veľmi dobre účinný, pokiaľ sa pozinkovaná súčasť nachádza v takom prostredí, kde je zaistený voľný prístup vzduchu k povrchu súčasti a jej prípadné ovlhčenie je náhodné a krátkodobé. Takéto prostredie sa nazýva čisté atmosférické prostredie. Koncentrácia kyslých polutantov v ovzduší musí byť nízka.

Pasivačná vrstva uhličitanu zinočnatého sa stráca pôsobením prostredia ale je dopĺňovaná na úkor zinku obsiahnutého v povlaku. Doba životnosti tohto povlaku udáva do kedy je zinkový povlak schopný chrániť pozinkovanú oceľ proti korózií, teda kým dôjde k jej úplnému odkorodovaniu. Táto doba závisí na hrúbke naneseného zinkového povlaku a na koróznej rýchlosti zinku v danom prostredí. [1]

1.3 Typy korózie

Korózia sa dá rozdeliť na nasledujúce základné typy:

Chemická korózia prebieha v elektricky nevodivých, prevažne plynných prostrediach, kedy sa plyn v styku s kovom zo začiatku disociuje na ióny, ktoré adsorbujú na povrch kovu. V dôsledku ich chemickej reakcie s kovom sa tvoria korózne produkty, ktoré vznikajú priamou reakciou medzi kovom a prostredím bez účasti elektrolytu. Pri chemickej korózií nastane naraz oxidácia kovu a redukcia oxidačnej zložky. [1]

Ku *elektrochemickej korózií* dochádza pri elektricky vodivom spojení dvoch kovov s rôznymi elektródovými potenciálmi v elektrolyte, alebo v nehomogénnom koróznom prostredí (v mieste s obmedzeným prístupom kyslíku agresivita roztoku vzrastá). Korózna odolnosť oceli v atmosférickom prostredí, vo vode, v pôde je celkovo nízka. Dôležité je, že v bimetalickom galvanickom článku koroduje vždy ten kov, ktorý je anóda. Na katóde dochádza k redukcii, teda kov nekoroduje ale prechádza do stavu imunity. Anóda je vždy ten kov z dvojice, ktorý má nižší elektródový potenciál v danom prostredí. [1]



Obr.1 – príklad elektrochemickej korózie [1]

Vodíková korózia vzniká keď sa vodík v oceli viaže s voľným uhlíkom. Vtedy vzniká metán a hromadí sa v miestach svojho vzniku, spôsobuje silné pnutie, pretože už nie je

schopný difundovať. Dochádza k tomu na hraniciach zŕn, kde predtým došlo k precipitácií uhlíku ako napríklad zo zbytkového austenitu vo zvaroch. Zvýšené riziko vzniku vodíkovej korózie je aj v miestach, ktoré boli tepelne ovplyvnené v oblasti zvarov. [1]

2. Zinkovanie

2.1 Ochranné pôsobenie zinku

Zinok má požadovaný dvojaký antikoročný účinok:

- Tvorba krycích vrstiev

Zinok ako kov je nestály a na vzduchu sa rýchlo pokrýva slabou vrstvou oxidu. Je to vrstva oxidu zinku, ktorá sa pôsobením atmosféry ešte ďalej mení a vykazuje antikoročné účinky.

- Katodický ochranný účinok

Pri ponorení dvoch rôznych kovov do elektrolytu (elektricky vodivá kvapalina) vzniká medzi nimi elektrické napätie. Ak sú tieto dva kovy vodivo spojené, preteká nimi elektrický prúd vyvolaný pohybom iónov v elektrolyte. Ióny menej ušľachtileho kovu prechádzajú do elektrolytu a pohybujú sa smerom k ušľachtilejšiemu kovu. Do doby, kým dôjde k spotrebovaniu menej ušľachtileho kovu, zostáva menej ušľachtilejší kov nedotknutý. Napríklad v kombinácii železo-zinok bude menej ušľachtilý kov zinok. Z toho vyplýva, že pri poškodení pozinkovaného ocelového plechu sa pôsobením korózie stráca najskôr zinok, až kým nedôjde ku koróznemu napadnutiu ocele. [2]

2.2 Typy zinkovania, postupy

Najpoužívanejšie zinkovacie postupy:

- Žiarové zinkovanie ponorom do roztaveného zinku
- Elektrolytické (galvanické) zinkovanie
- Sherardovanie (difúzne zinkovanie)
- Mechanické zinkovanie

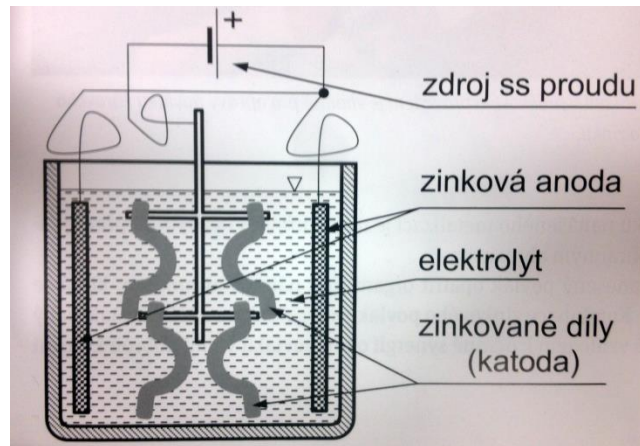
- Zinkovanie žiarovým striekaním (metalizácia)
- Žiarové zinkovanie tenkých plechov

Žiarové zinkovanie ponorom do roztaveného zinku

Diely určené k pozinkovaniu musia byť najskôr chemicky predupravené aby sa dosiahol kovovo čistý povrch, následne sa na ich povrch aktivuje tavidlo a ponoria sa do kúpeľa s roztaveným zinkom. V priebehu ponoru v kúpeli sa na povrchu oceli vytvorí povlak zložený z niekoľkých zliatinových vrstiev. Na vznik povlaku má vplyv difúzia atómov železa, zinku a ich vzájomné väzby. Medzi železom a zinkom prebehne metalurgická reakcia s niekoľkými železo-zinkovými fázami. Hrúbka vrstvy zinku závisí od toho ako dlho boli diely ponorené, na zložení ocele a na teplote kúpeľa. Hrúbka vrstvy zinku býva zvyčajne od 40 do 150 μm . Tento postup zinkovania sa väčšinou vykonáva až po zváraní, pretože pri veľkej hrúbke zinku je zváranie obtiažne. [1]

Elektrolytické (galvanické) zinkovanie

Je to veľmi rozšírený spôsob zinkovania, ktorý spočíva na vylučovaní zinkových povlakov z elektrolytu. V schéme na obrázku č.2 je zinková elektróda (anóda), ktorá je zapojená na kladný pól zdroja jednosmerného napätia. Na záporný pól je zapojený pokovovaný oceľový výrobok, ktorý sa pokladá za katódu a na ktorom vylúčené zinočnaté ióny v elektrolyte vytvárajú vrstvu zinku. Na úspešné vylúčenie povlaku je predošlá chemická a elektrochemická predúprava pre dosiahnutie dokonale čistého kovového povrchu súčasti. Hrúbku vrstvy je možné veľmi presne ovplyvňovať intenzitou elektrického prúdu ale bežne sa pohybuje medzi 10 až 20 μm . Mimo povlakov čistého zinku sa používajú aj zliatinové povlaky (najviac zinok s niklom). Takto upravené oceľové plechy sú veľmi často používané práve pre následné zváranie. [1]



Obr.2 – schéma elektrolytického pokovovania [1]

Sherardovanie (difúzne zinkovanie)

Tento postup spočíva v difúznom nanášaní zinkových povlakov, kde sa drobné súčasti očistené predošlým tryskaním omieľajú v rotačnej peci spolu so zinkovým prachom premiešaným s pieskom. Akonáhle je pec zohriatá na teplotu tavenia zinku, začne dochádzať k difúzií atómov zinku do povrchu oceli a zároveň sa v povrchovej vrstve oceli môže zinok viazať so železom chemickými väzbami. Výhody tohto procesu sú zachovanie geometrie súčasti, vylúčenie rizika vodíkovej krehkosti a relatívne vysoká korózna odolnosť povlaku. Obvyklá hrúbka povlaku sa pohybuje medzi 10 až 45 μm . [1]



Obr.3 – príklad naniesenia zinku na súčast' sherardovaním [1]

Mechanické zinkovanie

Tento proces prebieha v rotačnom ocel'ovom bubne s plastovou výstelkou za teploty prostredia. Súčasti, ktoré majú byť pozinkované museli prejsť predprípravou, to znamená, museli byť odmastené, odmorené a pomedené. Následne sú niekoľko minút omieľané vo vodnom kúpeli so zinkovým prachom, sklenenými guľčkami a vhodným promótorom. Za podpory mechanických rázov od dopadajúcich

sklenených guľičiek dochádza ku spojeniu medzi časticami zinku a materiálom zinkovaných súčasti, na povrchu ktorých ostáva zinok. Po dosiahnutí požadovanej hrúbky povlaku sa súčasť z bubnu vyberie, oddelí sa od sklenených guľičiek, opláchne sa a vysuší sa v odstredivke. Výhoda mechanicky zinkovaných súčasti je, že nehrozí vodíková krehkosť, ani pokles pevnosti ocele v dôsledku jej popúšťania, spôsobeného tepelnými postupmi. Hrúbka povlaku zinku pri mechanickom zinkovaní je do 15 μm a je rovnomerná. Tento postup pozinkovania súčasti je vhodný najmä pre súčasti z kalenej alebo zošľachtilej ocele, napríklad pre pružiny. [1]

Zinkovanie žiarovým striekaním (metalizácia)

Zinok, ktorý je natavený plameňom alebo elektrickým oblukom je nanášaný žiarovým striekaním. Unáša ho prúd plynu na otryskaný povrch metalizovanej súčasti, kde mechanicky zakotví a ostane na povrchu. Na tento spôsob zinkovania sa z protikorózných dôvodov používa čistý zinok, ale na zvýšenie korózne odolnosti sa často používajú aj zliatiny zinku s hliníkom. Hrúbka vrstvy povlaku sa pohybuje medzi 80 až 250 μm . Dobré zakotvenie povlaku nanášaného metalizáciou sa zabezpečí predúpravou povrchu, kde treba povrch otrýskať ostro hranným abrazívom. Po aplikácii zinku dokážeme koróznou odolnosť ešte zvýšiť tým, že nanosený povlak opatríme organickou náterovou hmotou, ktorý sa v jeho profile dobre zakotví. Spolu tieto dva povlaky poskytujú vynikajúcu ochranu proti korózií. [1]



Obr.4 – Metalizačná pištoľ pre žiarové striekanie v práškovom prevedení je vhodná na opravy povlakov žiarového zinku naneseného ponorom do roztaveného zinku [1]

Žiarové zinkovanie tenkých plechov

Výroba žiarovo zinkovaného tenkého plechu vyzerá tak, že plech sa preťahuje horúcim zinkovým kúpeľom s teplotou cca 500° C a stieracími tryskami sa zinok odľukuje na požadovanú hrúbku. Zinkovanie je možné iba obojstranne. Hrúbka vrstvy žiarovo zinkovaného plechu sa udáva v g/m² a najčastejšie zinkované vrstvy majú hrúbku:

- 140g/m²
- 275g/m²
- 450g/m²

Po prepočte na silu vrstvy v závislosti na tabuľkovej hodnote hmotnosti zinku, ktorá je 7,15kg/m³ dostaneme, pre 275g/m² výslednú hrúbku vrstvy 38,46µm. [1]

2.3 Triedy zinkových povlakov

Hrúbka zinkového povlaku sa pri elektrolyticky zinkovaných plechoch udáva v mikrometroch (µm) pre obe strany plechov a dodržiava sa medzinárodná konvencia, že číselne značenie vrstvy sa rovná desaťnásobku hrúbky v mikrometroch (napríklad ZE25/25= hrúbka vrstvy zinku je 2,5µm) na jednej strane plechu. [2]

Elektrolyticky zinkované pásy sú dodávané vo viacerých povlakových triedach.

- Tenký povlak ZE 10/10

Vrstva s hrúbkou 1/1µm poskytuje s iným vhodným povlakom protikoróznú ochranu v niektorých špeciálnych prípadoch.

- Normálny povlak ZE 25/25

Vrstva s hrúbkou 2,5/2,5µm poskytuje spolu s vhodným povlakom dobrú protikoróznú ochranu.

- Zosílené povlaky ZE 50/50 a ZE 75/75

Vrstvy s hrúbkou 5/5 μm a 7,5/7,5 μm poskytujú spolu s vhodným ďalším povlakom dobrú protikoróznú ochranu a v porovnaní s tenkým a normálnym povlakom zosilňujú katodické ochranné pôsobenie na strihacích hranách.

- Jednostranné zinkové povlaky ZE 25/0; 50/0; 75/0 a 100/0

Hrúbky vrstvy: 2,5/0 μm ; 5/0 μm ; 7.5/0 μm a 10/0 μm

- Zinkové povlaky s rozdielnou hrúbkou: ZE 50/25; ZE 75/25; ZE 75/50

3. Zinok a jeho vlastnosti pôsobenia vo zvarovom procese

Teplota tavenia zinku je cca 420° C a vyparovanie nastáva pri 906° C. Teplota oblúku pri MAG zvaraní sa pohybuje medzi cca 3000° až 4000° C. Akonáhle dôjde k zapáleniu oblúku začne sa zinok v jeho okolí vyparovať. Pôsobením zinkových par dochádza k turbulenciám ochrannej atmosféry, môže dôjsť k porušeniu stability horenia elektrického oblúku, zvyšuje sa rozstrek a môže nastať že zvar bude pórovitý. Akceptovateľná hranica hrúbky zinkovej vrstvy s ohľadom na zvárateľnosť plechov sa pohybuje okolo 20 μm . Záleží tu najmä na zváracej polohe a type zvaru.

Okrem toho sú zinkové pary zdraviu škodlivé a musia byť odsávané, z dôvodu, že ich vdychovanie spôsobuje horúčkovitý stav nazývaný „zinková horúčka“, ktorý trvá jeden až dva dni. V tomto prípade je pri zvaraní odsávanie absolútnou nevyhnutnosťou. [3]

3.1 Spôsoby spájania pozinkovaných plechov

Technológia zvarenie vyžaduje pri zvaraní pozinkovaných ocelí isté požiadavky. K tým najdôležitejším patria:

- Nízke tepelné zaťaženie konštrukčných častí z dôvodu deformácií (hlavne pri tenkých plechoch) a zachovanie zinkovej vrstvy
- Vrstva zinku na základnom materiáli nesmie byť porušená, prípadne len miestne s ohľadom na schopnosti katodickej ochrany
- Zvar musí byť dodatočne ochránený proti koróziám

- Vysoká stabilita procesu vzhľadom k robotizovanému spracovaniu a viacmennej prevádzke, napríklad v automobilkách

Týmto požiadavkám vyhovujú len metódy zvárania, ktoré majú nízky energetický vstup a vysokú hustotu výkonu. Na zváranie pozinkovaných plechov sa preto z konvenčných spôsobov najčastejšie používajú metódy MAG zváranie, ktoré je však dnes často nahradzované metódou MIG spájkovanie. [3]

4. MAG zváranie

Pri zváraní pozinkovaných plechov metódou MAG, nízka teplota tavenia zinku negatívne ovplyvňuje proces zvárania. Pri zváraní musí dôjsť k roztaveniu materiálov, ako základného, tak aj prídavného, pričom teplota zvarového kúpeľa je cez 2000° C. Pri týchto podmienkach už pri zapálení oblúku, dochádza k procesu tavenia a odparovania zinku, čo má za následok veľký opal zinkovej vrstvy. Odparovanie zinku a vznikajúce oxidy prispievajú k nestabilnému oblúku, ku vzniku pórov, väd spojenia a tvorbe trhlín. Výpary zinku, ktoré kondenzujú a veľký rozstrek spôsobujú zanášanie zvaracieho horáka. Zinkovými parami je taktiež ovplyvňovaný aj transfer kvapiek kovu prídavného materiálu. Vzniká situácia, kedy z hľadiska stability oblúka potrebujeme čo najnižší tepelný príkon, ale z dôvodu odplynenia tavného kúpeľa zase príkon dostatočne veľký. Pokiaľ berieme do úvahy pevnosť zvarového spoja a neporušenosť protikorózneho ochrany, spájanie klasickým MAG zváraním je veľmi problematické. Poškodenie povlakovej vrstvy zinku v okolí zvaru, bude v každom prípade také veľké, že si vyžaduje opravu (zvyčajne sa oprava rieši zinkovými sprejmi, pretože je to najlacnejší spôsob). Navyše ako nevýhodu tejto metódy, nemožno vynechať negatívne hygienické vplyvy zinkových výparov.[4,5]

Tab. 1: Porovnanie teploty tavenia a teploty varu vybraných materiálov [6]

Materiál	Teplota tavenia [°C]	Teplota varu [°C]
Oceľ	1500	2500
Zinok	419	908
Meď	1083	2590
Hliník	660	2450
CuSi3	950	-
CuAl8	1035	-

4.1 Základný princíp metódy

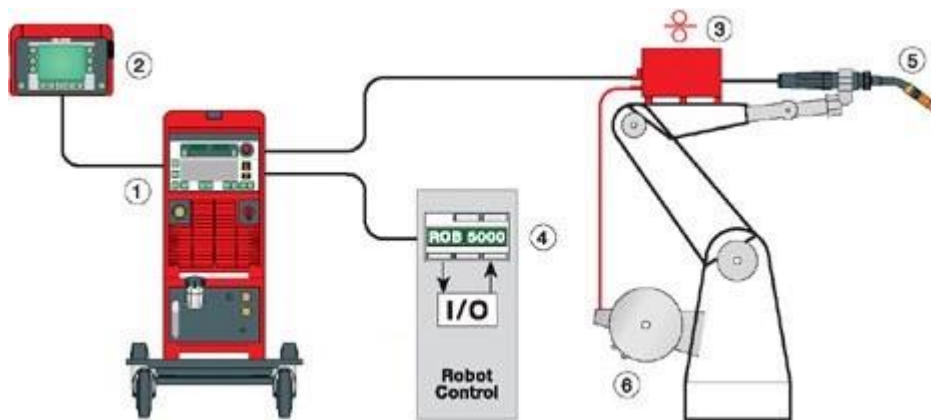
Pri MAG zvaraní horí elektrický oblúk medzi vinutou drôtovou elektródou a základným materiálom. Elektróda sa k základnému materiálu privádza ako prídavný materiál zvarania pomocou posuvného zariadenia a taví sa v roztavený kov. Ochranný plyn prúdi okolo elektródy a chráni elektrický oblúk pred atmosférickými vplyvmi. MAG zvaranie sa vyznačuje vysokou bezpečnosťou procesu a dobrou výkonnosťou odtavovania. [6]

Podľa normy ČSN EN ISO 4063 sa táto metóda značí:

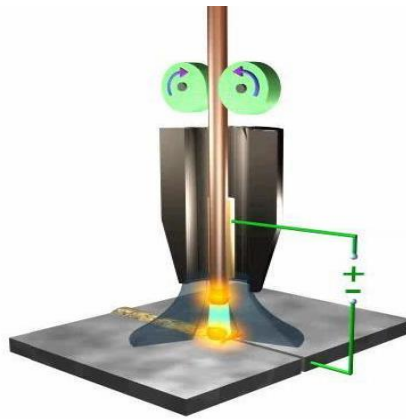
135 – MAG (európska skratka) – **M**etal **A**ctive **G**as Welding

135 – GMAW (americká skratka) – **G**as **M**etal **A**rc Welding

Zvaranie MAG je poloautomatické zvaranie v ochrannej atmosfére aktívneho plynu. Za poloautomatické sa považuje vďaka automatickému podávaniu drôtu. Táto metóda je vhodná najmä na zvaranie ocele. Často sa používa aj viaczložková zmes plynu na báze argónu. Takéto zmesi sa používajú pre špeciálne účely, ako je zvaranie pozinkovaného oceľového plechu. [7,8]



Obr.5 – Schéma zapojenia zvaracieho systému pre metódu MAG zvaranie: 1 - zvarací zdroj, 2 – PC pre zaznamenávanie dát, 3 - systém podávania drôtu ZM, 4 - diaľkové ovládanie robota, 5 - zvarací horák, 6 – prídavný materiál [9]



Obr.6 – Schéma procesu zvarovania MAG [4]

4.2 Ochranné plyny

Pri zvarovaní metódou MAG sa ako ochranné plyny najčastejšie používajú zmesné plyny, používa sa však aj CO_2 , ktorý je jediný aktívny plyn použiteľný samostatne. Je obľúbený hlavne vďaka dobrej dostupnosti a nízkej cene. Jeho nevýhodou je tvorba oxidov a karbidov, ktoré nepriaznivo ovplyvňujú mechanické vlastnosti zvarov. Navyše je použiteľný iba pre úzky rozsah optimálnych zvarovacích parametrov, spôsobuje veľký rozstrek, ktorého následkom je horší povrch zvarovej húsenice. Taktiež za jeho použitia nie je možné zvarať v sprchovom režime, kvôli veľkému povrchovému napätiu. Vhodný je najmä pre nelegované a nízko legované ocele. Pre zvarovanie tenkých pozinkovaných plechov, je však vhodná zmes oxidu uhličitého s argónom s cieľom dosiahnuť čo najkvalitnejší zvar. Podiel CO_2 v tejto zmesi by nemal byť väčší ako 25%, pretože zmes by sa chovala ako čistý CO_2 . Vhodný je taktiež na zvarovanie nelegovanej a nízko legovanej ocele. [10]

4.3 Prídavné materiály

Ako prídavný materiál sa najčastejšie používajú oceľové drôty, ktoré majú kvôli rafinácií a dezoxidácií prídavok Si alebo Mn. Vhodným príkladom je drôt G_2Si_1 a drôt G_3Si_1 . Typické chemické zloženie drôtu G_3Si_1 je 0,09% C, 0,9 % Si a 1,5% Mn. [11]

5. MIG spájkovanie

Táto metóda spájania pozinkovaných plechov sa v automobilovom priemysle používa už od 70. rokov minulého storočia. Základný princíp metódy je odvodený (v podstate sa nelíši) od metódy zvarovania MAG. Hlavný rozdiel oproti MAG zvarovaniu je v použití tvrdých vysokoteplotných pájok, zvyčajne bronzových drôtov ako prídavného

materiálu, kde zdrojom tepla potrebného pre natavenie pájky je elektrický oblúk produkovaný bežným MIG/MAG zvaracím zdrojom, ktoré majú oveľa nižšiu teplotu tavenia než oceľové zvaracie drôty. Ďalším rozdielom je podstatne nižšia teplota tavného kúpeľa, ktorá sa pohybuje medzi 900° až 1000° C (preto nedochádza k nataveniu základného materiálu). V ideálnom prípade sa natavuje iba spájkovací drôt bez základného materiálu, teda sa dá povedať, že spojenie zodpovedá typickému spájkovanému spoju. Dôsledkom nízkej teploty tavenia použitej pájky sa zinková vrstva nataví a odparuje sa iba nepatrne, takže ostáva do značnej miery nenarušená. V tomto prípade ostane bez zinkovej ochrany iba tenká medzera medzi bronzovou húsenicou a neporušeným základným materiálom. Tá je chránená vďaka schopnosti katodickej ochrane zinku. Kvalita spojov (na auto karosériách) je najviac hodnotená na základe:

- Výskytu rozstrekú v okolí miesta spoja
- Rozsahu tepelne ovplyvnenej oblasti s narušenou ochrannou zinkovou vrstvou
- Pevnosťou spoja

Rozstrekom sa rozumie únik prídavného materiálu pri prechode oblúkom do priestoru mimo zvarového kúpeľa. Vyjadruje ho koeficient rozstrekú, čo je percentuálne vyjadrenie úbytku prídavného materiálu podľa rovnice:

$$\delta = \frac{\Delta m}{m} \cdot 100 \quad [\%], \quad (1)$$

kde Δm je úbytok prídavného materiálu (g) a m je spotrebovaný prídavný materiál (g).

Výskyt rozstrekú je potrebné minimalizovať nie len z estetického hľadiska (vonkajšie spoje na auto karosérii) a z hľadiska zníženia využiteľnosti prídavného materiálu, ale aj z dôvodu problémov ktoré môžu nastať pri následnej povrchovej úprave (možné vypočítať podľa vzťahu (1)). Pri nevhodne nastavených parametroch MIG spájkovania pozinkovaných plechov môže dôjsť vplyvom prehriatia základného materiálu k nežiaducim deformáciám a k rozrušeniu zinkovej povlakovej vrstvy v tepelne ovplyvnenej oblasti spoja. Pri odparení povlaku so šírkou väčšou ako 1,5 až 2 mm (maximálna šírka pre účinnosť katódovej ochrany zinku na oceľovom plechu) dôjde k narušeniu kontinuity korozivzdornosti v tepelne ovplyvnenej oblasti spoja, čím sa stráca podstatná výhoda MIG spájkovania pozinkovaných plechov drôtom CuSi3. Po ekonomickej stránke MIG spájkovanie potom stratí zmysel, pretože náklady na prídavný materiál sú vyššie. [7,12]

Množstvo vneseného tepla do základného materiálu, je možné vypočítať podľa vzťahu:

$$Q = \frac{U \cdot I}{v_{ZV}} \cdot \mu \quad (\text{J} \cdot \text{mm}^{-1}), \quad (2)$$

kde U je napätie na oblúku (V), I je zvarací prúd (A), v_{ZV} je rýchlosť zvarovania (mm^{-1}) a μ je účinnosť metódy prenosu tepla. [12]

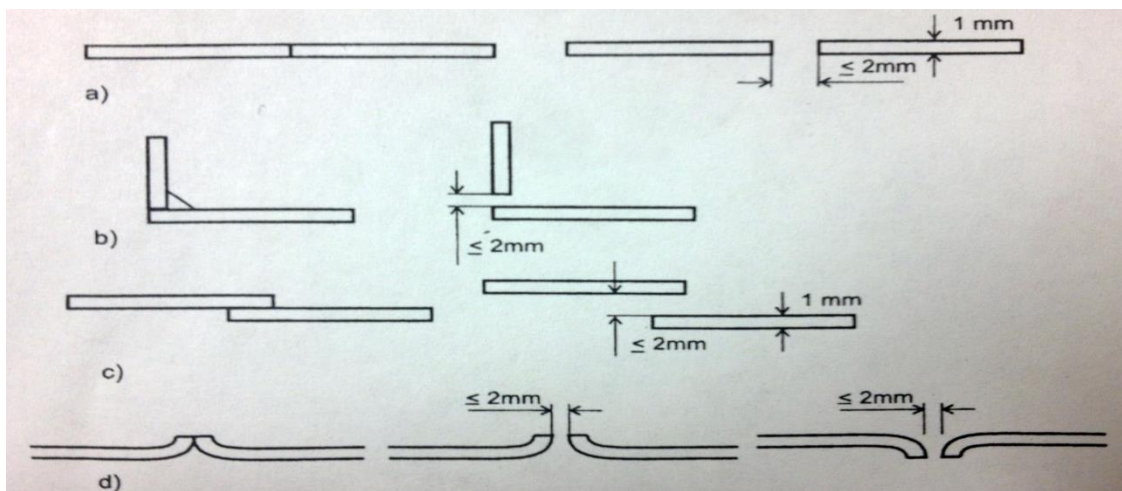
Táto účinnosť sa optimalizuje úpravou napätia, prúdu a rýchlosti pohybu horáka. Pri nemennom nastavení elektrických parametrov bude minimálna rýchlosť pri MIG spájkovaní obmedzená maximálnym prehriatím s následkom, čo najmenšieho porušenia zinkovej vrstvy v tepelne ovplyvnenej oblasti materiálu. Maximálna rýchlosť bude limitovaná dostatočným ohrevom na spájkovacia teplotu, rozmermi a kvalitou nanesej húsenice (rovnomerná šírka a výška, dobrá zmáčavosť základného materiálu spájkou, vyplnenie medzery medzi plechmi, výskyt trhlín, pórov). [12]

5.1 Pevnosť spájkovaného spoja

Pevnostné vlastnosti pri silovom namáhaní sú všeobecne ovplyvnené konštrukciou a rozmermi spoja, technológiou spájkovania a vlastnosťami základného materiálu a spájky. MIG spájkovanie sa používa na spájanie plechov do hrúbky 3 mm. Táto technológia je vhodná pre všetky základné typy spojov, ako sú tupý, kútový, preplátovaný alebo lemový. Špeciálnu pozornosť treba venovať správnej medzere medzi plechmi. Malá medzera pri tupých spojoch môže viesť k nežiaducemu nataveniu základného materiálu a tým k zmene vlastnosti spoja. Na druhej strane veľká vzdialenosť spájaných plechov spôsobuje nedostatočné prehriatie základného materiálu v mieste spoja, čo má za následok zlé zmáčanie základného materiálu spájkou a veľké prevýšenie alebo prepadnutie koreňa spoja. Pri najčastejšie používaných preplátovaných spojoch je potrebné dobré zatečenie spájky medzi plechmi. Na pevnosť spoja má pozitívny vplyv široká kontaktná plocha vyplnená spájkou. Spájkovanie MIG musí spĺňať aj iné vlastnosti ako len maximálnu pevnosť spoja. Nanajvýš pri spájkovaní pozinkovaných plechov, kde chceme vylúčiť možnosť poškodenia pokovenej ochrannej vrstvy. Vo všeobecnosti sú pevnostné vlastnosti spájkovaného spoja postačujúce, dokonca môžu mať vyššiu pevnosť ako zvarané spoje, pokiaľ sa vytvorí kapilárny spoj s väčšou plochou. Keďže pevnosť spájky SG CuSi_3 je 360 MPa a MIG spájkovanie je väčšinou nánosové, tvar spoja treba z pevnostného hľadiska navrhnuť tak aby bol optimálny. [12,13]

5.2 Příprava spájkovaného spoja

V procese MIG spájkovania dochádza k nepatrnému vyparovaniu zinku, ktorého reakciou je vznik pórov vo zvaru. Pri preplátovanom spoji, kde ležia plechy bez špáry priamo na sebe, majú pary možnosť uniknúť jedine cez tavný kúpeľ, ktorá pokiaľ stuhne a pary ostanú vo vnútri, v spoji sa vytvoria póry. Tvorba pórov sa dá znížiť alebo celkom zamedziť tým, že sa zámerné vytvorí odplyňovacia špára. Táto technológia platí samozrejme pre viacero typov spojov. Najvýhodnejší typ spoja, ako z hľadiska zvárania, tak aj z hľadiska pevnosti je spoj preplátovaný.



Obr.7 – Vhodné typy spojov pre MIG spájkovanie s odporúčanými rozmermi medzery medzi plechmi: a) tupý, b) kútový, c) preplátovaný, d) lemový [12]

5.3 Faktory ovplyvňujúce kvalitu zvaru pri MIG spájkovaní

Kvalita spájkovaných spojov pri tenkej vrstve zinku (maximálne 20 μm) závisí najviac na týchto technologických faktoroch:

- Nastavený výkon zváracieho zdroja (ovplyvnené parametre procesu - I, U, v)
- Vzdialenosť kontaktnej trubice
- Vedenie horáku
- Poloha spájkovania

5.4 Nastavený výkon zváracieho zdroja

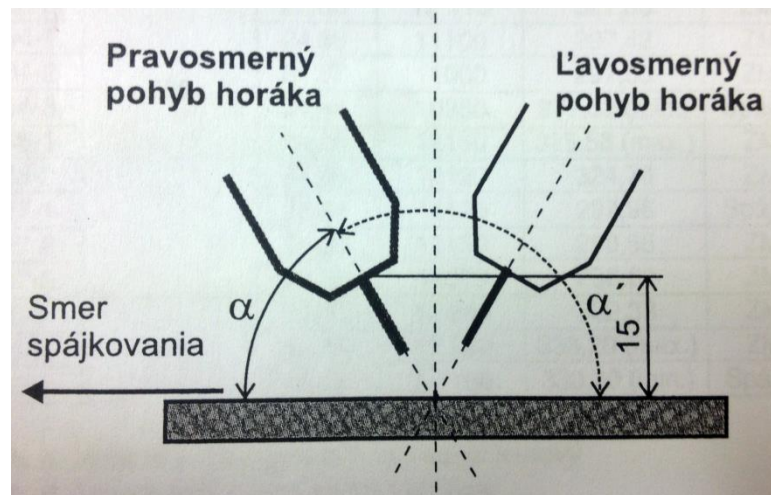
Vhodný výkon na MIG spájkovanie je treba voliť opatrne, pretože pri vysokom výkone u pozinkovaných plechoch sa môžu plechy ľahko prepáliť. Tepelné zaťaženie je možné znížiť vyššou pracovnou rýchlosťou ale značne sa zvýši rozstrek a pórovitosť zvaru. Je

preto treba voliť nižší výkon, akým by sa plechy zvárali, keby sú nepovlakované. Pokiaľ za použitia bronzových drôtov nastaví príliš veľký výkon, dôjde k nataveniu základného materiálu a meď môže preniknúť až na hranice kryštálov. [14]

5.5 Vzdialenosť kontaktnej trubice

Táto vzdialenosť by nemala byť väčšia ako 20 mm. Za tohto predpokladu bude dosiahnuté:

- Lepšie zapaľovanie
- Stabilnejší oblúk
- Zlepšenie ochrany plynovým zvonom
- Znížený rozstrek
- Rovnomernejšia kresba spoja

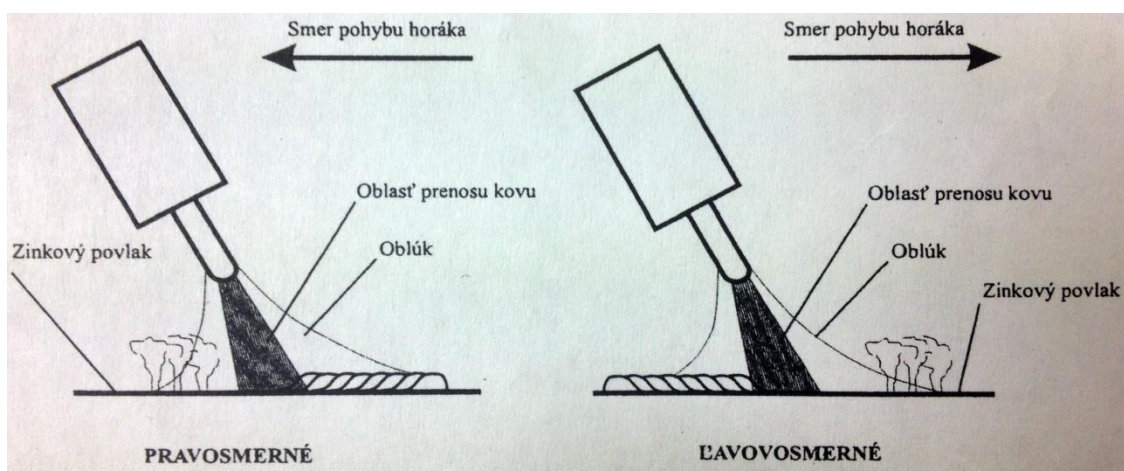


Obr.8 – Geometria vedenia horáka: pravosmerný $0 < \alpha < 90^\circ$, ľavosmerný $90 < \alpha < 180^\circ$ [14]

5.6 Vedenie horáka

Pre nasmerovanie oblúku na tavný kúpeľ, nie na zinkovú vrstvu, by mal horák zaujímať ľahko tlačенú polohu (pohyb horáku sprava doľava – tzv. spôsob „zvárania dopredu“). Dôležité je aj konštantné dodržiavanie výletu drôtu. Spájkovanie „dopredu“ je výhodnejšie z hľadiska formovania šva (je plochší), nižšieho prechodu tepla do základného materiálu a menšieho odparovania zinku, čo má pozitívny vplyv na prenos kovu, na znižovanie rozstrek a odparovania zinku zo zadnej strany spoja. Vplyvom intenzívneho odparovania zinku, často dochádza k vyosenému horeniu (odfúknutiu oblúka). Tento jav je možné potlačiť nastavením krátkeho oblúka, to znamená 2 až 3

mm a v určitej miere aj zmenou polohy a smeru pohybu horáka. Pri pravosmernom vedení zasiahne oblúk iba vrstvu zinku, ktorá je blízko oblasti prenosu kovu. Na odparenie zinku tak ostáva iba krátky čas. Pri zvýšení rýchlosti zvárania dochádza k odparovaniu zinku priamo cez oblasť prenosu kovu. Tieto výpary môžu prenos kovu negatívne ovplyvniť (väčší rozstrek kovu do okolia spoja), alebo ho aj celkom znemožniť. Na druhej strane pri ľavosmernom vedení horáka dochádza k odpareniu zinkového povlaku ďaleko pred zónou prenosu kovu, čo umožňuje zväť vyššími rýchlosťami. Nevýhodou však je že materiál sa viac prehrieva ako pri pravosmernom vedení. [14]



Obr.9 – Schéma zvárania pozinkovaného plechu pri rôznych smeroch vedenia horáka [14]

5.7 Poloha

Zváranie MIG spájkovaním je možné praktizovať vo všetkých polohách, ktoré vychádzajú z normy ČSN EN ISO 6947. Z dôvodu veľkého tepelného zaťaženia, by sa však malo vyhýbať práci v polohe PF. Najviac osvedčené polohy sú polohy základné PA, PB a poloha PG. [14]

5.8 Prenos kovu

Najväčší vplyv na prenos kovu do spoja má rozstrek, pretože znehodnocuje povrch a okolie spoja. Rozstrek je dominantný faktor procesu MIG spájkovania, pretože rozstrek spájky na pozinkovanom materiáli sa dá odstrániť jedine brúsením, pri ktorom sa naruší zinkové pokrytie v okolí spoja.

Dosiahnutie kvalitného povrchu je možné použitím krátkeho oblúka. Vyžaduje si to však dôsledné dodržiavanie technologickej disciplíny, predovšetkým dodržanie

konštantnej vzdialenosti hubice od spájaného materiálu (odporúča sa zhruba 10 mm). Nepresnosti vo vedení horáka pozdĺž spoja spôsobia zvýšenie rozstreku. Svoj podiel na tom má aj charakteristika zvaracieho zdroja a dokonalé podávanie drôtu. Najlepší výsledok pri tejto technike v spájkovaní sa dosiahne v polohe PG. [14]

Prenos kovu je možné zlepšiť aj použitím programovateľného zdroja a pulzného prúdu. Pri zvaraní alebo spájkovaní pozinkovaných plechov, je veľkou výhodou pokiaľ zvarací zdroj umožňuje strmý nárast pulzného prúdu, pretože za jeho použitia možno nastaviť individuálne podľa hrúbky zinkovej vrstvy a priemeru drôtu prídavného materiálu, nastaviť prenos „jedna kvapka na pulz“. Na správne fungovanie pulzného režimu musia byť splnené dve podmienky:

- Sila na odtrhnutie kvapky musí byť dostatočná, aby odtrhla kvapku v správnom časovom okamihu pulzu
- Prúd musí zabezpečiť natavenie takého množstva prídavného materiálu, aby dĺžka oblúku zostala konštantná

Na splnenie týchto dvoch podmienok používajú výrobcovia rôzne spôsoby riadenia prúdu a napätia. Napríklad firma ESAB používa takzvanú CC charakteristiku (prúdová regulácia), ktorá pozostáva z riadenia pulzov a samoregulácie napäťovej charakteristiky zdroja. Napätie oblúka je merané vždy na konci pulzu. Ak je oblúk príliš krátky (nízke napätie oblúka), frekvencia pulzov sa zvýši. To však skráti trvanie bazálneho prúdu s následkom nedostatku energie na natavenie ďalej kvapky a preto sa musí zvýšiť hodnota bazálneho prúdu. [14]

5.9 Ochranné plyny pri MIG spájkovaní

Účel ochrannej atmosféry pri technológií MIG spájkovanie je rovnaký ako u MIG/MAG zvarania. Najdôležitejšie sú tieto kritéria, ktoré ovplyvňujú použité plyny:

- Stabilizácia elektrického oblúku
- Optimalizácia zmáčavosti spájky
- Vlastnosti prenosu prídavného materiálu
- Riadenie príkonu tepelnej energie do procesu

Pri MIG spájkovaní sa najčastejšie používa ako ochranný plyn čistý argón, pretože zabezpečuje relatívnu stabilitu oblúku a dobrú charakteristiku zmáčania. Jeho ďalšia výhoda je nízky prepal legúr a dobré ochranné vlastnosti. [15,8]

Aktívne prímеси v argóne, ako sú kyslík alebo oxid uhličitý, majú rovnako ako pri zváraní, pozitívny vplyv na stabilitu oblúku a výkon odtavenia (pokiaľ sú v malom množstve a nemajú tak metalurgický účinok). Oblúk vďaka nim horí stabilnejšie a kludnejšie, odtavovací výkon, teplota a tekutosť kúpeľa rastú a rozstrek je v porovnaní s čistým argónom menší. Aktívne prímеси v argóne spôsobujú nasledovné:

- Argón + malý podiel kyslíku alebo oxidu uhličitého = stabilnejší oblúk
- Argón + malý podiel kyslíku = nižšia viskozita tavného kúpeľa
- Argón + malý podiel oxidu uhličitého = menšia tvorba pórov

Ďalej sa používajú aj ochranné plyny zo skupín M12 a M13 (ČSN EN ISO 14175), ktorých obsah kyslíku alebo oxidu uhličitého je do 3%. Menej časté je používanie štandardných zmesí plynov zo skupiny M21, kde sa v argóne nachádza 5-25% oxidu uhličitého. Podľa tabuľky 2, ktorá popisuje vplyv zloženia ochrannej atmosféry na proces spájkovania, môžeme zistiť ideálne zloženie ochrannej zmesi. [11]

Tabuľka 2: Vplyv plynov ochrannej atmosféry na jednotlivé vlastnosti procesu (+...pozitívne, -...negatívne, 0...nemá vplyv) [11]

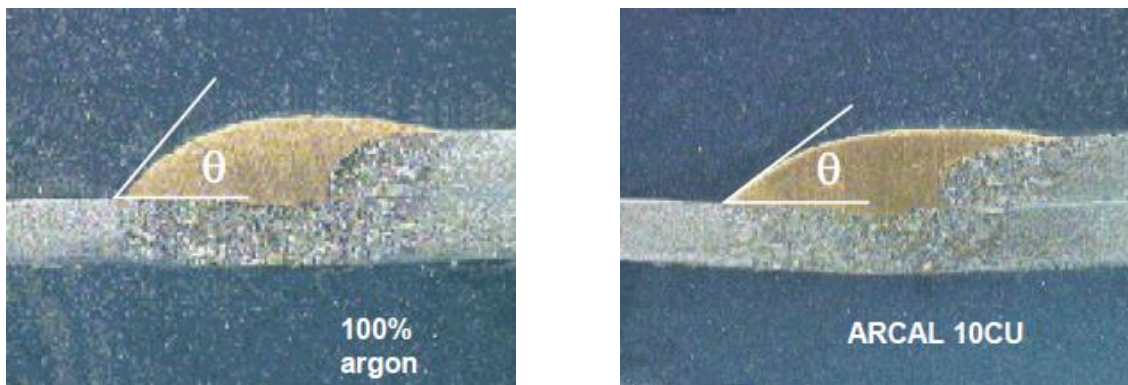
Plyn	Stabilita oblúku	Zmáčavosť	Tvorba oxidov	Tvorba pórov	Hĺbka závaru
Ar	+	0	+	0	0
CO ₂	+++	-	-	+	+
O	+++	-	--	-	-
H	++	++	+	-	0
He	0	++	+	+	--
N	+	0	+	0	0

Pre technológiu MIG spájkovanie pozinkovaných plechov sa používa aj ochranná atmosféra trojprvkovej zmesi plynov napr. ARCAL 10CU, ktorá bola vyvinutá spoločnosťou Air Liquide. Táto zmes obsahuje mimo základného prvku, ktorým je argón aj prídavok vodíku a oxidu uhličitého. Obsah vodíku vo výške 1% redukuje

tvorbu pórov v spoji a zbavuje tavný kúpeľ oxidov. Oxid uhličitý je tu v obsahu 0,5%, čo spôsobuje stabilizáciu oblúku, zníženie rozstreku, lepšiu energetickú bilanciu procesu a obmedzuje pórovitosť. Vzhľadom na tieto vlastnosti je CO₂ v porovnaní s O₂ výhodnejší. [11]

Čo sa týka prídavného materiálu pre ochranné atmosféry ARCAL 10CU, za vhodné sa pokladajú štandardné pájky CuSi₃ a CuAl₈ v skratovom aj impulznom procese. Za dôležitú sa pokladá úroveň zmiešania prídavného materiálu so základným materiálom. [11]

Vplyv ochranného plynu sa dá posúdiť jednoducho, na základe makrovýbrusu spoja, kde malý uhol zmáčania θ má pozitívny vplyv na zabiehavosť spájky a vonkajší tvar húsenice zvyšuje dynamickú pevnosť spoja. [11]



Obr.10 - Makrovýbrusy spojov, hrúbka materiálu 1,5 mm, hrúbka povlaku zinku 10 μ m, prídavný materiál CuAl₈ [11]

V prípadoch, kedy ťažké dosiahnuť stabilný proces s nízkym rozstrekom, napríklad pri zamastení základného materiálu v priebehu predchádzajúcej operácie, pri premenlivej hrúbke zinkového povlaku, v prípade špeciálnych požiadavok na homogenitu spoja alebo pri požiadavku na vysokú rýchlosť zvarovania je vhodné použiť ochrannú atmosféru ARCAL 10CU. Vhodnosť použitia tejto atmosféry je ale v každom prípade vhodné overiť a vyskúšať v zariadení daného pracoviska pri tamojších technologických podmienkach. Za použitia bežného dvojzložkového plynu na báze argón-kyslík (99% argón a 1% kyslík) sa dosahuje dobrá stabilita oblúku a zmáčavosť, problém však nastáva kvôli deformáciám plechu z dôvodu vyššieho tepelného príkonu a vyššiemu množstvu odpareného zinku. Ďalšou jeho nevýhodou je vznik oxidov medi Cu₂O, ktoré sa vylučujú na hraniciach zrn a pri ďalšom spracovaní plechu lisovaním môžu vyvolať vznik trhlín. Tento problém sa rieši dezoxidáciou medi kremíkom, ktorý obsahuje

spájka. Kremík je účinný dezoxidant, takže pravdepodobnosť skrehnutia spoja je veľmi nízka. Za nevýhodu použitia kremíka v spájke sa dá považovať tmavo sfarbený povrch spoja. [11]

5.10 Prídavné materiály

Pájky sú vyrábané zo zliatin na bázy medi, s rôznymi legujúcimi prvkami, ako sú napríklad kremík (Si), hliník (Al), cín (Sn), zinok (Zn) a mangán (Mn). Bronzové prídavné materiály majú kvôli vysokému obsahu medi teplotu tavenia v rozmedzí 890° C až 1080° C, čo sa dá považovať za relatívne nízku, vzhľadom na to, že je nižšia ako je teplota tavenia samotného základného materiálu (nelegovaná oceľ). [2]

Najbežnejšie sa používajú drôty na báze medi s obsahom kremíku (CuSi_3) alebo hliníku (CuAl_8). K výhodám, ktoré prináša použitie prídavného materiálu na báze medi patrí:

- Protikorózna ochrana zvarovej húsenice
- Nízky rozstrek
- Malý opal zinkovej vrstvy
- Minimálne množstvo vstupného tepla, čo spôsobuje malé deformácie
- Nenáročné následné opracovanie spoja
- Minimálna korózia v mieste odparenia zinkovej vrstvy spôsobená katodickou ochranou

Tabuľka 3: MIG spájkovanie - typy prídavných materiálov a hodnoty ich nominálnych mechanických vlastností [2]

Označenie	Teplota tavenia [°C]	Hranica sklzu RP0,2 [MPa]	Hranica pevnosti Rm [MPa]	Ťažnosť A5 [%]
SG-CuSi ₃	910-1025	250	380	46
L-CuSi ₂ Mn	1030-1060	>80	290-340	45
SG-CuSn ₁₀ SiMn	887-1020	240	>350	15
SG-CuSn	1020-1050	230	>340	25
SG-CuAl ₈	1030-1040	180	380-450	40
SG-CuAl ₈ Ni ₂	1030-1050	290	530-590	>30
SG-CuAl ₈ Ni ₆	1015-1045	400	>700	15
SG-CuAl ₅ Mn ₁ Ni ₁	1043-1074		430	35
SG-CuMn ₁₃ Al ₇	945-985	400	650	10

Najpoužívanejšie z uvedených pájok, sú pájka CuSi_3 a CuAl_8 . Pájka CuSi_3 má v porovnaní s pájkou CuAl_8 lepšiu zabiehavosť, húsenica býva širšia a tavný kúpeľ tekutejší. Spojované diely sú menej tepelne namáhané, vzhľadom k nižšiemu rozsahu teplôt tavenia a elektrickej vodivosti. Nevýhodou pri CuSi_3 je, že má väčšiu náchylnosť na tvorbu pórov. [2]

V automobilovom priemysle sa na MIG spájkovanie pozinkovaných plechov používa spájka na báze medi, ktorá obsahuje 3% kremíka a 1% mangánu. Teplota tavenia sa pohybuje medzi 910 až 1025°C (firma ESAB pre ňu používa označenie OK Autorod 19.30 – DIN 1733: SG CuSi_3). Počas procesu MIG spájkovania zostáva roztavený zinok (teplota tavenia Zinku je 420°C) na povrchu oceľového plechu a spolu s prídavným materiálom vytvára mosadznú spájku. V závislosti od vzdialenosti od spájkovacieho kúpeľa sa mení obsah zinku v mosadzi. Najvyšší podiel zinku je však vždy na hranici medzi spájkovaným spojom a plechom. Zároveň treba dodržiavať čo najmenší tepelný príkon, aby sa vylúčilo nadmerné odparovanie zinku, pretože by to ovplyvnilo rozstrek a kvalitu spájkovaného spoja. [15,13]

6. Experiment

6.1 Popis použitých materiálov

Plech, ktorý bol použitý na experiment a z ktorého boli nastrihané vzorky pre porovnanie MAG zvarovania a MIG spájkovania bol dodaný firmou Škoda Auto a.s. a používa sa na výrobu karosérií pre vozidlo Škoda Octavia. Presné označenie oceli, z ktorej je vyrobený je HX 180BD Z100 MCO. Bližšiu špecifikáciu materiálu udáva norma ČSN EN 10346. Jedná sa o plech z ocele s vyššou medzou sklzu, kontinuálne žiarovo pokovený pre tvarovanie za studena.

Tab.4 – popis chemického zloženia ZM

HX 180BD Z100 MCO	C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	Ti
Max. podiel prvkov [%]	0,1	0,5	0,7	0,06	0,025	0,1	0,09	0,12

Mechanické vlastnosti udáva označenie materiálu:

H – plochý výrobok tvarovaný za studena s vyššou medzou sklzu

X – spôsob valcovania nie je predpísaný (za tepla alebo za studena)

180 – minimálna zmluvná medza sklzu 180 MPa

B – oceľ, ktorá vyžaduje zvýšenie zmluvnej medze sklzu po ohreve v oblasti nad 170°C po dobu 20 min

D – určené k žiarovému povlakovaniu ponorom

Z – žiarovo zinkované

100 – označenie povlaku

M – malý zinkový kvet

C – povrch najlepšej akosti

O – olejovanie

Pri metóde MAG zváranie bol ako prídavný materiál použitý drôt od firmy Esab o priemere 0,8 mm s označením OK autorod 12.56 (G_3Si_1). Zváralo sa v ochrannej atmosfére plynu so zložením 82% Ar + 18% CO_2 .

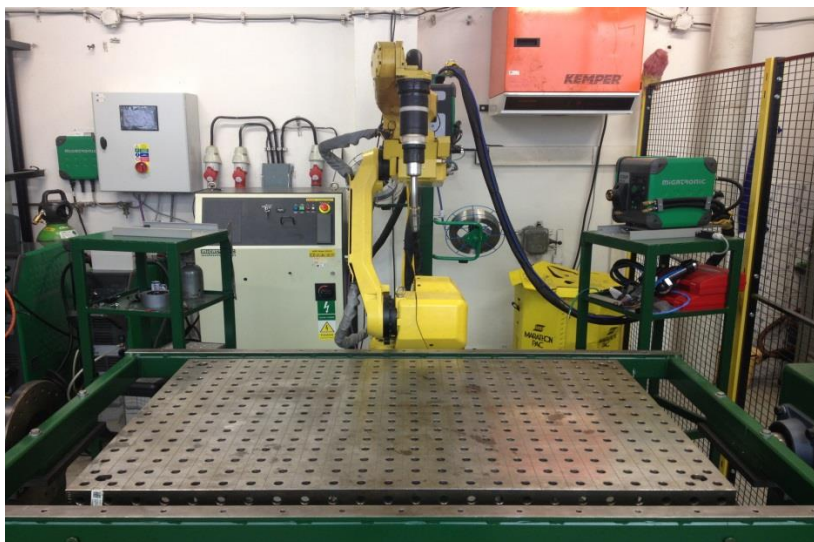
Spájkovanie MIG prebiehalo za ochrannej atmosféry čistého argónu. Ako prídavný materiál bol použitý drôt od firmy ESAB o priemere 1 mm s označením OK Autorod 19.30 ($CuSi_3Mn_1$).

6.2 Návrh experimentu

Pre experiment boli navrhnuté dva typy základných zvarov, a to preplátovaný a kútový. Pôvodný plech, z ktorého boli nastrihané vzorky na zváranie mal rozmery 300x400 mm a hrúbka 0,8 mm. Vzorky, ktoré boli použité pre preplátovaný zvar, boli nastrihané mechanickým nožom so závažím na tvar obdĺžniku s rozmermi 110x120 mm. Vzorky použité pre kútový zvar, boli taktiež v tvare obdĺžniku s rozmermi 150x60 mm. Pre MAG zváranie boli vytvorené tri vzorky pre preplátovaný zvar a tri pre kútový. Pri MIG spájkovaní bol použitý rovnaký systém, čo dalo spolu 12 vzoriek. Nastavené parametre zváracieho zdroja, boli pri každej vzorke iné ale menili sa systematicky.

6.3 Popis experimentálneho pracoviska

Aby sa predišlo chýbam, ktoré by mohol zapríčiniť ľudský faktor, experiment bol vykonaný na zváracom robotovi FANUC ArcMate 100iC. Pred začatím zvárania bolo vždy potrebné nastaviť správnu polohu výletu drôtu voči zváranému miestu. Opakovane boli označené začiatkový a konečný bod zvaru v 3D priestore, ktoré robot prešiel po priamke a zvaril ich.



Obr.11 – pohľad na zváracieho robota

Ako zvárací zdroj bolo použité zariadenie Migatronica Sigma Galaxy 400.



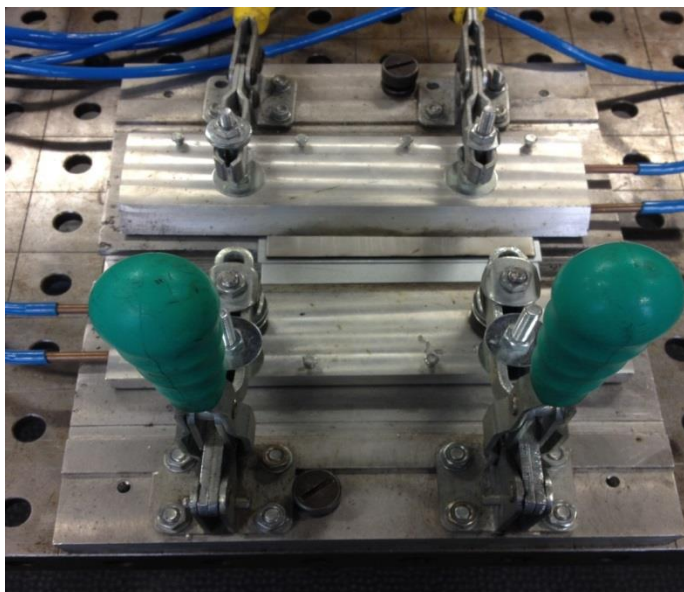
Obr.12 – použitý zvárací zdroj

Všetky zvaracie parametre boli zaznamenávané a popisované ručne ale aj na PC s meracím zariadením W.I.S. od firmy Tesydo. Vďaka tomuto zariadeniu bolo možné vylad'ovať zvaracie parametre aby sa dosiahol čo najkvalitnejší zvar. Výstup zo zariadenia boli presné grafy priebehu I a U. Toto zariadenie bolo pripojené k PC a ku zvaraciemu zdroju.



Obr.13 – pohľad na meracie zariadenie W.I.S.

Vzorky boli upnuté do prípravku, ktorý bol pripevnený k pracovnému stolu. Nastavenie prípravku bolo menené v závislosti na type vykonávaného zvaru.

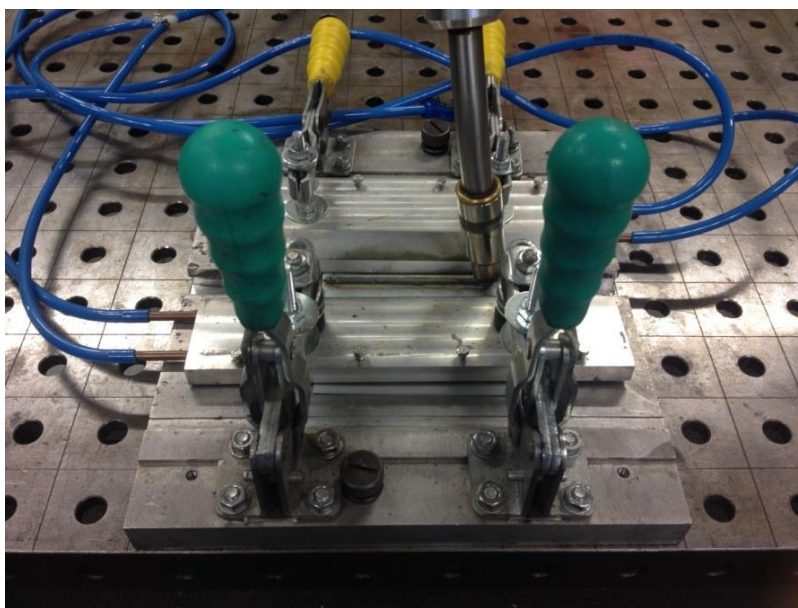


Obr.14 – prípravok na upnutie vzorkov

6.4 Systém upnutia do prípravku

Preplátovaný spoj

Pri preplátovanom spoji boli vzorky upnuté do prípravku v ktorom sa oba plechy k sebe pevne zovreli svorkami a miesto kde sa zvárali bolo vo vzduchu. Prekrytie bolo asi 15 mm a rozmery spájaných plechov boli spomenuté v kapitole „Návrh experimentu“.



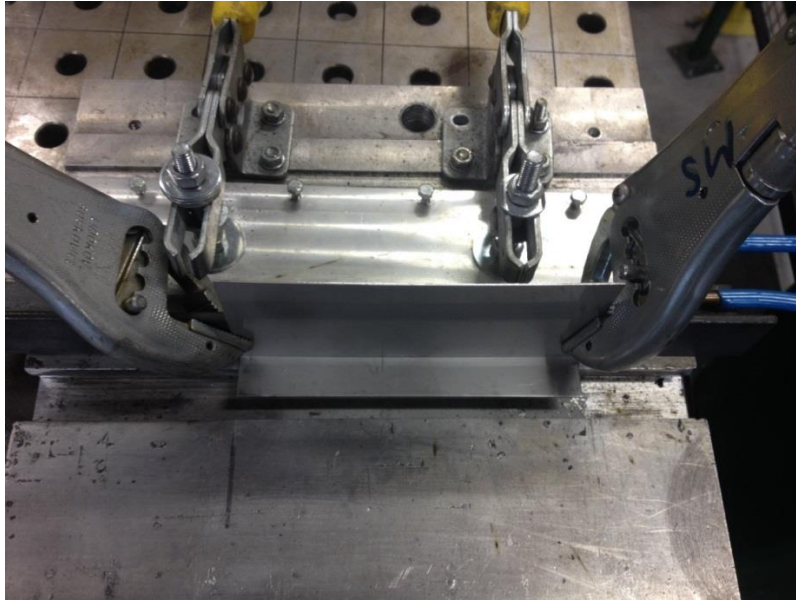
Obr.15 - Záber na systém upnutia vzorky do prípravku pri preplátovanom zware.



Obr.16 - Detailný záber na systém upnutia – preplátovaný zvar, vidno tepelnú deformáciu, ktorá vznikla pri MAG zváraní.

Kútový spoj

Aby bola dosiahnutá presná poloha oboch plechov a uhol 90° , spodný plech bol vodorovne položený na prípravku, zaťažený profilom „L“ a následne bol tento profil ešte upnutý k prípravku svorkami. O zvislú časť „L“ profilu bol opretý druhý plech a ten bol následne k profilu upnutý kliešťami, čím sa dosiahlo zaistenie tejto polohy.



Obr.17 – detailný záber na systém upnutia do prípravku pri kútovom spoji

7. Vyhodnotenie skúšobných vzoriek

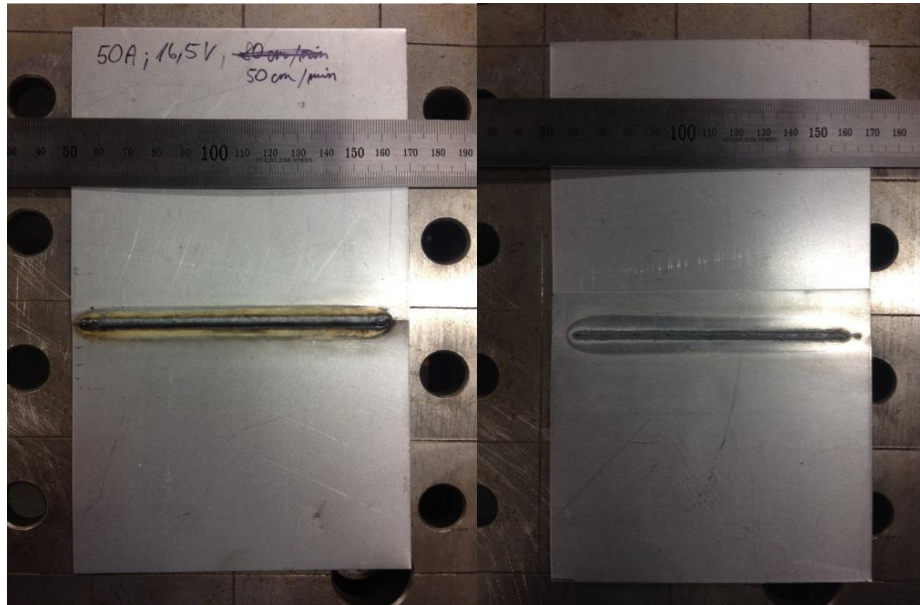
Vzorky zvarov, ktoré boli pre experiment vyhotovené, sa posudzovali podľa viacerých hľadísk. Po estetickú stránku je dôležité kvalitu zvarov vyhodnotiť vizuálne, čo bolo možné hneď pri zvarení. Následne sa podľa potrieb upravovali zvaracie parametre s cieľom dosiahnuť čo najkvalitnejší zvar. Oba typy zvarov, teda kútový aj preplátovaný, boli skúmané metalograficky. Podľa metalografických výbrusov sa skúmala hlavne makroštruktúra zvaru a opálená vrstva zinku v blízkosti zvaru. Pri preplátovaných spojoch bola navyše vykonaná ťahová skúška, kde sa zistilo najčastejšie miesto pretrhnutia a sila, ktorá je potrebná k pretrhnutiu vzorku pri jednotlivých metódach.

7.1 Vizuálne hodnotenie

Najdôležitejšie nedostatky, ktoré sa preukázali pri vizuálnej skúške boli póry v zware, veľký opal zinkovej vrstvy a prepálenie základného materiálu. Aby sa dosiahla požadovaná kvalita zvarov bez týchto nedostatkov bolo treba precízne dodržiavať dohodnutý postup upnutia a následného zvárania. Vzorka musela byť zakaždým upnutá v tej istej polohe, ktorá sa zaručila vyznačenou ryskou na podložke. Následne sa podišlo s horákom robota na miesto začiatku požadovaného zvaru a systémovo sa označil začiatkový bod. S horákom sa prešlo na koniec požadovaného zvaru a označil sa koncový bod. Tieto dva body sa v robotovi cez ovládanie systémovo spojili a bola určená presná trajektória horáku. Pri MAG zváraní aj MIG spájkovaní preplátovaného spoja boli volené rôzne vzdialenosti drôtu prídavného materiálu a hrany vrchného plechu, no ako najlepšia z hľadiska kvality zvaru a prepojenia oboch plechov sa ukázala vzdialenosť 1 až 2mm. Pri zváraní kútového zvaru bolo nevyhnutné horák s vysunutým drôtom prídavného materiálu nasmerovať tak, aby smeroval viac na spodný vodorovný plech, ktorý ležal, ako na zvislý plech. Ukázalo sa že keď bol horák nasmerovaný presne do rohu týchto dvoch plechov, zvislý plech ostal zakaždým prepálený. Poloha horáku pri kútových spojoch hrá veľmi podstatnú rolu, a je ťažko zakaždým zvoliť tú istú.

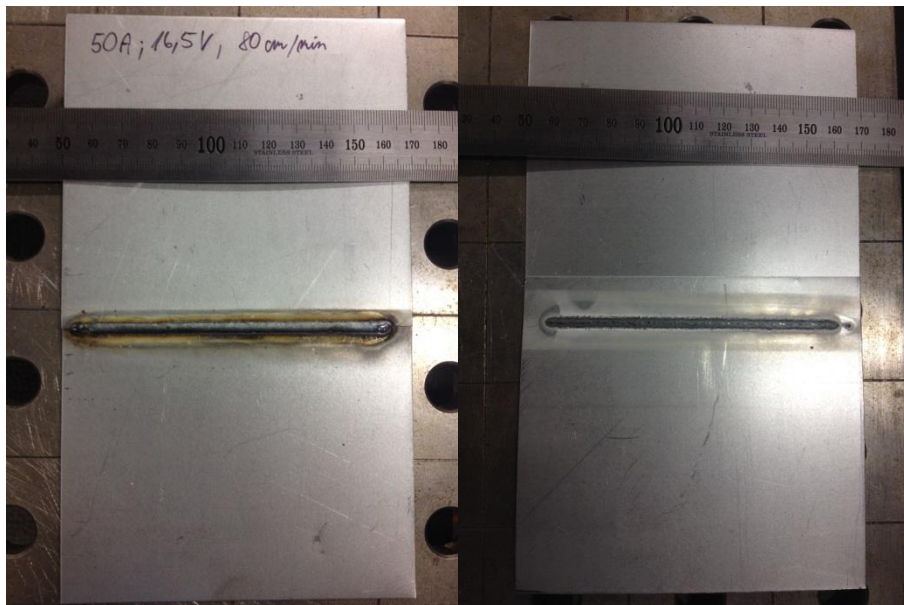
Preplátované zvary

Zváranie metódou MAG bolo realizované na čo najnižších zváracích parametroch a postupne boli menené niektoré hodnoty veličín ako I, U a v. V tomto prípade sa začínalo na hodnotách $I=50$ A, $U=16,5$ V a $v=50$ cm/min. Zvarová húsenica bola rovnomerná, bez pórov, no bolo na nej vidieť značný opal zinkovej vrstvy v okolí zvaru a taktiež na zadnej strane spodného plechu, kde zinok zhorel úplne a antikorózna ochrana sa tým narušila.



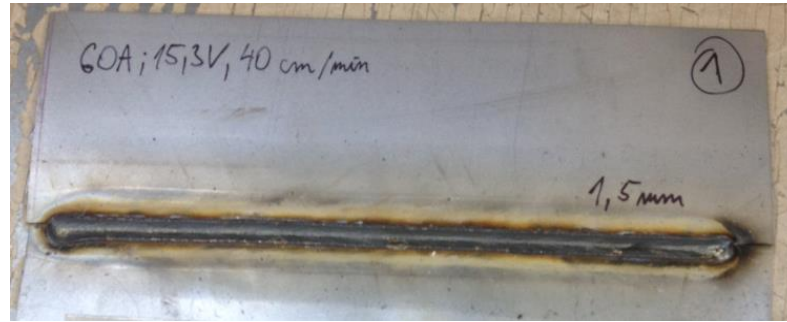
Obr.18- preplátovaný zvar – predná a následne zadná strana, húsenica rovnomerná bez pórov

Následné sme s cieľom zmenšiť opal zinkovej vrstvy zvýšili rýchlosť zvarovania na $v=80$ cm/min. Zmena sa prejavila negatívne, pretože opal zinkovej vrstvy zostal z oboch strán rovnaký a rovnomernosť zvarovej húsenice sa narušila.



Obr.19 – preplátovaný zvar – predná a následne zadná strana, vidno narušenie rovnomernosti húsenice

Z dôvodu lepšieho roztekania prídavného materiálu sa v experimente pokračovalo zvýšením prúdu. Parametre boli upravené na hodnoty $I=60$ A, $U=15,3$ V a $v=40$ cm/min. Ukázalo sa však, že tadiaľto cesta nevedie, pretože zvaru to na rovnomernosti nepridalo a opal zinkovej vrstvy vo veľkej miere pokračoval.



Obr.20 – pohľad na opal zinku v TOO

Metóda MIG spájkovanie ukázala svoje výhody hneď na začiatku, a za tu najväčšiu sa pokladá roztekavosť spájky. Prídavný materiál sa roztekal do širokej húsenice a oba plechy dobre prekryval. Na zvarací zdroj boli nastavené parametre $I=60$ A, $U=12,9$ A a $v=80$ cm/min. Dĺžka spoja bola rozdelená na tri časti a v každej bolo pridané o 10cm/min viac na hodnote rýchlosti spájkovania. Už na oko bolo vidieť že z týchto parametrov sa ako použiteľné ukázali len tie pôvodne.



Obr.21 – rozdiely v kvalite spoja v závislosti na rýchlosti MIG spájkovania

Následne sa začali hodnoty parametrov zvyšovať, pričom tri rýchlosti spájkovania, pri ktorých bola spájkovaná aj predošlá vzorka ostali rovnaké. Za takýchto okolností bolo jasne vidieť nedostatky spojov a to čo ich spôsobuje. Pri parametroch s hodnotami $I=80$ A, $U=13,9$ V a $v=50$ cm/min sa ukázal ako použiteľný znovu len spoj s pôvodnou hodnotou rýchlosti zvarania. Spoje, kde rýchlosť bola zvýšená o 20 a neskôr 30 cm/min neboli rovnomerné a roztekavosť základného materiálu nebola dostatočná.



Obr.22 – rozdiely v roztekavosti spájky pri meniacej sa v a konštantnom I a U

Parametre boli zmenené do tretice a ich hodnoty boli $I=90\text{A}$, $U=14,5\text{V}$ a $v=50\text{cm/min}$. Rýchlosti spájkovania sa znovu navýšili o 20 a neskôr o 30 cm/min. V tomto prípade sa za najlepšiu prejavila rýchlosť 70 cm/min. Pri rýchlosti 50 cm/min bola spájka moc roztečená a spoj bol široký a naopak pri rýchlosti 80cm/min bol spoj nedostatočne prekrytý.



Obr.23 – rôzne šírky spojov v závislosti na rýchlosti MIG spájkovania

Kútové spoje

Problematika zvárania kútových zvarov je z hľadiska zvárania plechov o hrúbke 0,8 mm oveľa zložitejšia. Pri experimente sa ukázalo že najdôležitejšiu rolu tu má poloha horáku a nasmerovanie drôtu prídavného materiálu. Drôt musel byť vedený tak, aby smeroval na spodný vodorovný plech, respektíve na jeho koniec. Pokiaľ bol vyššie, tvar zvaru nezodpovedal, pretože plechy neboli dobre spojené. Navyše pri zváraní MAG sa stávalo že kvôli zlej polohe drôtu sa jeden z plechov úplne prepálil. Nesprávne nasmerovanie drôtu prídavného materiálu navyše spôsobovalo nestabilné horenie oblúku a veľký rozstrek. Opal zinkovej vrstvy sa v tomto prípade nedarilo minimalizovať ako pri MAG zváraní, tak ani pri MIG spájkovaní. Miesto so zhorenou zinkovou vrstvou tu bolo stále.

Skúmanie kútových spojov sa začínalo metódou MAG zváranie. Na zdroji boli nastavené čo najnižšie zvaracie parametre a následne sa zvyšovali a sledovali sa charakteristiky zvarov.

Ako prvé boli nastavené parametre $I=60\text{ A}$, $U=16,3\text{ V}$ a $v=50\text{ cm/min}$. Pri týchto parametroch sa podarilo spraviť zodpovedajúci kútový zvar, ktorý bol rovnomerný a bez pórov. Treba však zdôrazniť že v tomto prípade zohrala veľmi veľkú úlohu

poloha horáka a drôtu prídavného materiálu, pretože tento zvar za tých istých podmienok, s tými istými parametrami sa následne nepodarilo zopakovať.



Obr.24 – zodpovedajúci kútový zvar vytvorený zváraním MAG

Parametre boli následne pozmenené smerom nahor na hodnoty $I=79$ A, $U=17,6$ V a $v=80$ cm/min. Cieľ bol zopakovať zvar kvalitou podobný predošlému, ale za vyššej zväracej rýchlosti. To sa však nepodarilo, pretože oblúk bol hneď od začiatku nestabilný a rozstrek veľký. Už na začiatku sa objavili póry a opal zinku bol značný z oboch strán. Navyše sa objavila deformácia materiálu, spodný vodorovný plech sa pôsobením tepla ohol.



Obr.25 – pohľad na nepoužiteľný zvar a deformáciu spodného plechu

Z dôvodu nestability elektrického oblúku sa rozhodlo, že sa zväracie parametre zvýšia a rýchlosť zvärania ostane rovnaká. Elektrický prúd na zdroji bol navýšený na hodnotu 85 A a elektrické napätie na hodnotu $U=17,3$ V. Za týchto podmienok sa síce zlepšila stabilita oblúku ale teplota v ňom bola taká vysoká, že prepálila zvislý plech. Taktiež sa

vo zvare objavili veľké póry a zvarová húsenica nemala žiadny tvar. Tento zvar bol vyhodnotený ako nepoužiteľný.



Obr.26 – kútový zvar – vidno nedostatky ako prepal materiálu póry atď.

Po vyhodnotení vzorkov na ktorých sa skúšalo MAG zváranie sa dá skonštatovať, že pri takejto hrúbke plechu, ktorá nepresahuje 0,8 mm, je zváranie touto metódou veľmi obtiažne a je uskutočniteľné len za veľmi nízkych parametrov. Opal zinkovej vrstvy bol na oboch plechoch značný.

Tento typ spoja sa skúšal aj pre metódu spájkovanie MIG. Ostal rovnaký počet vzorkov a taktiež sa experimentovalo s navyšujúcimi sa spájkovacími parametrami.

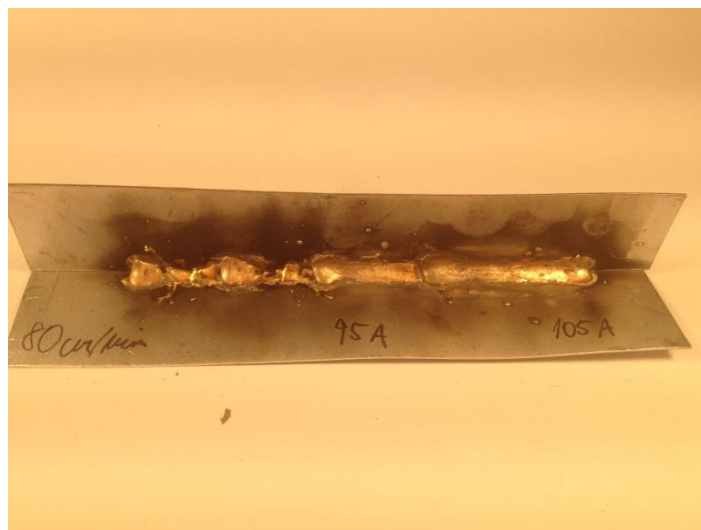
Skúška sa začínala na hodnotách $I = 75A$, $U = 15,7V$ a $v = 50cm/min$. Za týchto parametrov sa ukázalo že zmáčavosť spájky je veľmi dobrá a plechy sú spojené dobré aj keď spájkovaná húsenica nemala ideálny tvar. Je nerovnomerná a v každom mieste iná.

Výhodou už na prvý pohľad bolo to že nedošlo k nataveniu základného materiálu. Napriek tomu, že pri spájkovaní ide do spoja oveľa menej tepla ako pri zváraní, prejavila sa tu deformácia plechov. Navyše okolie zvaru bolo oprskané roztaveným prídavným materiálom, ktorý sa uvoľnil pri rozstreku.



Obr.27 – MIG spájkovanie, vidno nerovnomernosť spájkovanej húsenice

Spájkovacie parametre boli upravené smerom hore a skončili na hodnotách $I=95$ A a $v=80$ cm/min. Oblúk sa už od začiatku prejavoval ako nestabilný, dosť prskal, a plechy boli spojené nedostatočne. Rozstrek prídavného materiálu sa zredukoval. Z dôvodu požadovanej väčšej zmáčavosti spájky, bol prúd zvýšený na 105 A. Toto riešenie sa ukázalo ako priaznivé a podarilo sa kvalitu spoja zlepšiť. Bol síce nerovnomerný, ale oblúk bol stabilný a rozstrek minimálny. Deformácia plechov od tepla zostala aj naďalej.



Obr.28 – rozdiely v kvalite zvaru ktoré spôsobilo zvýšenie I

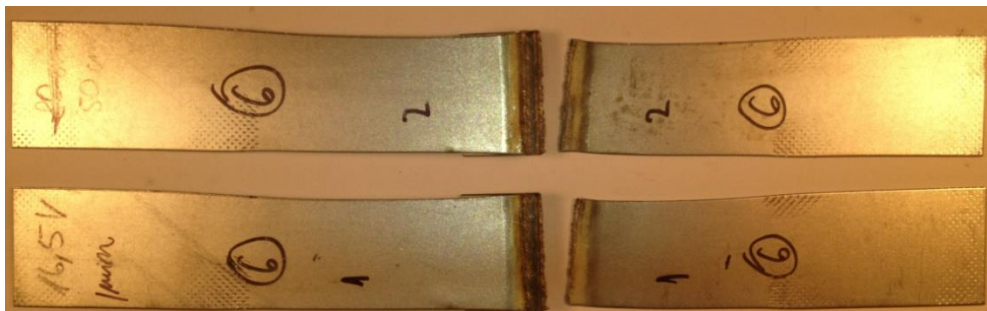
7.2 Ťahové skúšky preplátovaných spojov

Vzorok, ktoré boli použité na preplátovane spoje, boli nastrihané na rozmery 25x150 mm a bola na nich vykonaná ťahová skúška. Z tej bolo viditeľne najčastejšie

miesto, kde dochádza k pretrhnutiu vzorku a presné hodnoty sily, pri ktorej k nemu dochádza. Vzorky boli robené pre 6 rôznych parametrov zvárania MAG alebo spájkovania MIG. Pre každé parametre boli otestované 2 vzorky, takže dokopy bolo pretrhnutých 12 vzorkov.

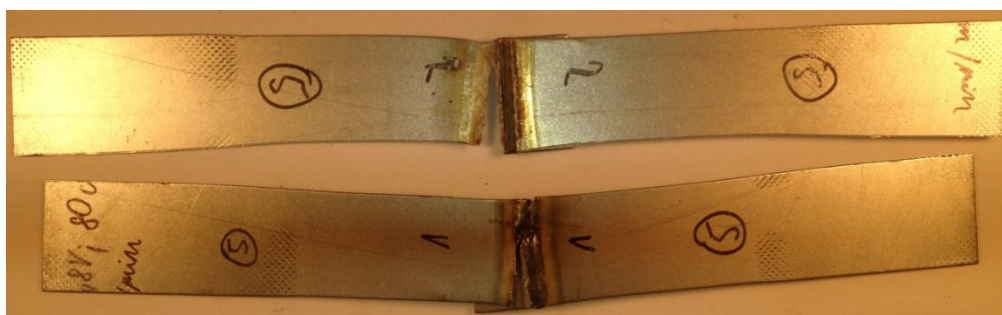
MAG zváranie

Prvá dvojica vzorkov preplátovaného spoja bola zváraná metódou MAG a boli v nej použité parametre $I=50$ A, $U=16,5$ V, $v=50$ cm/min. Sila, ktorá bola potrebná na pretrhnutie vzorku č.1 bola 5847 N a predĺženie vzorku po začiatok deformácie bolo 11,6 mm. Vzorek č.2 sa začal trhať pri sile 5987 N a jeho predĺženie skončilo na hodnote 11,2 mm. Miesto pretrhnutia vzorkov bolo v oboch prípadoch na hranici zvarov na spodných plechoch preplátovaných spojov.



Obr.29 – vzorky preplátovaného zvaru po ťahovej skúške

Vzorky druhej ťahovej skúšky boli zvárané pri parametroch $I=60$ A, $U=16,8$ V, $v=80$ cm/min. Sily pretrhnutia vzorkov boli v prvom prípade 5606,2 N a v druhom prípade 6046,1 N. Predĺženia vzorkov skončili na hodnotách 10 mm a 6,8 mm. Miesta pretrhnutia sú rovnaké ako pri predošlej skúške, takže na hranici zvaru a základného materiálu na spodných plechoch preplátovaného spoja.

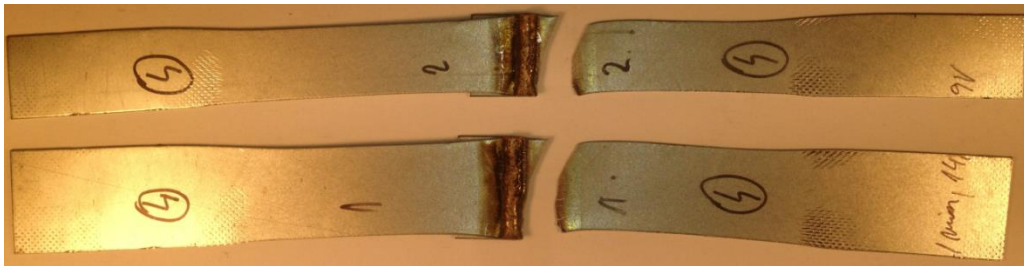


Obr.30 – vzorky preplátovaného zvaru po ťahovej skúške

Z nameraných hodnôt ťahovej skúšky vzoriek zváraných metódou MAG možno usúdiť že sila potrebná na pretrhnutie leží v rozmedzí 5600 až 6100 N a predĺženie sa pohybuje okolo 7 až 11 mm. Miesta pretrhnutia sú pri tejto metóde rovnaké, zakaždým na hranici zvar – základný materiál. Rozmedzie zváracích parametrov prezrádza že na mechanické vlastnosti zvarov nemajú parametre výrazný vplyv.

MIG spájkovanie

Pri ťahových skúškach vzorkov, ktoré boli spájkované metódou MIG boli použité parametre $I=50\text{A}$, $U=14,9\text{V}$ a $v=80\text{cm/min}$. Pretrhnutie nastalo v oboch prípadoch v základnom materiáli v okolí spájkovanej húsenice. Prvý vzorok sa pretrhol pri sile 6190 N a jeho maximálne predĺženie bolo 24 mm. V druhom prípade sa vzorok pretrhol pri sile 4998,8 N a predĺženie zastalo na hodnote 26,4 mm.



Obr.31 – vzorky preplátovaného spoja po ťahovej skúške

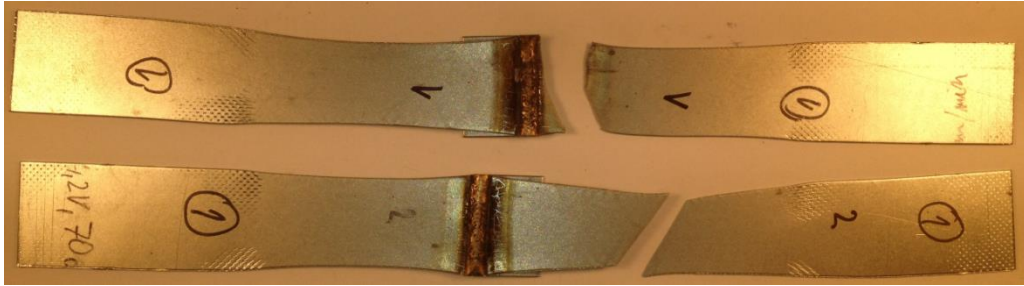
Pri druhej skúške ťahom bola dvojica vzorkov spájkovaná pri parametroch $I=65\text{A}$, $U=13,2\text{V}$ a $v=50\text{cm/min}$. Sily potrebné na pretrhnutie vzorkov boli 5842 N a 5718,3 N. Predĺženie bolo pri prvom vzorku 22 mm a pri druhom vzorku 13,8 mm. Pretrhnutie nastalo taktiež v okolí spájkovanej húsenice na spodnom plechu.



Obr.32 – vzorky preplátovaného spoja po ťahovej skúške

Do tretice bola vyskúšaná ťahová skúška pre vzorky spájkované pri parametroch $I=85\text{A}$, $U=14,2\text{V}$ a $v=70\text{cm/min}$. Tu nastalo pretrhnutie znovu v základnom materiáli, raz v spodnom a raz vo vrchnom plechu preplátovaného spoja. Pri vzorku č.1 bola sila

potrebná na pretrhnutie 5793,8 N a predĺženie 26 mm. Pri vzorku č.2 bola stačila sila 5803,1 N a predĺženie bolo 22,8 mm.



Obr.33 – vzorky preplátovaného spoja po ťahovej skúške

Z predošlých nameraných hodnôt ťahových skúšok sa da povedať , že spájkované spoje majú v porovnaní so zvaranými podobnú silu pretrhnutia ale vďaka tomu že prídavný materiál je v ich prípade oveľa väčší, ich predĺženie pri tejto sile je cca 2 krát také veľké. K pretrhnutiu tu však dochádza v TOO a v prechode do ZM, ďalej od spoja, čo je lepší výsledok ako pri MAG zvaraní, pretože spoj samotný ma vyššiu pevnosť. Z týchto zistených faktov je teda použitie metódy MIG spájkovania otázne, pretože záleži na tom ako veľkou silou budú dva spojené plechy namáhané a kde bude tento spoj umiestnený. V prílohe sú pre príklad obsiahnuté pracovné diagramy jedného preplátovaného zvaru, zvarného metódou MAG a jedného preplátovaného spoja, spájkovaného metódou MIG, s presnými nameranými hodnotami.

7.3 Metalografia

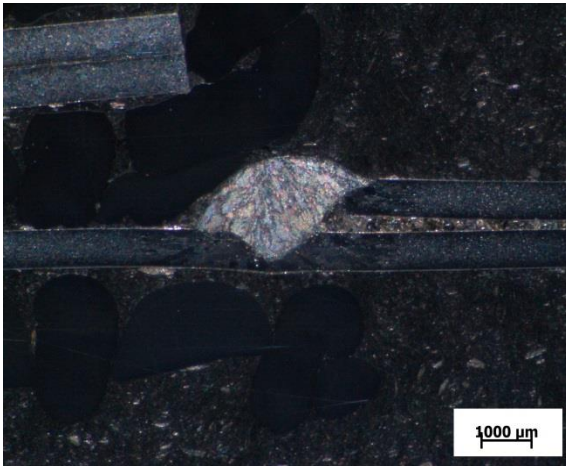
Príprava metalografických výbrusov

Na základe skúmania metalografických výbrusov preplátovaných a kútových zvarov bolo pod stereo mikroskopom vidieť kvalitu zvarov a ich makroštruktúru. Vzorky na metalografiu, však bolo treba dôkladne pripraviť podľa zaužívaného postupu. Pozorované miesta zvarových a spájkovaných spojov boli mechanicky oddelené od zvyšku vzorku rozbrusovacou pílou s vodným chladením. Odobraté vzorky boli následne vložené do lisu a zasypané hmotou MultiFast. Tieto vzorky následne čakal proces brúsenia a leštenia. Vzorky sa vložili do rotačnej brúsky chladenej tečúcou vodou, a boli brúsené kotúčom so zrnitosťou 180. Po každom brúsení boli vzorky oplachované pod prúdom tečúcej vody a sušené prúdom teplého vzduchu. Proces

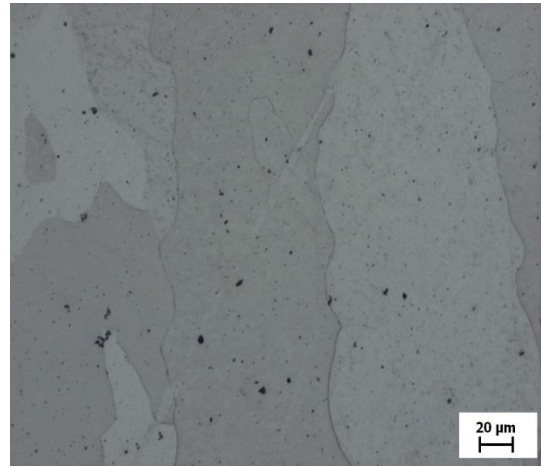
brúsenia sa opakoval so zrnitosťami kotúčov 600, 1000, 2400. Ďalším krokom bolo leštenie. Brúsne papiere boli nahradené leštiacimi kotúčmi, na ktoré sa naniesla vrstva leštiacej diamantovej pasty s jemnosťou $3\mu\text{m}$. Tento proces sa zopakoval aj pre jemnosť $0,05\mu\text{m}$. Nakoniec bol na naleptanie povrchu použitý 2% - ný Nital, ktorý zvýraznil štruktúru povrchu vzorky. Vzorka bola pripravená na pozorovanie.

Pozorovanie metalografických výbrusov – preplátované spoje

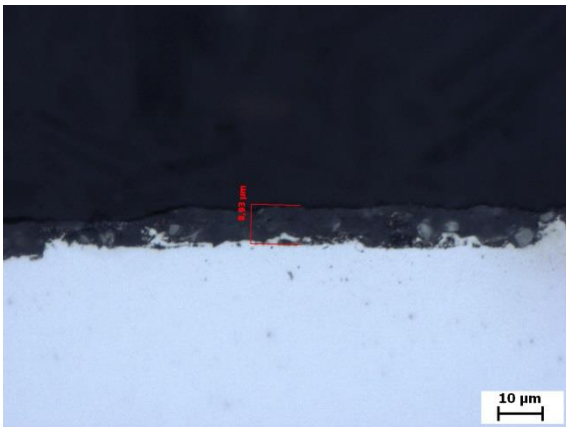
Zvar, ktorý vznikol metódou MAG: $I=50\text{ A}$, $U=16,5\text{ V}$, $v=50\text{ cm/min}$



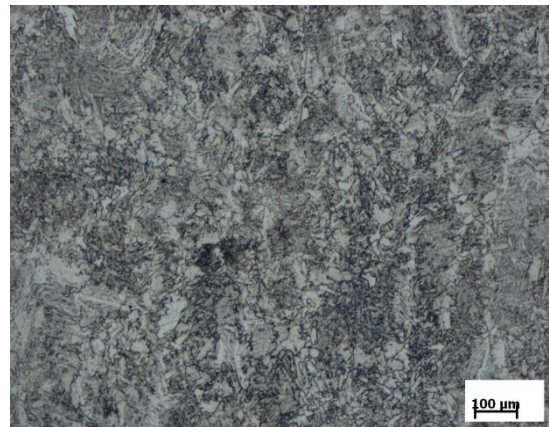
Obr.34 – Makroštruktúra zvarového spoja



Obr.35 – TOO základného materiálu, zv. 25x



Obr.36 – oblasť TOO, nameraná hrúbka Zn vrstvy je $8,93\mu\text{m}$, zv. 500x



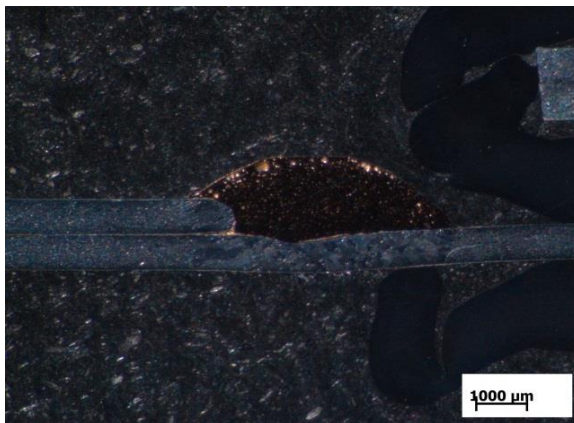
Obr.37 – štruktúra zvarového kovu, zv. 50x

Z pozorovania pod stereo mikroskopom bolo zistené, že pri zváraní došlo k spojeniu dvoch plechov a kvalita spojenia je dostatočná. Z obrázku TOO možno usúdiť že sa nejedná o studený spoj. Na rozhraní prídavného a základného materiálu je jasne vidieť rozdiel v štruktúre kovov, medzi ktorými je pozvoľný prechod. Zvar neobsahuje žiadne

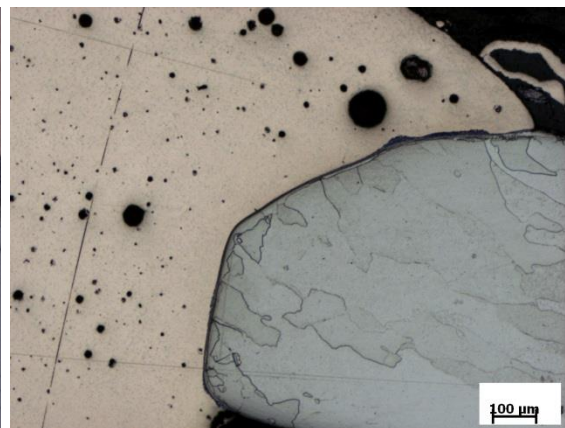
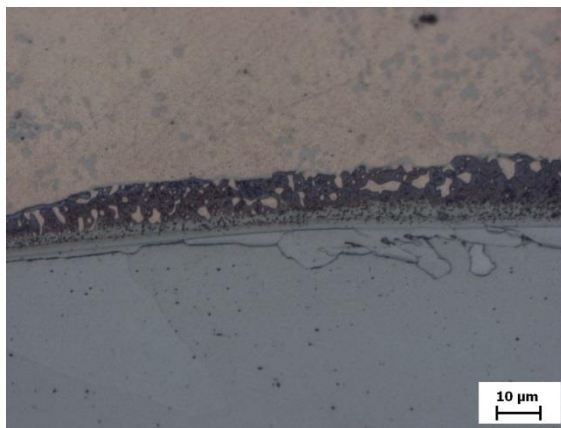
trhliny, dutiny ani póry. Zvar je mierne prevýšený, z obrázku je však vidieť, že na spodnom plechu došlo k prepalu ZM.

V TOO zvaru možno pozorovať opal zinkovej vrstvy. Jej pôvodná hrúbka mala byť okolo 10-12 μm . Nameraná bola hodnota 8,93 μm .

Pri spájkovaných spojoch možno pozorovať značné rozdiely v kvalite prevedenia spoja. Spájkovanie prebiehalo pri parametroch $I=50\text{ A}$, $U=14,9\text{ V}$ a $v=50\text{ cm/min}$.



Obr.38 – makroštruktúra spájkovaného spoja Obr.39 – prechod zvarový kov – ZM, zv. 25x



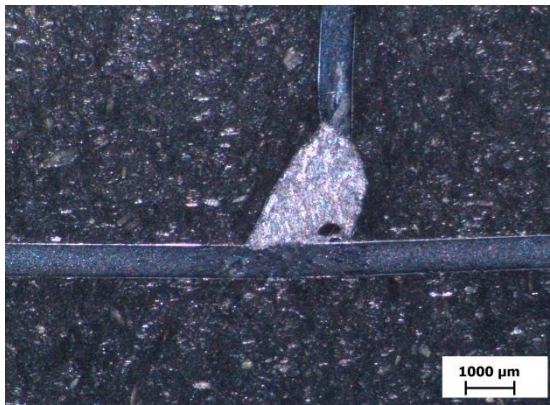
Obr.40 – Zn vrstva vo vnútri spoja, zv.500x Obr.41 – prechod zvarový kov – ZM, zv. 50x

Pod makroskopom bolo vidno že došlo k dobrému spojeniu dvoch plechov. Pozorovaním pod mikroskopom sa zistilo, že zinková vrstva vo vnútri spajkovanej húsenice sa nespálila ale ostala tam naďalej. Jej hrúbka je okolo 11 μm . Z hľadiska opalu zinkovej vrstvy sa teda dá povedať, že táto metóda je vhodnejšia. Vo vnútri spájkovanej húsenice je však vidieť póry, dutiny a bubliny, ktoré nemajú pozitívny vplyv na mechanické vlastnosti spoja. Tieto nedostatky by však bolo možné odstrániť.

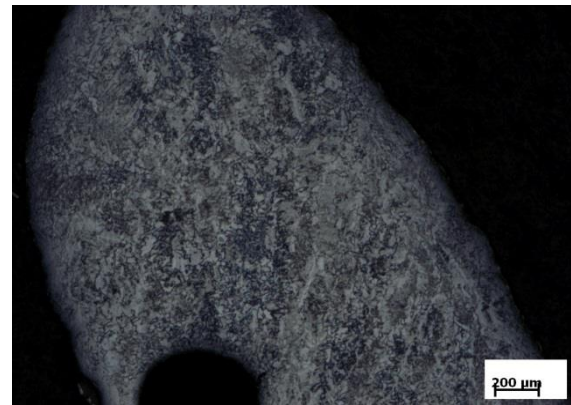
To by mohlo vysvetľovať nadmernú deformáciu pri ťahovej skúške. Tvar spoja je v poriadku, dokonca je z hľadiska prevýšenia vhodnejší ako zvar pri MAG zvaraní.

Pozorovanie metalografických výbrusov - kútové spoje

Kútový zvar bol zvarany pri parametroch $I=79$ A, $U=18,6$ V a $v=80$ cm/min. V tomto prípade možno pozorovať dutinu, ktorá sa vytvorila vo zvare. Trhliny sa tu nevyskytujú. Plechy sú spojené dostatočne a znova je vidieť že pri zvaraní MAG došlo k nataveniu ZM a ZM sa zmiešal s PM. Prechod medzi základným a zvarovým materiálom je znova pozvoľný. O studený spoj sa určite nejedná a tvar zvaru je na tejto hrúbke ZM neštandardný. Zvar je mierne prevýšený, nakoľko jeho profil by mal byť rovnostranný trojuholník.



Obr.42 – makroštruktúra kútového zvaru



Obr.43 – zvarový kov, zv. 25x

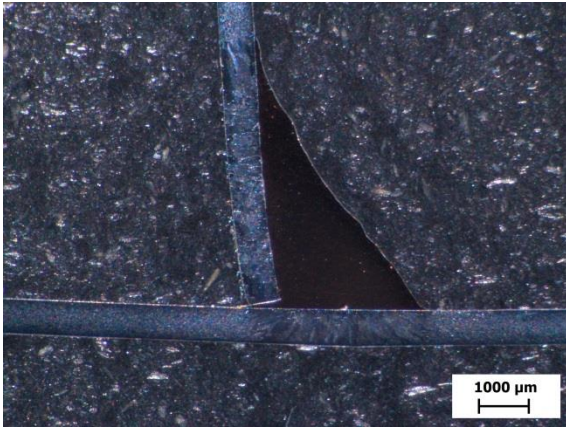


Obr.44 – zvarový kov, zv. 100x



Obr.45 – zvarový kov, zv. 500x

Pri spájkovaní MIG sa kvôli roztekavosti spájky nepodarilo vytvoriť tvar húsenice podobný ako pri MAG zvaraní. Je vidieť, že nie je taký rovnomerný ale plechy sú spojené dostatočne.



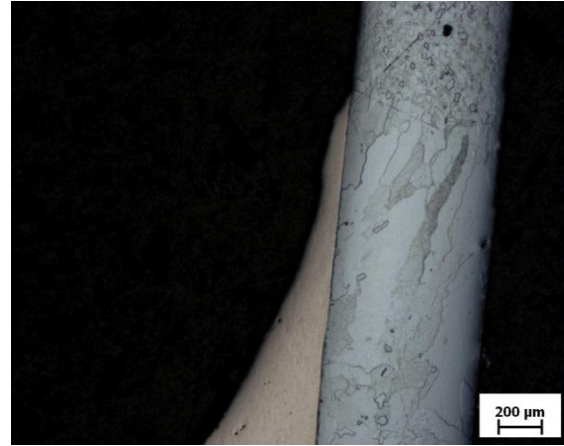
Obr.46 – makroštruktúra kútového spoja



Obr.47 – detail na spojenie plechov ZM, zv. 25x



Obr.48 – prechod zvarový kovom - ZM



Obr.49 – nepravidelný profil zvaru

Z obrázkov skúmaných pod mikroskopom je vidno že spájkovaná húsenica obsahuje drobné chyby, ako sú póry a dutiny. Roztekavosť spájky je dobrá a preto je spojenie dvoch plechov zaistené po veľkej ploche. Nejedná sa o studený spoj a k nataveniu základného materiálu nedošlo. Prechod medzi základným materiálom a spájkovaným kovom je ostrý.

Záver

Cieľom tejto práce a experimentu bolo porovnanie metód MAG zváranie a MIG spájkovanie, pre spájanie tenkých pozinkovaných plechov používaných v automobilovom priemysle. Na otázku ktorá z metód je vhodnejšia, sa však nedá jednoznačne odpovedať, pretože závisí od mnoho faktorov. Pokiaľ bude spojenie plechov použité na mieste, kde nepôsobia príliš veľké silové účinky, je vhodné použiť štandardnú metódu MAG zváranie (s následným ošetrením protikoróznej úpravy – zinkový sprej), hoci v porovnaní s MIG spájkovaním majú zvary nižšiu ťažnosť a môže tu dôjsť ku vzniku trhlín. Výhoda MIG spájkovania je podstatne nižšia deformácia základného materiálu od vneseného tepla. Experiment dokázal že táto metóda je omnoho obťažnejšia na nastavenie správnych parametrov a je na nastavenie citlivejšia. Podľa ťahových skúšok sa zistilo, že spájkované a zvárané spoje sú na ťah približne rovnako odolné ako spoje zvárané. Výhoda tejto metódy však spočíva v lepšej korozivzdornej ochrane, pretože opal zinkovej vrstvy je menší ako pri MAG zváraní a predovšetkým samotný spájkovaný spoj je korozivzdorný, na rozdiel od spoja zváraného metódou MAG.

MAG zváranie je pri kútových spojoch (na týchto hrúbkach materiálu – 0,8mm) v podstate nepoužiteľné z dôvodu prepalu základného materiálu. Zvárat' pri vyšších rýchlostiach je tu na rozdiel od MIG spájkovania problematické, pretože horenie oblúku stráca na stabilite a zvyšuje sa rozstrek. Výhodou MAG zvárania je cena prídavného materiálu, ktorá je podstatne priaznivejšia.

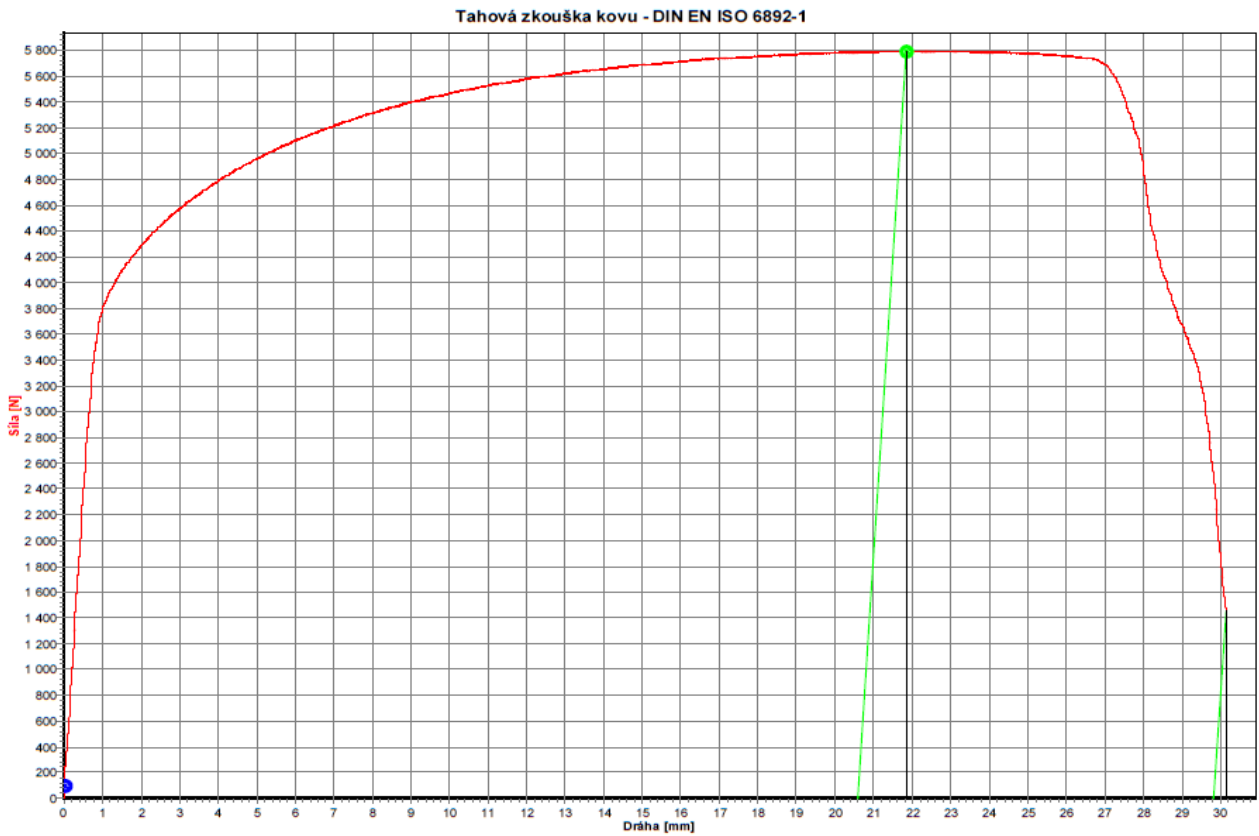
Zoznam použitej literatúry:

- [1] KUKLÍK, Vlastimil a Ján KUDLÁČEK. *Žárové zinkování*. 1. Praha, Česká republika: Tiskárny Havlíčkov Brod, 2014. ISBN 987 - 80 - 905298 - 2 - 3.
- [2] *PÁJENÍ MIG: Podklady pro školení*. Česká republika. Přihlášeno 1.1.2005.
- [3] *Fronius: Kundendienstinformation*. Wels. Přihlášeno 1997 - 08.
- [4] *Zváranie MAG* [online]. [cit. 2016-01-13]. Dostupné z: <http://www.zvaranie.eu/metoda-zvarania-mag/>
- [5] SEJČ, P. Optimalizácia vybraných parametrov oblúkového MIG/MAG spájkovania pozinkovaných plechov. *ZVÁRANIE - SVAŘOVÁNÍ*. Bratislava, Slovensko, 2004, **8(3)**, 7.
- [6] *Zváranie MIG/MAG* [online]. Dostupné z: http://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-0BD50127-861227B7/fronius_slovensko/hs.xsl/29_3916.htm#.VpbL9cbhDIW
- [7] *Značení metod svařování pro WPS* [online]. [cit. 2016-01-13]. Dostupné z: <http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2006071101>
- [8] *Princíp metody MIG/MAG zvarania* [online]. [cit. 2016-01-13]. Dostupné z: http://www.airliquide.sk/file/otherelement/pj/mig_mag59676.pdf
- [9] *Arc welding robots MIG/MAG* [online]. [cit. 2016-01-13]. Dostupné z: <http://www.eurobots.net/arc-welding-robots-mig-mag-subc-8-en.html>
- [10] *MAG zvaranie pozinkovaných plechov v ochrannom plyne CO2 a Ar + 18% CO2* [online]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/mag-zvaranie-pozinkovanych-plechov-v-ochrannom-plyne-co2-a-ar-18-co2/>
- [11] VIŇÁŠ, Ján. Voľba prídavných materiálov pre zváranie v ochranných atmosférach plynov. *Transfer inovácií*. Bratislava, Slovensko, 2003, **5(6)**, 5.
- [12] MUCHA, M. a DUBSKÝ, R. - MIG spájkovanie pozinkovaných plechov v automobilovom priemysle. *ZVÁRANIE - SVAŘOVÁNÍ*. Mladá Boleslav, Česká republika, 2003, **7(9 - 10)**, 4.
- [13] *MIG pájení pozinkovaných autokarosářských dílu* [online]. [cit. 2016-01-13]. Dostupné z: <http://automig.cz/o-svarovani/metody/mig-pajeni-mig-brazing/>
- [14] VIŇÁŠ, J. a KAŠČÁK, Ľ. - MIG SPÁJKOVANIE POVRCHOVO UPRAVENÝCH KAROSÁRSKÝCH PLECHOV. *Transfer inovácií*. 2010, **5(17)**, 4.
- [15] *MIG pájení* [online]. In: . [cit. 2016-01-13]. Dostupné z: www.dolezal-pe.cz

Príloha č.1 – pracovní diagram ťahovej skúšky preplátovaného spoja

Zkušební parametry

Zkušební norma:	Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
Typ stroje:	LabTest 5.100SP1
Snímač síly:	100kN
Průtahoměr:	extenzome
Upínací přípravek:	ne
Zkušební prostor:	Spodní zkušební prostor
Rozměry vzorku:	a = 0,7 mm; h = 1 mm; m = 1 g
Zadáni délek:	Le = 30 mm; Lc = 65 mm; L0 = 30 mm
Zkušební rychlosti:	V0 = 1 mm/min; V1 = 5 mm/min
Přepínací body:	F0 = 100 N
Kritérium ukončení zkoušky:	Síla = 98000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E GPa	Rpx2 N/mm ₂	Fpx2 N	ReH N/mm ₂	ReL N/mm ₂	Rm N/mm ₂
1	x	05.01.16	11:16			509,300	0	0,00	0	0	331
		Fm N	Ae %	Ag %	A %	Ag _t %	At %	Z %			
1		5793,80	0,00	-0,05	-0,01	0,01	0,01	0,00			

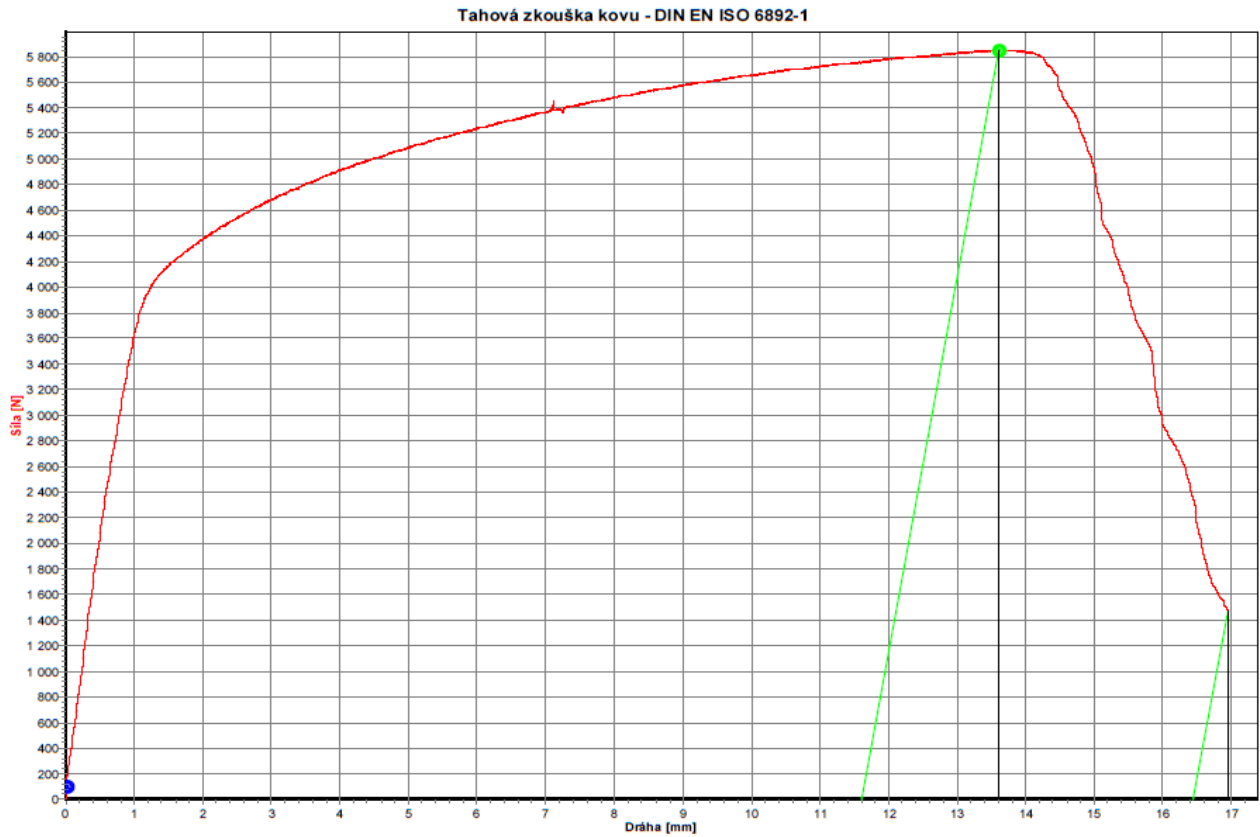
Statistika a = 2

	E GPa	Rpx2 N/mm ₂	Fpx2 N	ReH N/mm ₂	ReL N/mm ₂	Rm N/mm ₂	Fm N	Ae %

Príloha č.2 – pracovní diagram ťahovej skúšky preplátovaného zvaru

Zkušební parametry

Zkušební norma: Tahová zkouška kovu - DIN EN ISO 6892-1
 Typ stroje: LabTest 5.100SP1
 Snímač síly: 100kN
 Průtahoměr: extenzometr
 Upínací přípravek: ne
 Zkušební prostor: Spodní zkušební prostor
 Rozměry vzorku: a = 0,7 mm; h = 1 mm; m = 1 g
 Zadání délek: Le = 30 mm; Lc = 65 mm; L0 = 30 mm
 Zkušební rychlosti: V0 = 1 mm/min; V1 = 5 mm/min
 Přepínací body: F0 = 100 N
 Kriterium ukončení zkoušky: Síla = 98000 N; dF = 75 %



Tabulka výsledků

	OK	Datum	Čas	Ozn.1	Ozn.2	E GPa	Rpx2 N/mm ₂	Fpx2 N	ReH N/mm ₂	ReL N/mm ₂	Rm N/mm ₂
1	x	05.01.16	11:05			337,879	0	0,00	0	0	298

	Fm N	Ae %	Ag %	A %	Agt %	At %	Z %
1	5847,00	0,00	-0,04	0,03	0,05	0,05	0,00

Statistika a = 2

	E GPa	Rpx2 N/mm ₂	Fpx2 N	ReH N/mm ₂	ReL N/mm ₂	Rm N/mm ₂	Fm N	Ae %
--	----------	---------------------------	-----------	--------------------------	--------------------------	-------------------------	---------	---------