

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav strojírenské technologie

**ODPOROVÉ SVAŘOVÁNÍ POVRCHOVĚ
UPRAVENÝCH PLECHŮ V AUTOMOBILOVÉM
PRŮMYSLU**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor: Artem Malkov

Studijní obor: Technologie, materiály a ekonomika strojírenství

Vedoucí práce: Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE

Praha 2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

pro **Artema MALKOVA**

Program: Výroba a ekonomika ve strojírenství

Obor: Technologie, materiály a ekonomika strojírenství

Název: Odporové svařování povrchově upravených plechů v automobilovém průmyslu

Název anglicky: Spot Resistance Welding of Galvanized Sheets in the Automotive Industry

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor problematiky odporového bodového svařování tenkých ocelových plechů používaných při tvorbě automobilových karosérií, včetně rozboru a porovnání jejich povrchových úprav používaných ve Škoda Auto a.s.
2. Návrh experimentální činnosti – výroba zkušebních vzorků, sledování životnosti dle EN ISO 8166
3. Vyhodnocení provedených experimentů – porovnání vlivu povrchové úpravy na kvalitu provedených svarových spojů a životnost elektrod

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

Konzultant: Ing. Tomáš Pilvousek, IWE

Datum zadání bakalářské práce: 30. 4. 2015

Termín odevzdání bakalářské práce: 19. 6. 2015

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:

Student

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

Děkan
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, software atd.) uvedené v příloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 14. 6. 2015

Artem Malkov

Poděkování

Vyjadřuji hlubokou vděčnost za poskytnuté konzultace a odborné rady Ing. Ladislavu Kolaříkovi Ph.D., IWE a Ing. Tomáši Pilvousekovi, IWE.

Za pomoc v realizaci praktické části práce děkuji studentu Artemu Avakianu.

Především ale děkuji za podporu svým rodičům, Vladimíru a Natalii Malkovovým.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STROJNÍ

Ústav strojírenské technologie

Obor:	Technologie, materiály a ekonomika strojírenství
Název bakalářské práce:	Odporové svařování povrchově upravených plechů v automobilovém průmyslu
Autor bakalářské práce:	Artem Malkov
Vedoucí bakalářské práce:	Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
Rozsah bakalářské práce:	Počet stran: 49 Počet obrázků: 26 Počet tabulek: 13 Počet příloh: 11
Klíčová slova:	Odporové bodové svařování, svařovací bodovací čepička, životnost svařovacích bodovacích čepiček, New Inorganic Treatment, zkušební vzorek, zkušební plech, svarová čočka, odlupovací zkouška, vyloučení zinku

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá zkoumáním vlivu speciální povrchové úpravy NIT (New Inorganic Treatment) na životnost svařovacích elektrod (bodovacích čepiček) při svařování plechů používaných v automobilovém průmyslu.

Práce se skládá ze dvou částí. V první (teoretické části) je rozebrána problematika odporového bodového svařování tenkých ocelových plechů používaných při tvorbě automobilových karosérií. Druhá (praktická) část se zabývá návrhem a realizací zkoušky hodnocení životnosti svařovacích bodovacích čepiček dle normy ČSN EN ISO 8166.

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

Department of Manufacturing Technology

Branch:	Technology, materials and economy of mechanical engineering
Name of bachelor thesis:	Spot Resistance Welding of Galvanized Sheets in the Automotive Industry
Author of bachelor thesis:	Artem Malkov
Supervisor:	Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
Extent of bachelor thesis:	Number of pages: 49 Number of pictures: 26 Number of tables: 13 Number of appendices: 11
Keywords:	Resistance spot welding, spot welding cap, durability of spot welding caps, New Inorganic Treatment, test sample, test sheet, welding nugget, peel test, exclusion of zinc

Annotation

This thesis examines the influence of NIT (New Inorganic Treatment) special surface treatment on durability of spot welding caps during the welding of metal plates used in the automotive industry.

The work consists of two parts. The first (theoretical part) discusses the issue of resistance spot welding of thin steel sheets used for making car bodies. The second (practical part) deals with the design and realization of tests evaluating durability of spot welding caps according to EN ISO 8166.

Obsah

1. Úvod	9
2. Cíl práce	10
3. Problematika odporového bodového svařování tenkých ocelových plechů používaných při výrobě automobilových karosérií	10
3.1 Rozdělení odporového svařování	10
3.1.1 Rozdělení bodového svařování	10
3.2 Vznik odporového tepla	11
3.3 Tepelná rovnováha bodových svarů	13
3.4 Svařovací parametry	14
3.5 Svařovací režimy a jejich porovnání	15
4. Elektrody pro odporové svařování	17
5. Materiály pro stavbu karosérie automobilu	18
5.1 Ocelové plechy	18
5.1.1 Rozdělení ocelí pro automobilový průmysl	18
5.1.2 Vlastnosti ocelí pro automobilový průmysl	19
5.2 Plechy ze slitin hliníku.....	21
5.3 Povrchové úpravy používané při stavbě karosérie automobilu	23
5.3.1 New Inorganic Treatment (NIT)	25
6. Návrh experimentu	26
6.1 Podmínky realizace zkoušek.....	26
6.2 Zkušební materiál	28
6.2.1. Rozbor specifikace plechu	28
6.2.2. Chemické složení základního materiálu	30
7. Experimentální část	30
7.1 Ověřování tloušťky zinkového povlaku.....	30
7.2 Ověření mechanických vlastností	31
7.3 Svařovací zařízení	33

7.4 Použité svařovací parametry	34
7.5 Zjištění životnosti elektrod	34
8. Závěr	38
9. Použité literární zdroje	39
10. Seznam použitých zkratk a symbolů.....	41
10. Přílohy	42

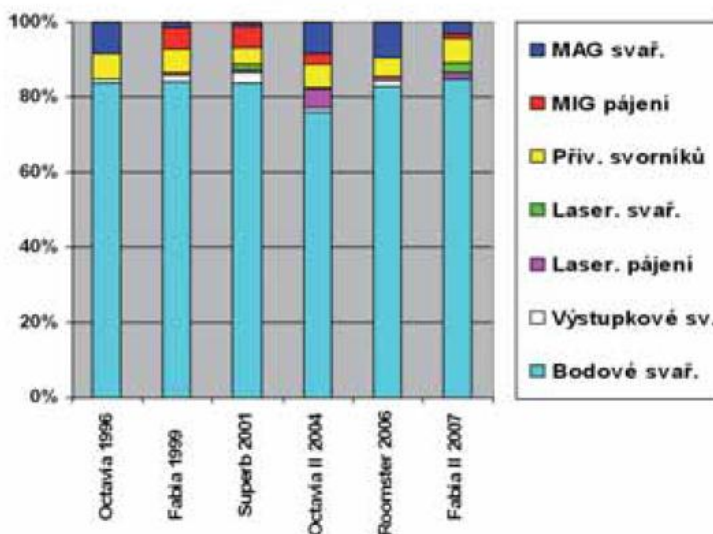
1. Úvod

Se sériovou výrobou samonosných karosérií vyvstal problém spojování ocelových plechových výlisků, které mají určitou rozměrovou přesnost, do co nejpřesnějších svařenců. Při mechanizování spojovacích činností se ukázalo, že jednou z nejvýhodnějších technologií je odporové svařování, které umožňuje do určité míry kompenzovat některé nepřesnosti při výrobě dílů. Dokonalé svařovací přípravky a středofrekvenční svařovací zdroje s kleštěmi upevněnými na ramenech robotů, v kombinaci s dlouhoživotnostními svařovacími elektrodami, to je současná špičková svařovací technologie, kterou využívají všichni výrobci v automobilovém průmyslu. [1]

Bodové svařování se používá na výrobu přeplátovaných spojů dílců z tenkých plechů, tloušťky běžně do cca 2,5–3 mm, i když bodově lze svařovat i větší tloušťky. Ze všech metod odporového svařování se bodové svařování používá v nejširší míře. Pouze světový automobilový průmysl vyrobí každodenně kolem dvou miliard bodových svarů. Do dnešních dnů je to nejpoužívanější spojovací technologie v automobilové výrobě, jak naznačuje přiložená tabulka č. 1 i obrázek č. 1. [2]

Tab. 1: Množství svarů na jednotlivých modelech automobilů Škoda Auto a. s. [2]

Metoda svařování	Množství	Octavia	Fabia	Superb	Octavia II	Roomster
Bodové svary	ks	4400	4500	6201	5000	5217
MIG pájení	m	-	4,0	7,4	2,5	2,0
MAG svařování	m	5,5	1,0	1,2	2,5	7,5
Přivařování svorníku	ks	190	160	214	200	161
Výstupkové svařování	ks	25	46	147	31	34
Laserové pájení	m	-	1,0	1,03	1,6	1,2
Laserové svařování	m	-	-	3,06	0,5	-



Obr. 1: Relativní podíl svařovacích technologií při výrobě vozů Škoda [2]

2. Cíl práce

Cílem bakalářské práce je vyhodnotit vliv speciální povrchové úpravy (NIT) ocelových pozinkovaných plechů na kvalitu provedených svarových spojů a porovnat životnost bodových svařovacích elektrod. Porovnány budou materiály:

- 1) HX180BD Z100 MCO
- 2) HX180BD Z100 MCO + NIT.

3. Problematika odporového bodového svařování tenkých ocelových plechů používaných při výrobě automobilových karosérií

3.1 Rozdělení odporového svařování

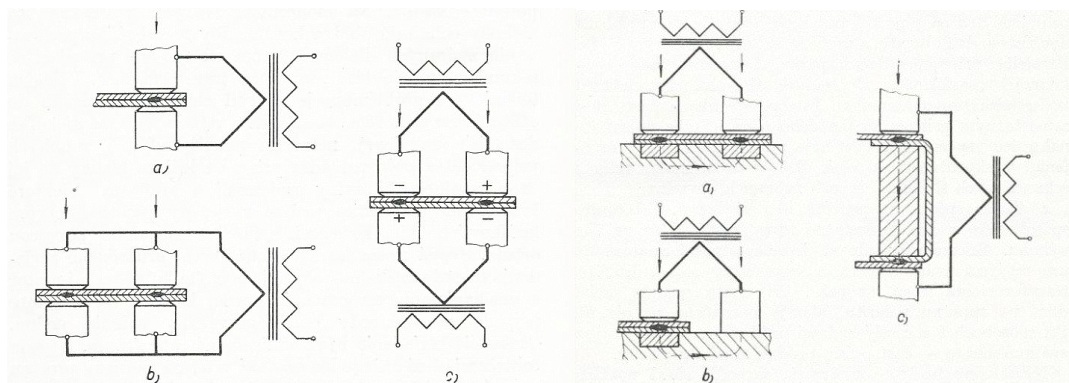
Při odporovém svařování se spoj vytváří teplem vyvinutým průchodem elektrického proudu svařovanými dílci a jejich stykem za spolupůsobení tlaku. Proud se do svařovaných částí přivádí elektrodami zhotovenými zpravidla z mědi nebo ze slitin mědi. Podle konstrukčního uspořádání elektrod a pracovního postupu tohoto procesu rozdělujeme odporové svařování na:

- **bodové:** spoje se vytvářejí v podobě svarových čoček mezi přeplátovanými dílci;
- **švové:** spoje se vytváří kotoučovými elektrodami ve tvaru souvislého svaru (překrývající se bodové svary) většinou mezi přeplátovanými dílci;
- **výstupkové:** spoje (bodové) se vytvářejí na místech styku přirozených anebo záměrně vytvořených výstupků;
- **stykové:** svařované dílce jsou přitlačovány ve styčných plochách a svařují se v celé styčné ploše. [3]

3.1.1 Rozdělení bodového svařování

Podle způsobu vytváření bodového svaru rozlišujeme dva druhy bodového svařování:

- **přímé:** svarová čočka vzniká přímo mezi elektrodami. Elektrody při přímém svařování jsou orientovány proti sobě v jedné ose. Mezi dvěma elektrodami vzniká zpravidla pouze jeden svar.
- **nepřímé:** svarová čočka nevzniká přímo mezi elektrodami. Elektrody jsou většinou orientovány souběžně, proud při přechodu z jedné elektrody na druhou prochází ještě přes vodivou podložku nebo můstek. [4]



Obr. 2: Různé typy bodového svařování [4]

Vlevo na obr. 2 je zobrazeno přímé bodové svařování: a) jednobodové pomocí protiběžných elektrod, b) dvoubodové v paralelním zapojení, c) dvoubodové v seriovém zapojení.

Vpravo je zobrazeno nepřímé bodové svařování: a) dvoubodové rovnoběžnými elektrodami, b) jednobodové rovnoběžnými elektrodami (jedna elektroda neprovádí svar), c) dvoubodové protiběžnými elektrodami pomocí můstku [4]

3.2 Vznik odporového tepla

Celkové teplo vyvinuté mezi elektrodami za čas t je podle Joule-Lenzova zákona: [3]

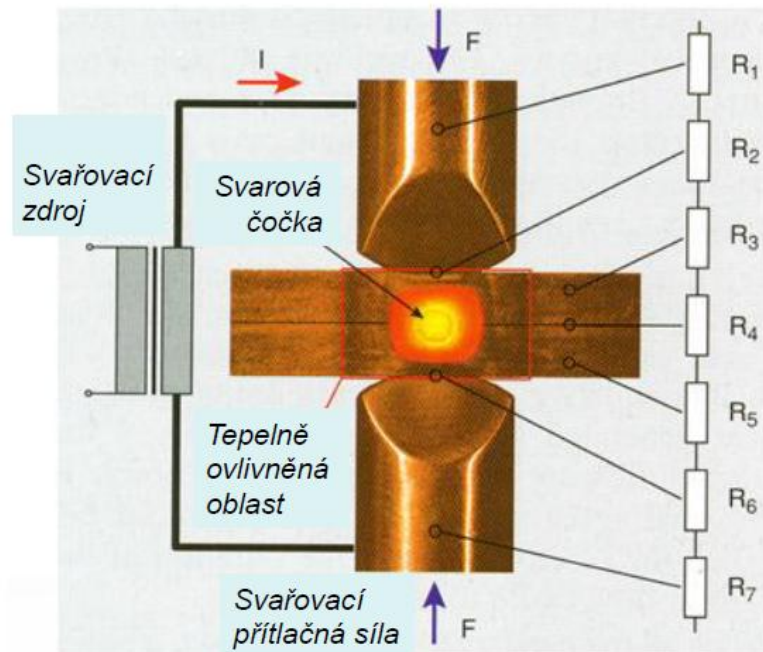
$$Q = R * I^2 * t \text{ [J]} \quad (1)$$

kde R je celkový činný odpor mezi elektrodami (pracovní odpor) [Ω], I — proud protékající svařovanými díly [A], t — čas průchodu proudu [s]. [3]

Proud procházející přes svařované materiály musí překonat několik dílčích odporů: odpory elektrod (R_1 , R_7), kontaktní odpory mezi elektrodami a svařovanými díly (R_2 , R_6), vnitřní odpory svařovaných dílů (R_3 , R_5) a kontaktní odpor styku mezi díly (R_4 , přechodový odpor). Viz obr. 3.

Součtem těchto dílčích odporů dostaneme celkový činný odpor R , použitý ve výpočtovém vztahu (1) [5]:

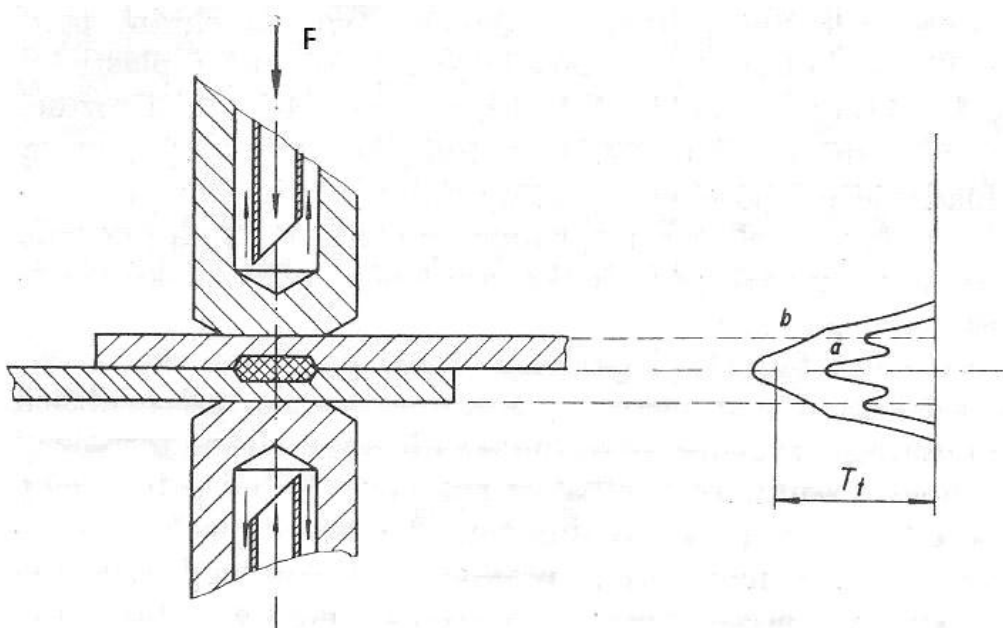
$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 \quad (2)$$



Obr. 3: Odpory vznikající při průchodu proudu přeplátovanými díly [5]

Při stykovém svařování se bere v úvahu odpor mezi svařovanými dílci (R_3) a vnitřní odpor samotných svařovaných dílců (R_2, R_4). [3]

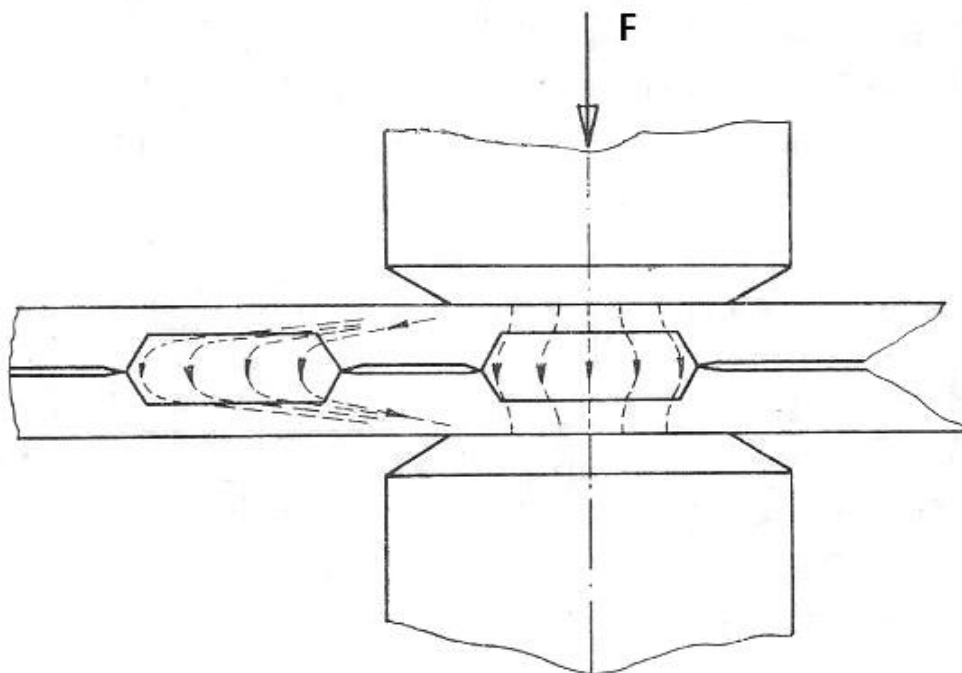
Jsou-li správné poměry jednotlivých složek elektrického odporu a vhodně uspořádané chlazení elektrodoých čepiček, průběh teploty při vzniku bodového svaru bude mít průběh zobrazený na obr. 4.



Obr. 4: Průběh teploty při vzniku bodového svaru:
a) na začátku svařování, b) na konci svařování c) T_t – teplota tavení svařovaného materiálu [4]

Je-li však svařovaný materiál znečištěn, deformován nebo jsou-li voleny nesprávné svařovací tlaky elektrod, může se většina svařovacího tepla soustředit do jiného místa, a tím vytvořit svar v místě, kde ho nepotřebujeme. [3]

V případě, že vzdálenost svařovacích bodů od sebe je menší než $L \leq 16t$ (kde t je tloušťka plechu), na vytvoření bodového svaru bude nepříznivě působit odbočování svařovacího proudu (tzn. shuntování, viz obr. 5). Aby byly ztráty odbočováním proudu co nejmenší, je třeba dodržet minimální rozteče mezi bodovými svary ($L \geq 16t$) a zároveň i minimální vzdálenosti od okraje plechů ($x \geq 1,25d$, kde d je průměr svarové čočky). [27]



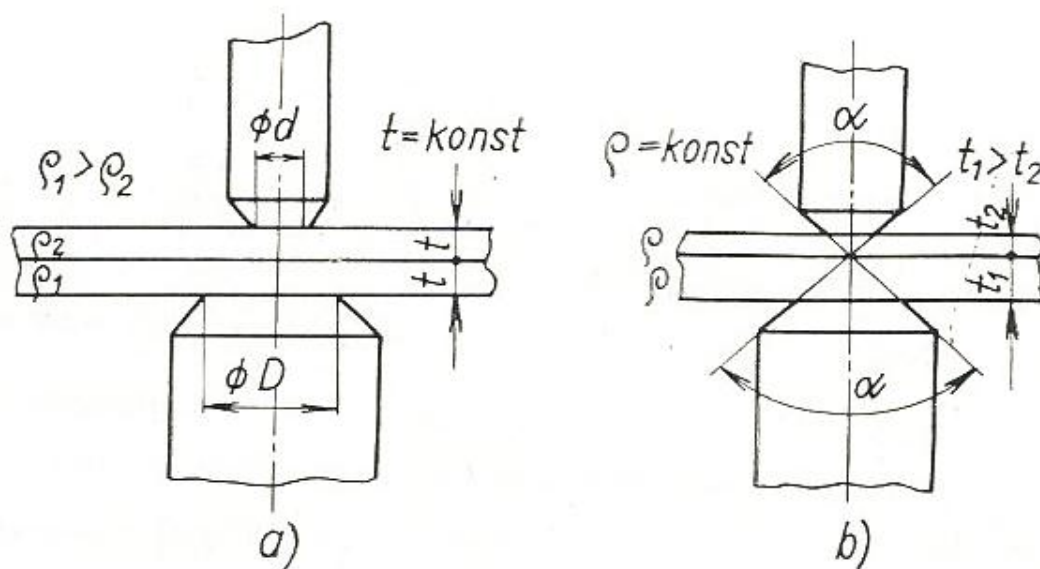
Obr.5: Odbočování proudu [4]

3.3 Tepelná rovnováha bodových svarů

Dokonalá svarová čočka je vzhledem ke stykové rovině symetrická, její vytvoření proto vyžaduje tepelnou symetrii ve svaru. Naruší-li se tepelná rovnováha (různými druhy nebo tloušťkami svařovaných materiálů, rozdílnými pracovními plochami elektrod apod.), nastane nerovnoměrné tavení svařovaných ploch, a tím i nestejný závar a vznik nesymetrické svarové čočky.

Při svařování dvou materiálů stejné tloušťky, ale různé jakosti (obr. 6 a) se tepelná nerovnováha odstraní vhodným přizpůsobením průměrů svařovacích elektrod, a to tím způsobem, že na straně materiálu s větším ohmickým odporem použijeme elektrody s větším průměrem a na straně materiálu s menším ohmickým odporem elektrody menšího průměru. Průměry elektrod jsou tedy

přímo úměrné ohmickým odporům materiálů, nebo nepřímo úměrné elektrickým vodivostem obou svařovaných materiálů. Při stanovení průměrů elektrod vycházíme z doporučených hodnot pro jeden materiál a druhý průměr elektrody z nich odvozujeme. Doporučené průměry elektrod (respektive jejich pracovní části) v závislosti na tloušťce plechu t jsou uvedeny v tabulkách 2 a 3.



Obr.6: Správná volba průměrů svařovacích elektrod pro případy:
 a) stejná tloušťka, ale různá jakost materiálů,
 b) různá tloušťka, ale stejná jakost materiálů [3]

Při svařování materiálů stejné jakosti, ale různé tloušťky (obr. 6 b) je třeba vyrovnat zvýšený odpor vyvolaný delší dráhou proudu v materiálu větší tloušťky. Za předpokladu, že se dá zanedbat odvod tepla do svařovaných dílů, doporučují se průměry elektrod přímo úměrné tloušťkám svařovaných dílů. [3]

3.4 Svařovací parametry

Základními svařovacími parametry u bodového odporového svařování jsou [5]:

- 1) svařovací síla (F_s)
- 2) svařovací proud (I_s)
- 3) svařovací čas (t_s)

Pro názornost jsou v tabulce 2 uvedeny doporučené parametry svařování pro čisté ocelové plechy (bez povrchové úpravy) a v tabulce 3 pro pozinkované ocelové plechy.

Tab. 2: Doporučené svařovací parametry pro bodové svařování nízkouhlikových ocelových plechů tl. 0,4 - 3 mm [7]

Tloušťka plechu		Průměr pracovní části elektrod (mm)	Svařovací parametry					
od (mm)	do (mm)		měkký režim			tvrdý režim		
			F_s (kN)	t_s (per.)	I_s (kA)	F_s (kN)	t_s (per.)	I_s (kA)
0,4	0,6	4	1,5-2,0	5-7	4-6	1,3-1,8	4-5	5-8
0,6	0,8	4	1,2-1,3	7-10	5-7	1,7-2,0	6-8	6-9
0,8	1,0	5	1,4-1,5	9-12	6-8	1,9-2,6	7-10	7-10
1,0	1,2	5	1,6-1,8	11-15	7-9	2,5-3,2	8-12	8-12
1,2	1,6	6	1,9-2,1	14-18	8-11	3,0-4,0	9-13	10-13
1,6	2,0	7	2,6-2,9	18-22	9-13	3,9-5,2	10-14	12-15
2,0	2,5	8	3,4-3,7	22-28	10-15	5,0-6,2	12-16	14-18
2,5	3,0	9	4,4-4,7	28-35	12-17	6,0-7,5	15-20	17-20

Poznámka: perioda = 0,02 sekundy (při frekvenci 50 Hz)

Tab.3 : Doporučené svařovací parametry pro ocelové plechy s povlakem zinku - tloušťka plechů 0,4 - 3 mm [7]

Tloušťka plechu		Průměr pracovní části elektrod (mm)	Svařovací parametry					
od (mm)	do (mm)		Žárově pozinkovaný plech			Elektrolyticky poz.plech		
			F_s (kN)	t_s (per.)	I_s (kA)	F_s (kN)	t_s (per.)	I_s (kA)
0,4	0,6	4	1,5-2,0	6-8	7-9	1,5-2,0	6-8	6-8
0,6	0,8	4	1,9-2,2	8-10	8-10	1,9-2,2	8-10	7-9
0,8	1,0	5	2,2-2,9	9-12	9-11	2,2-2,9	9-12	8-10
1,0	1,2	5	2,8-3,6	10-13	10-13	2,8-3,6	10-13	9-13
1,2	1,6	6	3,4-4,5	11-15	14-16	3,4-4,5	11-15	12-15
1,6	2,0	7	4,4-5,5	12-16	18-21	4,4-5,5	12-16	14-17
2,0	2,5	8	5,4-6,8	14-18	22-26	5,4-6,8	14-18	17-22
2,5	3,0	9	6,6-8,0	17-21	26-30	6,6-8,0	17-21	19-24

Z předchozích dvou tabulek je vidět, že zinková vrstva neovlivňuje závislost pracovního průměru elektrody na tloušťce plechu. V obou případech (bez a s povlakem) se volí podobné pracovní průměry. Volí se ale jiné parametry svařování (vyšší svařovací síla F_s , svařovací čas t_s a proud I_s).

3.5 Svařovací režimy a jejich porovnání

Svařovací režim je kombinace velikosti svařovacích parametrů. Rozdělení svařovacích režimů je uvedeno v tabulce 4.

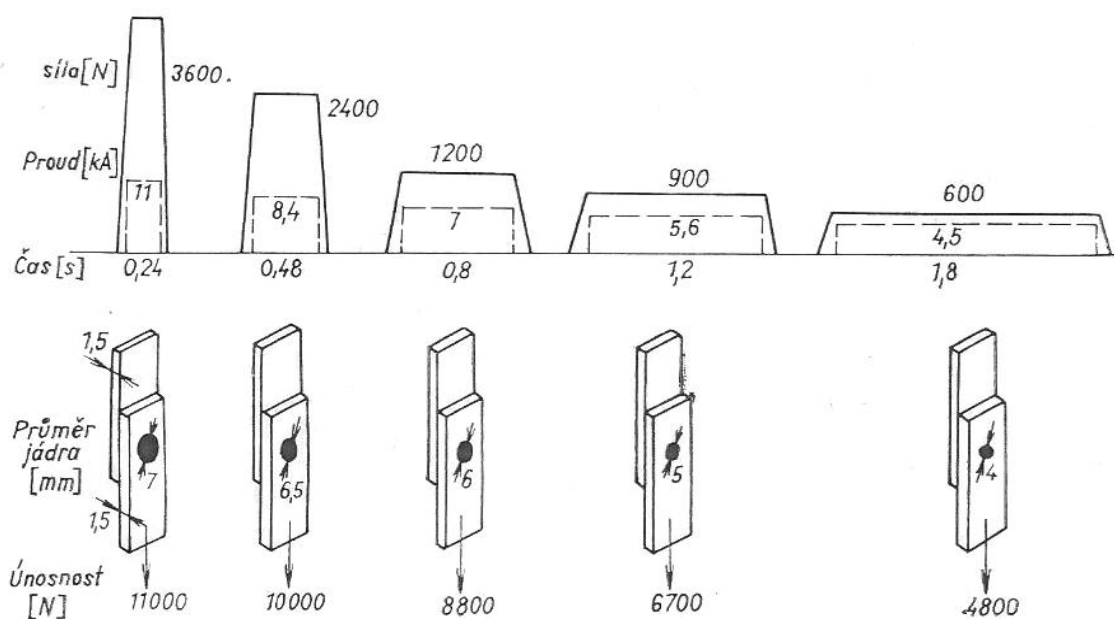
Tab. 4: Svařovací režimy [8]

Parametry	Měkký režim	Tvrký režim
Tlak	do 60 N/mm ²	nad 80 N/mm ²
Proudová hustota	do 150 A/mm ²	nad 200 A/mm ²
Svařovací čas	cca 1,5 s	3 a více period (0,16 s)

Tab. 5: Porovnání měkkého a tvrdého svařovacího režimu

	Měkký režim	Tvrký režim
Svarová čočka	vysoká, malý průměr	nízká, velký průměr
Elektrody	krátká životnost	delší životnost
Vtisky po elektrodě	hluboké	mělké
Spotřeba energie	vyšší	nižší
Únosnost spoje	nízká	vysoká
Produktivita	nízká	vysoká

Z tabulky 5 je patrné, že je výhodnější používat tvrdý režim. Pevnost při měkkém režimu může být dvakrát menší než při tvrdém režimu, jak je to vidět na obrázku 7 u prvního a posledního vzorku. Svar u tvrdého režimu je kvalitnější a opotřebení elektrod menší.



Obr. 7: Rozměry a únosnost bodových svarů při různých svařovacích parametrech [4]

Na druhé straně, výhodou měkkého režimu svařování je, že snižuje nebezpečí zakalení materiálu, což je výhodné u ocelí s vyšším obsahem uhlíku. Dále je vhodný pro opravy a zpracování znečištěných plechů. A jsou zde samozřejmě menší nároky (a tudíž i cena) na výkon zařízení. [5]

4. Elektrody pro odporové svařování

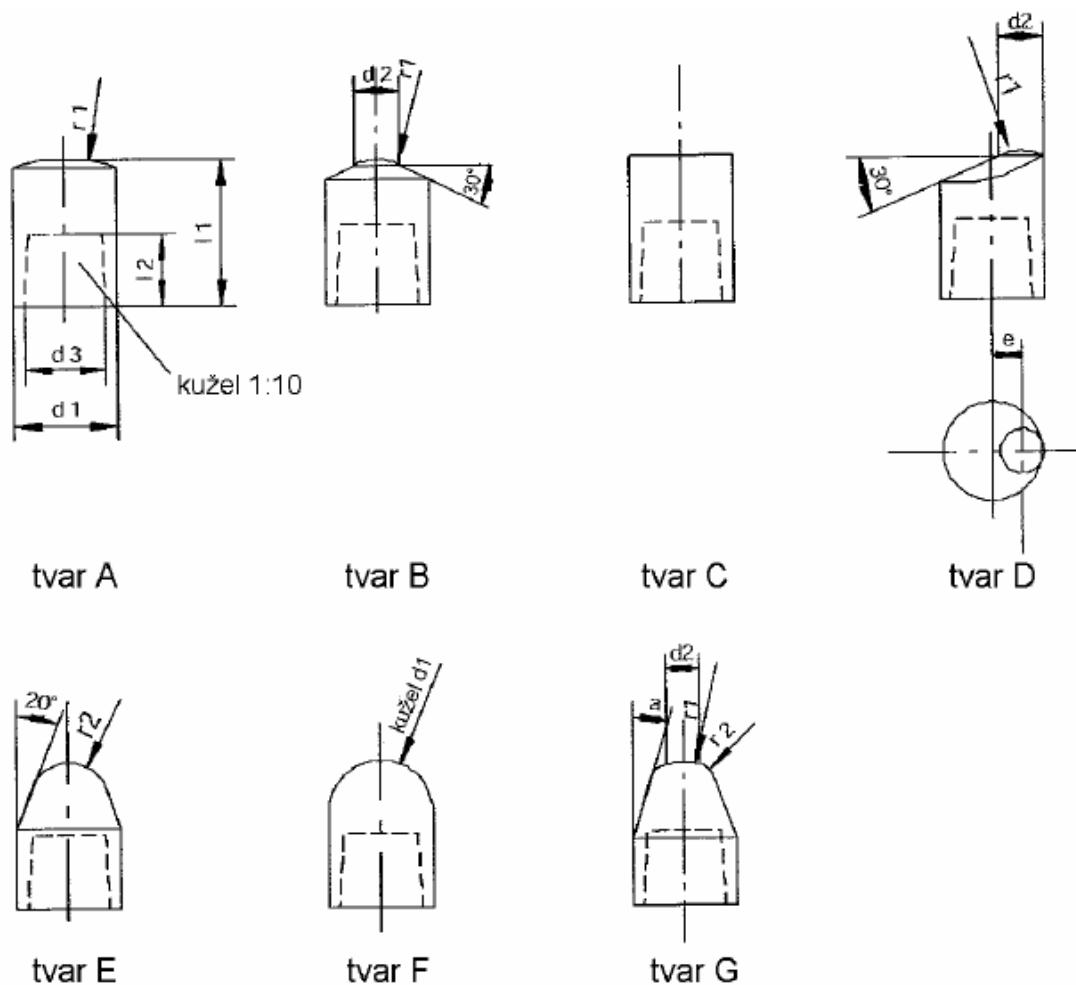
Díky své vodivosti a pevnosti je v současnosti nejčastějším materiálem pro výrobu elektrod pro odporové svařování měď, respektive její slitiny. Materiály elektrod jsou tříděny do dvou skupin (A a B podle RWMA Resistance Welder Manufactures Association) a v nich dále do několika podskupin (typů). Třídění elektrodových materiálů je zachováno i v normě ČSN EN ISO 5182, podle níž se materiály elektrod dnes rozdělují následovně [5]:

- Skupina A – Měď a slitiny mědi:
 - 1) Tepelně nezpracované slitiny mědi s vysokou elektrickou vodivostí a střední tvrdostí
 - 2) Tepelně zpracované/tvářené za studena slitiny mědi s vyšší tvrdostí
 - 3) Tepelně zpracované slitiny mědi s vylepšenými mechanickými vlastnostmi, ale s menší elektrickou vodivostí než u typu 1 a typu 2
 - 4) Speciální slitiny mědi [9]

U těchto čtyř skupin elektrod je vidět, že s rostoucími mechanickými vlastnostmi jako je tvrdost, klesá vodivost elektrody.

- Skupina B – Slinuté materiály:
 - 10) a 11) Slinuté materiály mědi a wolframu
 - 12) Slinuté materiály mědi a karbidu wolframu
 - 13) Slinuté materiály molybdenu
 - 14) Slinuté materiály wolframu
 - 15) Slinuté materiály wolframu a stříbra [9]

Podle normy ČSN EN ISO 5821 se elektrody pro odporové svařování se dále rozdělují podle tvaru A až G (obr. 8). Elektrody tvaru E, F a G lze frézovat a tím zvýšit dobu použití elektrod. [10]



Obr. 8: Tvary vyměnitelných elektrodových čepiček dle ČSN EN ISO 5821 [10]

5. Materiály pro stavbu karosérie automobilu

Jako materiály se nejčastěji používají ocelové, pozinkované ocelové, hliníkové plechy (včetně profilů z těchto materiálů) a plasty. [11]

5.1 Ocelové plechy

5.1.1 Rozdělení ocelí pro automobilový průmysl

Podle pevnosti lze všechny automobilové oceli rozdělit na 4 základní skupiny:

- 1) Měkké oceli (*Mild steels*)
- 2) Vysokopevnostní oceli (*High-strength steels, HSS*)
- 3) Oceli velmi vysokých pevností (*Very-high-strength steels, VHSS*)
- 4) Ultravysokopevnostní oceli (*Ultra-high-strength steels, UHSS*) [12]

Někdy se používá termín extravysokopevnostní oceli (*Extra-high strength steel, EHSS*) jako skupina ocelí u kterých je pevnost mezi pevností VHSS ocelí a UHSS ocelí (viz obr. 9).

Tab. 6: Rozdělení karosářských ocelí podle pevnosti a jejich aplikace [12]

Skupina	Druh oceli	Použití
Měkké oceli (<i>Mild steels</i>):	<ul style="list-style-type: none"> - ocel běžné kvality (<i>Commercial steel, CS</i>) - tažná ocel (<i>Drawing/Forming steel, DS/FS</i>) - hlubokotažná ocel (<i>Deep drawing steel, DDS</i>) - zvlášť hlubokotažná ocel (<i>Extra-deep drawing steel, EDDS</i>) - zvlášť hlubokotažná ocel plus (<i>Extra-deep drawing steel Plus, EDDS+</i>) 	kryty dveří, podlaha, blatníky, kliková skříň
Vysokopevnostní oceli (<i>High-strength steels, HSS</i>)	Oceli vysokopevnostní bez intersticiálních prvků (<i>Interstitial-free high-strength steel, IF-HS</i>)	příčnický, střední mezidveřní sloupky (B-sloupky), kapota
	Bake-hardening oceli (<i>Bake-hardening steels, BH</i>)	dveře, kapota, dveře zavazadlového prostoru, přední blatník, střeška, spodek karosérie, výztuha, příčné nosníky
	Vysokopevnostní nízkolegované oceli (<i>High-strength low-alloy steels, HSLA</i>)	výztuha nárazníku, podélné nosníky, podvozek, kola
Oceli velmi vysokých pevností (<i>Very-high-strength steels, VHSS</i>)	Oceli s plasticitou vyvolanou transformací (<i>Transformation-induced plasticity steels, TRIP</i>)	podélné nosníky, příčnický, vystužení středních mezidveřních sloupků, prahy, vystužení nárazníku
	Dvoufázové oceli (<i>Dual-phase steels, DP</i>)	střední mezidveřní sloupky, nárazník, kola, spojovací materiál
	Vícefázové oceli (<i>Complex-phase steels, CP</i>)	šikmý nosník dveří, ramena zavěšení kola
	Feriticko-bainitické oceli (<i>Ferritic-bainitic steels, FB</i>)	podélné nosníky, příčnický, kola, převodovka, ramena zavěšení kola
Ultravysokopevnostní oceli (<i>Ultra-high-strength steels, UHSS</i>)	Martenzitické oceli (<i>Martensitic steel, MART</i>)	přední a zadní nárazníky, šikmé nosníky dveří, prahy, příčný nosník střechy

5.1.2 Vlastnosti ocelí pro automobilový průmysl

Měkké oceli (Mild steels) – oceli bez legujících prvků s nízkým obsahem uhlíku a dobrou tvařitelností. [12]

Oceli vysokopevostní bez intersticiálních prvků (IF-HS) – oceli s feritickou strukturou s dobrou tvařitelností a nízkým obsahem uhlíku, které jsou zpevněny přísadou manganu, křemíku a fosforu. Na využití pro výrobu karosérií automobilů připadají zhruba 4 %. [12] [13]

Bake-hardening oceli (BH) – oceli s feritickou strukturou, které vykazují zvýšení smluvní meze kluzu po ohřevu v oblasti nad 170 °C po dobu 20 minut díky vypálení laku (BH efekt). Zhruba 10 % daného typu ocelí je využíváno na výrobu karosérií. [13] [14]

Vysokopevostní nízkolegované oceli (HSLA) – oceli obsahující jeden nebo více legujících prvků Nb, Ti a V pro dosažení požadované úrovně smluvní meze kluzu. Daný typ ocelí se využívá v současné době na karosérie zhruba z 1 %. [13] [14]

Oceli s plasticitou vyvolanou transformací (TRIP) – oceli s převážně feritickou maticí obsahující zbytkový austenit, který se může v průběhu tváření transformovat na martenzit, čímž se dosáhne vysoké hodnoty pevnosti (TRIP efekt). Jedná se o oceli, které jsou využívány ze 3-4 %. [13] [14]

Dvoufázové oceli (DP) – oceli s feritickou maticí, které obsahují sekundární martenzitickou fázi, přítomnou ve formě ostrůvků a popřípadě bainit jako doplňkovou fázi. Jejich využití pro výrobu karosérií a dalších komponent odpovídá cca 74 %. [13] [14]

Vícefázové oceli (CP) – oceli s feriticko-bainitickou maticí s malým podílem martenzitu, zbytkového austenitu a/nebo perlitu, kde je extrémní zjemnění zrna způsobené zbržděnou rekrytalizací nebo precipitací mikrolegujících prvků. [14]

Feriticko-bainitické oceli (FB) – oceli obsahující bainit nebo zpevněný bainit v matici, kterou tvoří ferit a/nebo nebo zpevněný ferit. [14]

Martenzitické oceli (MART) – oceli částečně anebo plně martenzitické. Vykazují vysoké pevnostní vlastnosti na úkor plastických. Jejich využití je odhadováno na 4 %. [13]

Pro příklad na obrázku 9 je zobrazena konstrukce karosérie Volvo V70 (model 2011) s použitím materiálů označených barevně podle pevnosti.

- Ultra High Strength Steel
- Extra High Strength Steel
- Very High Strength Steel
- High Strength Steel
- Mild Steel / Forming grades
- Aluminium



Obr. 9: Konstrukce karosérie Volvo V70: UHSS – ultravysokopevnostní ocel, EHSS – extravysokopevnostní ocel, VHSS – ocel velmi vysokých pevností, HSS – vysokopevnostní ocel, Mild steel –měkká ocel, Aluminium – hliník [20]

5.2 Plechy ze slitin hliníku

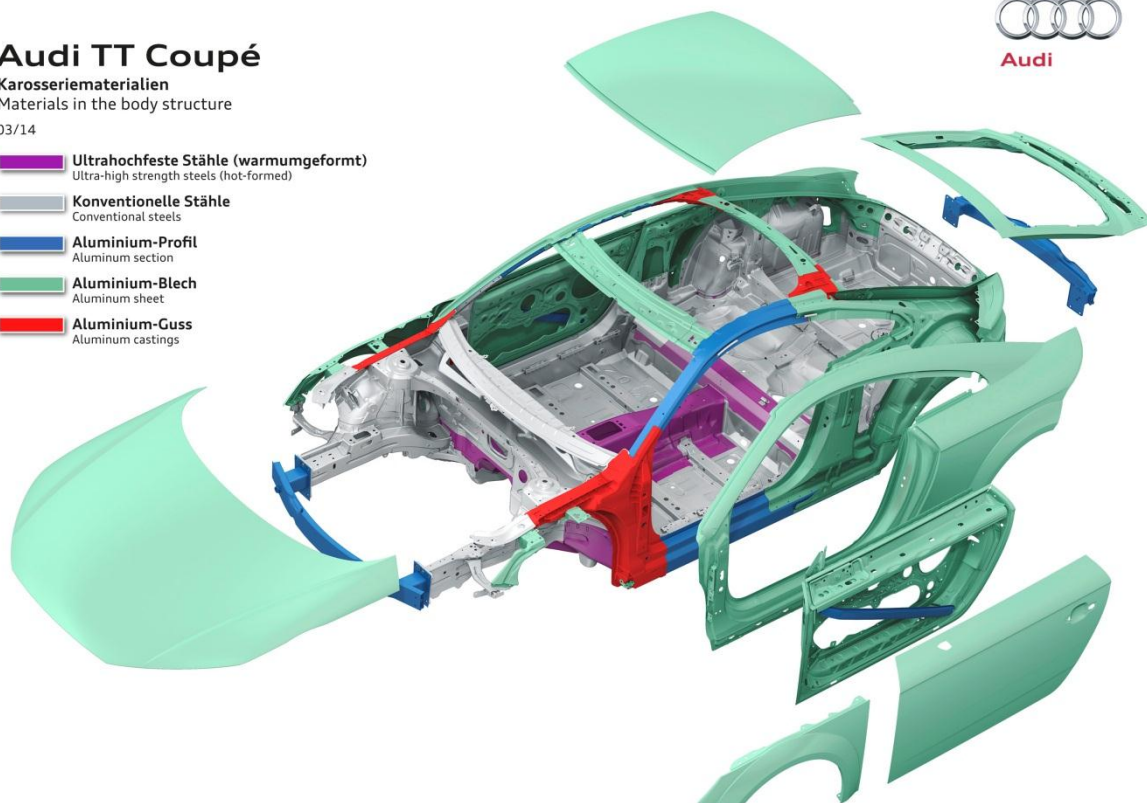
Snižování dopadů automobilů na životní prostředí a snižování spotřeby paliva žádá stále lehčí konstrukce. Úspora 100 kg hmotnosti sníží spotřebu paliva o 0,3 l a o 7,5 g emisí CO₂ na 100 km. Proto v sedmdesátých letech XX. století automobilky začali vyměňovat celou řadu dílů karosérie za lehčí díly ze slitin hliníku a tímto snižovali celkovou hmotnost automobilů. Nové pevné slitiny hliníku byly schopny úplně nahradit ocel. To dokazují i dnes inženýři automobilky Audi, kteří aktivně používají slitiny hliníku při stavbě konstrukce karosérie (viz obr. 10). [15]
[16]

Audi TT Coupé

Karosseriematerialien
Materials in the body structure

03/14

- Ultrahochfeste Stähle (warmumgeformt)**
Ultra-high strength steels (hot-formed)
- Konventionelle Stähle**
Conventional steels
- Aluminium-Profil**
Aluminum section
- Aluminium-Blech**
Aluminum sheet
- Aluminium-Guss**
Aluminum castings



Obr. 10: Konstrukce karosérie Audi TT třetí generace s použitím materiálů označených barevně podle pevnosti: US – ultravysokopevnostní oceli, KS – konvenční oceli, AP – hliníkový profil, AB – hliníkový plech, AG – hliníkový odlitek [17]

V automobilovém průmyslu se používají skupiny slitin hliníku EN AW (European Standard Aluminium Wrought) a AA (Aluminum Association). Mechanické vlastnosti jednotlivých slitin jsou uvedeny v tabulce 7. Chemické složení a minimální staticko-mechanické parametry jsou uvedeny v příloze 1.

Tab. 7: Standardně používané Al slitiny pro zápuskové výkovky – vlastnosti a použití [18]

Mezinárodní označení	Specifické vlastnosti materiálu	Typické oblasti použití
EN AW-1350A	výborné vlastnosti lesku a anodizace, zvýšená tepelná a elektrická vodivost, vysoká odolnost vůči korozi a chemická odolnost, dobrá svařitelnost	elektrotechnický průmysl, chemický průmysl
EN AW-2014	zvýšené pevnostní vlastnosti	letecký průmysl, strojírenství, automobilový průmysl
EN AW-2017A	dobrá dynamická odolnost vůči zátěži	strojírenství, bezpečnostní komponenty
EN AW-2024	zvýšené pevnostní vlastnosti	letecký průmysl, strojírenství
EN AW-2618A	zvýšené vlastnosti tepelné odolnosti	letecký průmysl, strojírenství, automobilový průmysl
EN AW-5083	vysoká odolnost vůči mořské vodě, dobrá svařitelnost, odolnost vůči kryogenním teplotám	komponenty odolné vůči mořské vodě, loďařství, strojírenství, chemický průmysl
EN AW-5754	dobré anodizační vlastnosti, dobrá svařitelnost	strojírenství, automobilový průmysl, domácí potřeby

EN AW-6401	odolná vůči korozi, elektro-chemicky lze upravit do lesku a anodizovat, pro nejvyšší dekorativní nároky	automobilový průmysl
EN AW-6060/6063	výborné vlastnosti tváření, svařitelná, odolná vůči korozi, elektro-chemicky lze upravit do lesku a anodizovat, pro nejvyšší dekorativní nároky	automobilový průmysl, domácí potřeby, kování
EN AW-6005A	svařitelná, lze anodizovat	doprava, transport, kolejová vozidla, stavební průmysl
EN AW-6061	dobrá statická a dynamická odolnost vůči zátěži, i pro dekorativní nároky při zvýšené pevnosti	strojírenství, automobilový průmysl, stavební průmysl
EN AW-6082	dobrá statická a dynamická odolnost vůči zátěži, dobrá odolnost vůči korozi, vhodná pro třískové obrábění	strojírenství, automobilový průmysl, stavební průmysl, komponenty do hydraulických a pneumatických zařízení
EN AW-6082	dobrá statická a dynamická odolnost vůči zátěži, dobrá odolnost vůči korozi a korozi trhlin z napětí, vhodná pro třískové obrábění	automobilový průmysl, bezpečnostní a podvozkové komponenty
EN AW-6082	zvýšená odolnost vůči tvorbě hrubého zrna a vůči korozi a korozi trhlin z napětí, vhodná pro třískové obrábění, zvýšená statická a dynamická odolnost vůči zátěži	automobilový průmysl, bezpečnostní a podvozkové komponenty
EN AW-6110A	zvýšené pevnostní vlastnosti, vhodná pro třískové obrábění, zvýšená statická a dynamická odolnost vůči zátěži	automobilový průmysl, bezpečnostní a podvozkové komponenty
AA 6110	zvýšené pevnostní vlastnosti, vhodná pro třískové obrábění, zvýšená statická a dynamická odolnost vůči zátěži	automobilový průmysl, bezpečnostní a podvozkové komponenty
AA 6066	zvýšené pevnostní vlastnosti, vhodná pro třískové obrábění, zvýšená statická a dynamická odolnost vůči zátěži	automobilový průmysl, bezpečnostní a podvozkové komponenty
EN AW-7020	dobrá svařitelnost	doprava, transport, kolejová vozidla, automobilový průmysl, strojírenství
AA 7018	zvýšené pevnostní vlastnosti, dobrá svařitelnost	automobilový průmysl, strojírenství
EN AW-7022	zvýšené pevnostní vlastnosti	strojírenství, komponenty hydraulických zařízení
EN AW-7075	extrémně vysoké pevnostní vlastnosti	automobilový průmysl, letecký průmysl, strojírenství, komponenty hydraulických zařízení

Dnes obsahuje běžné osobní auto kolem 110-145 kg hliníku a s každým rokem se podíl lehkého kovu zvětšuje. Lehké automobily využívající hliník a stavěné podle nejmodernějších konstrukčních metod jsou budoucností automobilového průmyslu. [11] [16]

5.3 Povrchové úpravy používané při stavbě karosérie automobilu

Do lakovny přicházejí jednotlivé karosérie jako hotové svařence. Samotnému lakování předcházejí předúpravy, které zahrnují odmaštění a fosfátování. Odmaštěním se odstraňují nečistoty z povrchu kovu, které jsou vázány buď fyzikální absorbcí (látky tukového charakteru) nebo adhezními silami (anorganické nečistoty, kovové třísky, prach aj.).

Dále bude popsán konkrétní případ povrchové úpravy používané pro Škodu Superb. [19]

Následuje fosfátování, které se provádí ponorem celé karosérie do lázně, kde je její povrch ošetřen chemicky vyloučenou 5 μ m vrstvou krystalického zinkofosfátu, který přispívá ke korozní odolnosti a zajišťuje lepší přilnavost dalších vrstev antikorozi a povrchové ochrany.

Následujícím krokem je kataforézní lakování, které je rovněž prováděno ponořením do lázně. Vyloučení ochranné vrstvy tloušťky 15 až 20 μ m je však způsobeno elektrochemickou reakcí a je jí zajištěna velmi dobrá antikorozi ochrana spojů, hran a dutin karosérie. Zde je ovšem nutné podotknout, že komplexní povrchová ochrana karosérie začíná již při jejím svařování, protože pro výrobu jsou používány výhradně pozinkované plechy. Povrchové plechy jsou elektrolyticky zinkovány do tloušťky povlaku 8 μ m, vnitřní plechy pak do tloušťky 10 μ m, ovšem žárovým zinkováním. [19]

Při elektrolytickém (galvanickém) zinkování se ocelový plech nejprve odmastí a pak očistí mořením. Plech se zavěsí do vodného roztoku zinečnaté soli (elektrolyt) a zapojí se jako katoda ke zdroji stejnosměrného proudu. Jako anoda se zapojí deska z čistého zinku. Jakmile se zapojí elektrický proud, rozpouští se zinek z anody a ve formě zinečnatých iontů putuje ke katodě, kde se vylučuje na povrchu plechu.

Při žárovém zinkování se ocelový plech po odmaštění, moření a oplachu ponoří do tavidlové lázně, což je vodný roztok chloridu zinečnatého a chloridu amonného, a usuší se. Ponořením do tavidla se na povrchu plechu vytvoří tenká vrstva tavidla, která brání oxidaci. [21]

Po kontrole kvality kataforetické vrstvy dochází k utěšňování spojů, které se provádí ve dvou krocích - hrubé a jemné - pomocí těsnících materiálů na bázi polyvinylchloridu. Jeho účelem je zajištění vodotěsnosti, ale přispívá i k odhlučnění karosérie. U automobilu je nezbytnou součástí kvalitní antikorozi ochrany i důkladné ošetření podlahy a podvozku, které se provádí plastizoly na bázi polyvinylchloridu po utěšnění. Tato vrstva chrání spodní část vozu před poškozením odlétávajícími kamínky. Aplikace se provádí oproti předchozím povrchům ve velké vrstvě několika desetin milimetru. Na speciálním transportním vozíku, tzv. skidu, putuje takto připravená karosérie do další kabiny, kde je automaticky elektrostaticky nanášen vodou ředitelný plnič, jehož úkolem je vyrovnat drobné nerovnosti pro dokonalý vzhled vrchního laku. Tloušťka vrstvy plniče se pohybuje kolem 35 μ m. Po jeho zaschnutí a další kontrole kvality se již nanáší barevný podklad, který určuje barevný odstín karosérie. Jeho tloušťka je od 15 do 25 μ m podle typu použitého materiálu.

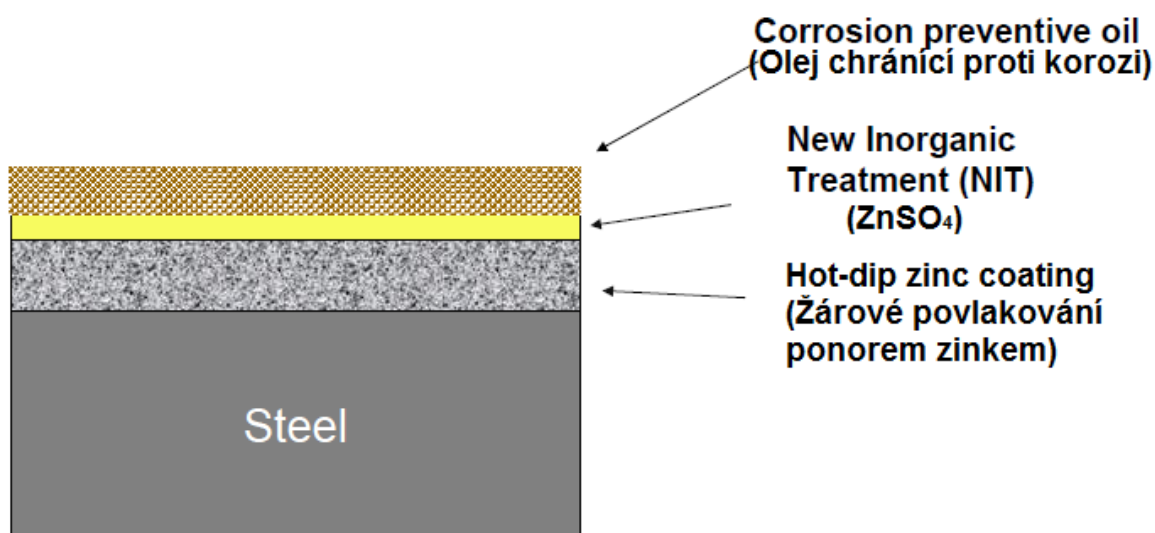
Barevný podklad chrání konvenční bezbarvý vypalovací lak, jehož sušení probíhá za teploty 140 °C. Díky této vrstvě tloušťky 35 až 45 µm má karosérie vysoký lesk a lepší odolnost proti vnějším vlivům okolního prostředí (ultrafialové záření, emise z ovzduší i další chemické vlivy).

Ovšem ani vrchním lakem ještě povrchová úprava karosérie nekončí. Při poslední kontrole se zjišťuje, zda je vůz dokonale nalakován, v případě nutnosti se provedou malé opravy a skid s karosérií směřuje do dekoru, kde se na karosérii přidávají dekorační prvky, jako je štítek s nápisem, gumové pásy na boční strany atd.

Poslední operací zajišťující kompletní antikorozi ochranu je konzervace dutin, která se provádí zaplavením horkým voskem o teplotě 120 °C. Tento vosk neobsahuje organická rozpouštědla, je šetrný k životnímu prostředí, a doplňuje tak ekologickou koncepci lakovny. Z lakovny odchází karosérie do haly konečné montáže. [19]

5.3.1 New Inorganic Treatment (NIT)

NIT je druh povrchové úpravy, který byl vyvinut ve spolupráci mezi Škoda Auto a.s. a společností Arcelor Mittal (dodavatel ocelových plechů) a zaveden do výroby v roce 2005. Chemické složení NIT představuje hydratovanou sůl, tvořenou zinkem ve formě oxidu nebo hydroxidu ve sloučenině se sulfátem. NIT představuje tenkou vrstvu ležící na vrstvě zinku (viz obr. 11). I když na plechu není patrná, přináší užitečné vlastnosti plechu. Pozinkované plechy s povrchovou úpravou NIT se používají při výrobě bočních dveří u Fabie apod.



Obr. 11: Ocelový pozinkovaný plech s NIT v příčném řezu [22]

K užitečným vlastnostem, které přináší NIT patří [22]:

- Zlepšuje tažnost díky snížení koeficientu tření.
- Minimální závislost na množství oleje a nízká citlivost na druh oleje
- Menší znečištění nářadí

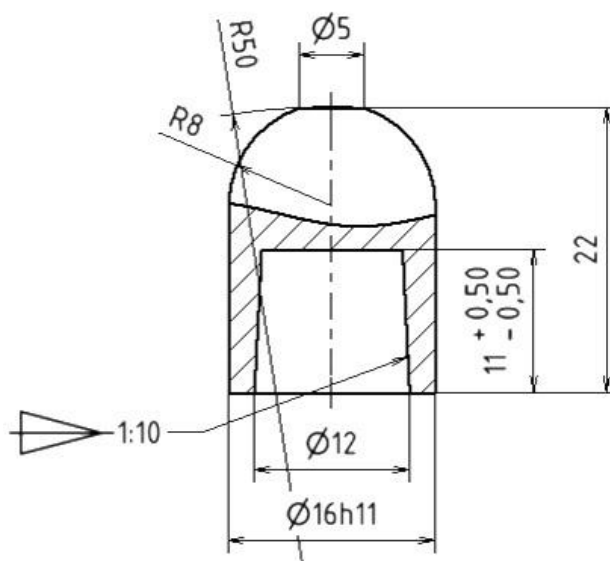
6. Návrh experimentu

Jak již bylo řečeno, cílem bakalářské práce je porovnat jak povrchová úprava (NIT) ovlivňuje životnost bodových svařovacích elektrod. Způsob (metodiku) hodnocení životnosti elektrod uvádí norma ČSN EN ISO 8166, podle níž se životnost hodnotí jako počet přijatelných bodových svarů, které mohou být provedeny mezi potřebou úpravy elektrod. [6]

6.1 Podmínky realizace zkoušek

Tato norma uvádí následující podmínky realizace zkoušek [6]:

- Elektroda dosáhne své životnosti, když provedené svary mají průměr menší než $3,5\sqrt{t}$ u tří z pěti po sobě následujících svarů (průměr se zjišťuje pomocí odlupovací zkoušky). Vzhledem k tomu, že v našem případě byl zvolen plech s tloušťkou 0,8 mm, průměr svaru by neměl být menší než 3,13 mm.
- Průměr elektrody by měl odpovídat vztahu: $d = 5\sqrt{t}$. S ohledem na tloušťku svařovaného materiálu byl zvolen pracovní průměr elektrod 5 mm. Tvar elektrody a její chemické složení odpovídá typu, který se používá ve firmě Škoda Auto a. s. (viz obr. 12)

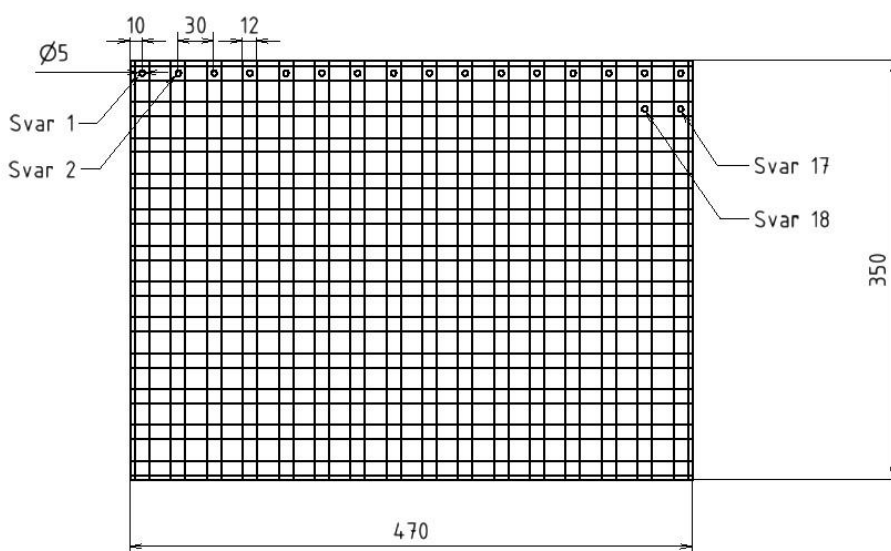


Obr. 12: Použitá elektrodová čepička pro odporové svařování 39D 1978-1 – CuCr1Zr o pracovním průměru 5 mm

- Rozměry zkušebních plechů musí být zvoleny tak, aby se na plech umístilo nejméně 192 bodových svarů.
- Musí se svařovat nejméně 10 mm od okraje plechu a s roztečí svarů nejméně 30 mm (viz kapitola 3.2).

Na základě výše zmíněných podmínek byl navrhnout zkušební plech s rozměry 470 (délka) x 350 (šířka) mm (a tloušťkou 0,8 mm). Pro snadnější zaměření elektrod do místa svaru na plechu byly na plechu označeny pásma o šířce 12 mm jak to popisuje obrázek 13.

Svary byly prováděny postupně napříč plechem. Po dokončení první řady svarů (viz obr. 13) se pohyb plechů obrátí a v obráceném sledu se dokončí druhá řada. Dále se postup opakuje.



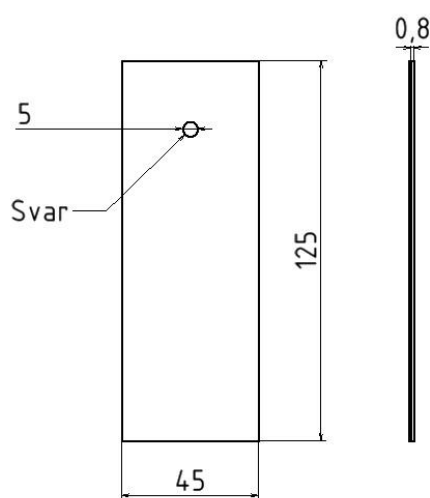
Obr. 13: Rozměry zkušebního plechu

- Teplota plechu během svařování nesmí přesáhnout 60 °C. Měření teploty bylo realizováno pomocí digitálního teploměru VOLTcraft 300 K s kontaktním termočlánkem NiCr-Ni s přesností $\pm 0,3\% + 1$ °C (viz obr. 14).



Obr. 14: Dotykový teploměr VOLTcraft 300K

- Na každých 192 bodových svarů (tzn. jeden zkušební plech) musí být (dle normy ČSN EN ISO 8166) provedeno 8 zkušebních svarů. Tyto zkušební svary byly provedeny na samostatných plechách o rozměrech 45 mm x 125 mm (jeden svar spojuje 2 zkušební plechy) při použití stejného materiálu. Velikost zkušebních vzorků byla navrhnutá s ohledem na minimální vzdálenost od okraje dle výše uvedené normy. Tyto zkušební vzorky byly použity pro provedení odlupovací zkoušky provedené v souladu s normou ČSN EN ISO 10447 (Odlupovací a sekáčové zkoušení odporových bodových a výstupkových svarů). Viz obrázek 15. Na takto provedených svarových spojích byla provedena odlupovací zkouška (dle zmíněné normy) a vyhodnocena kvalita bodových svarových spojů.



Obr. 15: Zkušební vzorek pro odlupovací zkoušku

6.2 Zkušební materiál

6.2.1. Rozbor specifikace plechu

Pro experiment byly použity ocelové pozinkované plechy obojího typu s označením:

- 1) HX180BD Z100 MCO
- 2) HX180BD Z100 MCO + NIT

Označení materiálu vychází z normy ČSN EN 10346 (Kontinuálně žárově ponorem povlakované ocelové ploché výrobky) a znamená:

H – plochý výrobek k tváření za studena s vyšší mezí kluzu

X – způsob válcování není předepsán (válcování za tepla nebo za studena)

180 – minimální smluvní mez kluzu ($R_{p0,2}=180$ MPa)

B – bake-hardening ocel, tzn. ocel která vyžaduje zvýšení smluvní meze kluzu po ohřevu v oblasti nad 170 °C po dobu 20 minut. Tyto oceli jsou vhodné pro tváření za studena a vykazují vysokou odolnost proti plastickému prodloužení a dobrou odolnost proti promáčknutí

D – určeno k žárovému povlakování ponorem

Z – žárově zinkováno (hot-dip zinc coating). Nanesení povlaku zinku na k tomuto účelu upravený pás, ponořením do roztavené zinkové lázně obsahující nejméně 99 % zinku

100 – označení povlaku (viz tab. 8) [14]

Tab. 8: Hmotnost a tloušťka povlaku [14]

Označení povlaku	Minimální hmotnost povlaku, oboustranně (g/m ²)		Teoretické informativní hodnoty tloušťky na jednotlivém povrchu při zkoušce na jednom místě (μm)		Měrná hustota (g/cm ³)
	Zkouška na třech místech	Zkouška na jednom místě	Typická hodnota	Rozsah	
Hmotnost zinkového povlaku (Z)					
Z100	100	85	7	5 až 12	7,1

Hmotnost povlaku musí odpovídat údajům v tabulce 8, avšak není vždy rovnoměrně rozdělena na oba povrchy výrobku. Proto lze předpokládat, že hmotnost povlaku je alespoň 40 % hodnoty uvedené v tabulce 8 pro zkoušku na jednom místě na každém povrchu výrobku. [14]

M – malý zinkový květ. Povrch je získán řízeným procesem tuhnutí zvláštním způsobem. Povrch má zmenšené zinkové květy, v některých případech neviditelné pouhým okem. Toto provedení se může objednat tehdy, pokud obvyklý zinkový květ nesplňuje nároky na vzhled povrchu.

C – povrch nejlepší jakosti. Jakosti povrchu C se dosáhne převálcováním za studena. Kontrolovaný povrch musí umožnit vysoce kvalitní vzhled lakování. Druhý povrch musí odpovídat minimálně jakosti povrchu B.

O – olejování. [14]

U plechu HX180BD Z100 MCO + NIT se jedná v podstatě o totožný plech, který je navíc opatřen vrstvou NIT (viz kapitola 5.3.1).

6.2.2. Chemické složení základního materiálu

Tab. 9: Chemické složení (rozbor tavby) oceli
HX180BD Z100 MCO [14]

Označení			Chemické složení [hmot. %]							
Druh oceli		Dodaný povlak	C max.	Si max.	Mn max.	P max.	S max.	Al celk.	Nb max.	Ti max.
Značka	Číselné označení									
HX180BD	1.0914	+Z	0,1	0,50	0,70	0,06	0,025	≤0,1	0,09	0,12

7. Experimentální část

7.1 Ověřování tloušťky zinkového povlaku

Ověření tloušťky zinku proběhlo pomocí přístroje Positector 6000, elektronického přístroje, který využívá magnetického a vířivoproudého principu pro přesná a rychlá měření tloušťky povlaků na feromagnetických i diamagnetických kovech. [23]



Obr. 16: Zařízení na měření tloušťky povlaku Positector 6000

Měření proběhlo na třech vzorcích plechů bez povrchové úpravy NIT a na třech s povrchovou úpravou NIT. Tloušťka byla změřena 5-krát na jedné straně a 5-krát na druhé straně na každém vzorku (příloha 2 a 3).

V tabulce 10 jsou uvedeny střední hodnoty tlouštěk 5-ti měření pro každou stranu vzorku. Tloušťka povlaku zinku bez NIT se pohybuje v intervalu 4-5 μm ; u plechu s NIT 5-6 μm .

Tab. 10: Tloušťka vrstvy zinku

Číslo vzorku	Zkouška na 5 místech [μm] (střední hodnota)			
	Vzorky bez NIT		Vzorky s NIT	
	Strana 1	Strana 2	Strana 1	Strana 2
1	4,54	4,22	6,30	5,88
2	4,80	4,52	6,18	5,52
3	4,80	5,2	6,82	5,72

Dané střední hodnoty jsou trochu menší než typická hodnota 7 μm, uvedená v normě ČSN EN 10 346. Nicméně, podle téže normy lze předpokládat, že hmotnost povlaku je alespoň 40 % hodnoty uvedené v tabulce 8 pro zkoušku na jednom místě na každém povrchu výrobku, což je v našem případě 85 g/m². Minimální hodnoty tloušťky jednoho měření na jednom místě pro plech bez NIT a s NIT jsou 3,5 μm a 5,1 μm (viz přílohy 2 a 3). I kdyby jsme předpokládali, že plech v nějakém místě má na obou stranách minimální hodnotu (například 3,5 μm na jedné a 3,5 μm na druhé), tak v přepočtu na hmotnost daná hodnota odpovídá normě. [14]

$$\begin{aligned}
 \text{Hmotnost zinkového povlaku (oboustranně)} &= \\
 &= 2 * 7,1 \text{ g/cm} * \text{tloušťka povrchu zinku (v } \mu\text{m na jednom bodě)} \\
 &= 2 * 7,1 * 3,5 = 49,7 \text{ g/m}^2 \quad (3) \text{ [14]} \\
 85 \text{ g/m}^2 * 0,4 &\leq 49,7 \text{ g/m}^2 \\
 34 \text{ g/m}^2 &\leq 49,7 \text{ g/m}^2
 \end{aligned}$$

Tloušťka povlaku zinku odpovídá normě.

7.2 Ověření mechanických vlastností

Ověření mechanických vlastností proběhlo na zkušebním trhacím stroji LabTest 5.100SP1 s vertikálním provedením s přesností řízení rychlosti ±0,5 % a jmenovitým zatížením 10 kN.

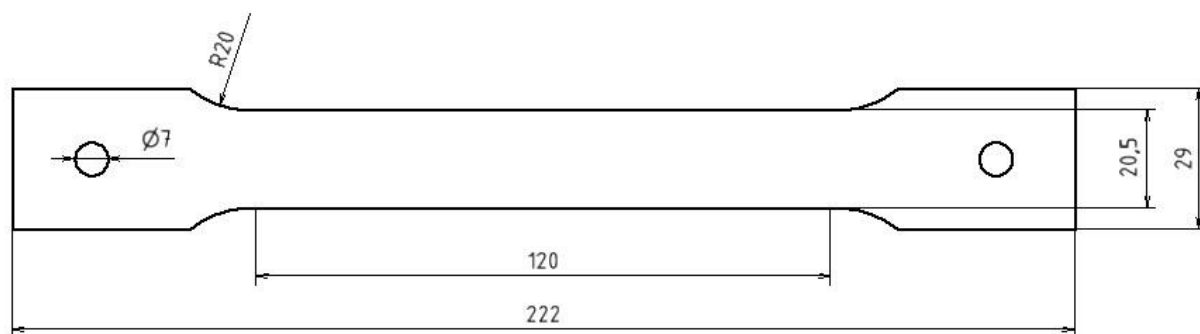


Obr. 17: Zkušební trhací stroj LabTest 5.100SP1

Rozměry zkušebních těles byly zvoleny podle normy ČSN EN ISO 6892-1 (Kovové materiály – Zkoušení tahem – Část 1). Zkouška proběhla na třech vzorcích plechu bez povrchové úpravy NIT a na třech s povrchovou úpravou NIT. Před samotnou zkouškou byla zkontrolována šířka každého vzorku na třech místech a vypočtena průměrná šířka vzorku ve zkoušené (užší) části vzorku (viz příloha 4 a 5). Tloušťka byla kontrolována jednou pro všechny vzorky. Tyto údaje byly vloženy do SW. Pomocí laserového extenzometru bylo snímáno prodloužení vzorků, které byly opatřeny reflexními pásky. Vzdálenost mezi pásky odpovídala počáteční měřené délce L_0 a činila 80 mm. [24]

Tab. 11: Rozměry zkušebních těles pro tahovou zkoušku [24]

Druh zkušebního tělesa	Šířka b_0 [mm]	Počáteční měřená délka L_0 [mm]	Zkoušená délka (doporučená) L_c [mm]	Poloměr přechodových křivek min. [mm]	Tloušťka [mm]
2	20±1	80	120	20	0,8



Obr. 18: Rozměry zkušebních těles pro tahovou zkoušku

Po ukončení zkoušky byly odečteny 3 hodnoty meze pevnosti v tahu plechů bez NIT a 3 hodnoty plechů s NIT, které byly přepočteny na střední hodnotu (viz příloha 6 a 7):

- $R_m = 308 \text{ MPa}$ u plechů bez NIT
- $R_m = 324 \text{ MPa}$ u plechů s NIT

Norma ČSN EN 10346 uvádí, že hodnota meze pevnosti v tahu plechů bez povrchových úprav by měla být v intervalu od 330 do 390 MPa. Rozdíl hodnot uvedených v normě ČSN EN 10346 a hodnot naměřených může být vyvolán tím, že v normě se uvádí hodnoty mechanických charakteristik plechu bez povrchových úprav, zatímco oba zkoušené plechy měly povrchovou úpravu ochranného zinku. Dalším faktorem může být to, že zkušební vzorky byly nastříhány, zatímco norma ČSN EN ISO 6892-1 předepisuje že vzorek se obvykle získá obráběním (frézováním). Rozdíly hodnot mezi zkušebními plechy (bez NIT a s NIT) může být vyvolán

různou tavbou materiálu a lehce odlišnou tloušťkou. Vzorčky plechu po roztržení jsou znázorněny na obr. 19. [24]



Obr. 19: Vzorčky plechu bez NIT po roztržení

Z provedené zkoušky vyplývá, že mez pevnosti u plechů s NIT je oproti plechům bez NIT mírně zvýšená (rozdíl je cca 5%).

7.3 Svařovací zařízení

Pro samotnou zkoušku svařování byl použit odporový lis Dalex PMS 11-4. Charakteristika stroje je uvedena v následující tabulce.

Tab. 12: Charakteristika svařovacího lisu Dalex PMS 11-4

Poloha svařování	vertikální
Pohon svařovací hlavy	pneumatický
Maximální svařovací výkon	246 kVA
Jmenovitý výkon transformátoru	100 kVA
Maximální svařovací proud	29,6 kA
Sekundární zkratový proud	37 kA
Elektrodová síla	200 až 6000 N
Vzdálenost mezi rameny (min/max)	115/415 mm
Délka vyložníku ramen	550 mm



Obr. 20: Svařovací lis Dalex PMS 11-4 [25]

7.4 Použité svařovací parametry

Svařovací parametry byly převzaty z předchozího výzkumu prováděného na Ústavu strojírenské technologie z bakalářské práce Bc. Karla Nerada „Posouzení životnosti elektrod pro odporové svařování“.

Tab. 13: Použité svařovací parametry

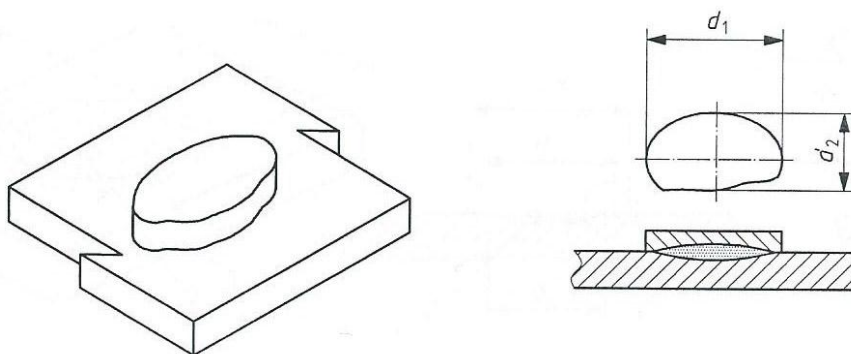
	Optimalizované parametry
Čas zavírání [ms]	300
Proud [kA]	7
Doba svařování [ms]	240
Impuls [-]	1
Náběh proudu [ms]	10
Sběh proudu [ms]	10
Čas ochlazování [ms]	10
Výdrž [ms]	350
Elektrodová síla [daN]	2,4

Poznámka: 1daN = 10N

7.5 Zjištění životnosti elektrod

Před svařováním prvního zkušební plechu proběhlo svaření prvních 8 zkušebních vzorků (viz obr. 15) pro odlupovací zkoušku. Tato sada byla označena jako nultá skupina zkušebních vzorků. Hned po svařování proběhlo provedení vlastní odlupovací zkoušky zkušebních vzorků (dle normy ČSN EN ISO 10447) pomocí svěráku a kleští (viz obr. 22). Při určení velikosti svarů digitálním posuvným měřítkem, byl změřen maximální a minimální průměr každého bodového svaru (d_1 a d_2) jak to znázorňuje obr. 21 a vypočten skutečný průměr svaru dle vzorce č. 4 [26]:

$$\text{Průměr svaru } d = (d_1 + d_2)/2 \quad (4) \quad [26]$$



Obr. 21: Způsob měření velikosti svarů [26]

Potom byl vypočten střední aritmetický průměr z těchto 8 svarů (viz příloha 8 a 9).



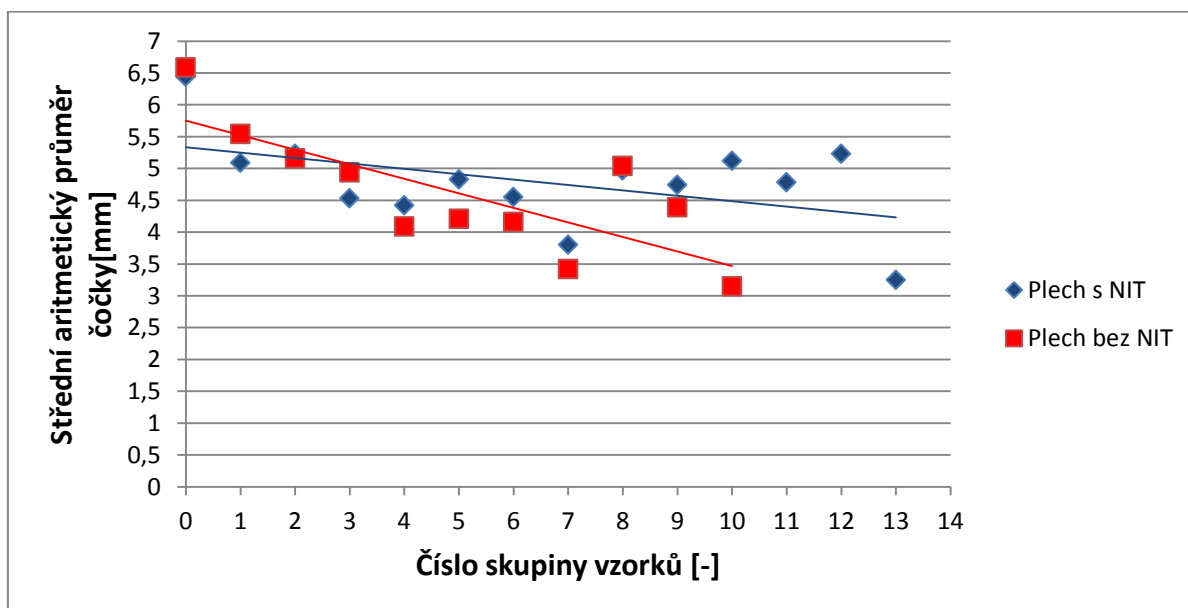
Obr. 22: Svěrák a kleště použité pro odlupovací zkoušku

Svařování zkušebních plechů proběhlo podle postupu uvedeného v kapitole 6.1 (viz obr. 13). Dále se postup svařování zkušebních vzorků a zkušebních plechů opakoval.

Ve výsledku, elektrody dosáhly své životnosti při respektování podmínky, že u tří z pěti po sobě následujících svarů ze skupiny 8 zkušebních vzorků, průměr svaru byl menší než $3,13 \text{ mm}$ ($3,5\sqrt{t}$):

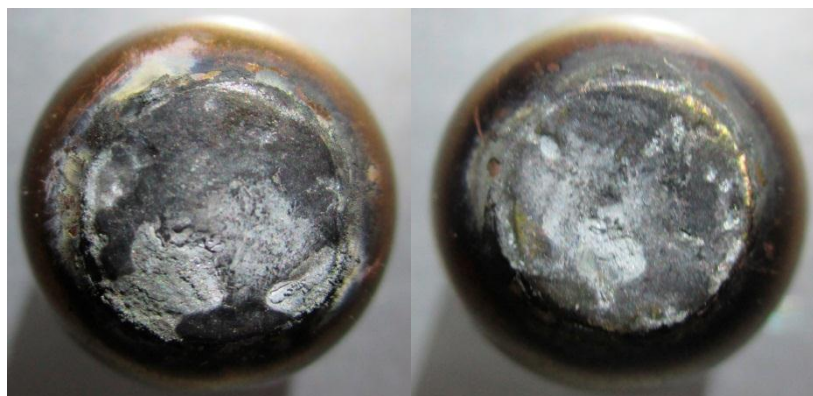
- U vzorků bez NIT po vytvoření 2005 bodových svarů (viz příloha 8)
- U vzorků s NIT po vytvoření 2608 bodových svarů (viz příloha 9)

Bylo sledováno, jak s rostoucím pracovním průměrem svařovací bodové čepičky klesal průměr svarové čočky. Tento pokles v závislosti na skupině vzorků vyjadřuje obr. 23.



Obr. 23: Střední aritmetický průměr čočky

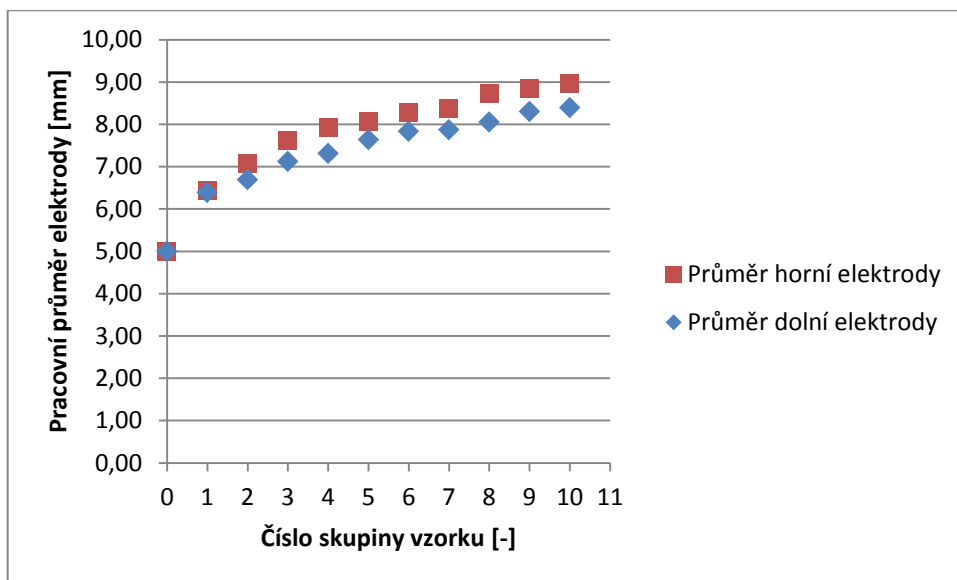
Z grafu na obr. č. 23 je vidět, že při svařování plechů s NIT dosáhly svarové čepičky delší životnosti, než při svařování plechů bez NIT. Na začátku svařování byl střední aritmetický průměr svarové čočky cca 6,5 mm při pracovním průměru svařovací čepičky 5 mm. S rostoucím počtem svarů klesal až na hodnotu blízkou 3 mm (viz obr. 23). Příčinou tohoto poklesu byl zinek, který se vylučoval na povrchu svařovacích čepiček a zabraňoval průchodu elektrického proudu plechy. Na obr. 24 je zobrazena horní a dolní svařovací čepička na konci životnosti (po 2608 svarech) použité při svařování plechů s povrchovou úpravou NIT.



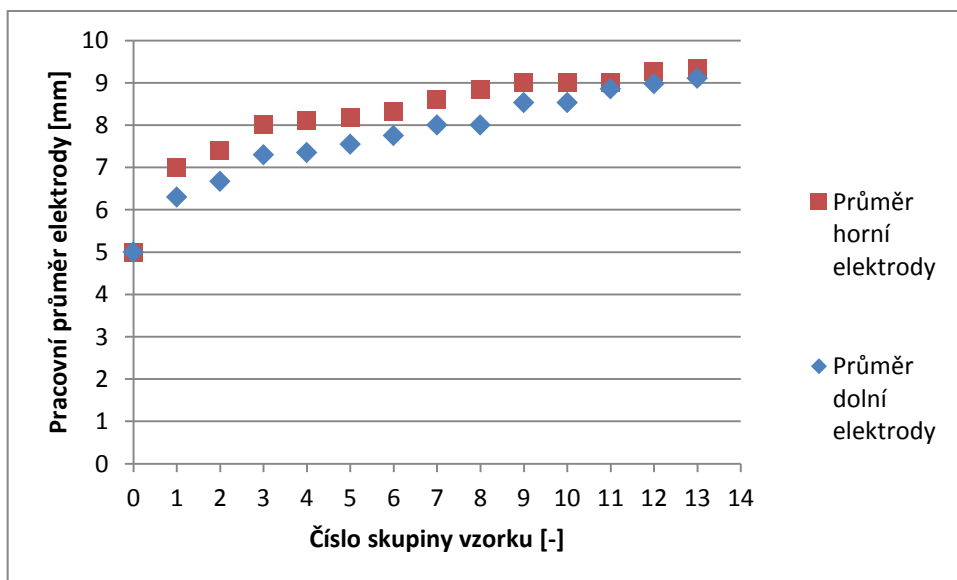
*Obr. 24: Vyloučení zinku na pracovní ploše svařovacích čepiček
(zleva – horní, zprava – dolní čepička)*

Z obr. 24 je také vidět, že na dolní svařovací čepičce (zprava) je prohlubeň, zatímco na horní je výstupek. Tato skutečnost je způsobena zdvihem horní elektrody (dolní elektroda je nepohyblivá).

Při svařování byl sledován pracovní průměr svařovací čepičky. Po každých 8 zkušebních vzorcích pro odlupovací zkoušku byla měřena pracovní plocha horní a dolní svařovací bodové čepičky. Tato plocha se měřila třikrát pod různým úhlem a potom byl spočítan střední aritmetický průměr plochy (viz příloha 10 a 11). Závislost pracovního průměru elektrody na skupině vzorku znázorňuje obr. 25 a 26. Tyto závislosti u dvou druhů plechů se nijak značně neliší. V obou případech bylo zjištěno, že po svařování prvních 208 svarů (první skupina vzorků) se pracovní průměr čepičky zvětšoval o 1,5-2 mm (viz obr. 25 a 26). Při dalších dvou měřeních se průměr svařovací čepičky zvětšil v průměru o cca 0,5 mm a při zbývajících už jen o cca 0,15 mm.



Obr. 25: Změna pracovního průměru svařovacích čepiček použitých při svařování plechů bez NIT



Obr. 26: Změna pracovního průměru svařovacích čepiček použitých při svařování plechů s NIT

8. Závěr

Povrchová vrstva zinku negativně ovlivňuje proces svařování. Zinek, vyloučený na povrchu svařovací čepičky zabraňuje průchodu proudu přes svařované plechy (viz obr. 22). S rostoucím počtem svarů roste tloušťka vrstvy zinku usazeného na elektrodě a zároveň klesá kvalita svarů. Zinkový povlak je přesto nenahraditelnou povrchovou úpravou, kterou budou automobilky používat i nadále nehledě na negativní vliv zinku při svařování. Tento problém se řeší frezováním svařovacích čepiček v pracovních intervalech.

Předpoklad byl, že vrstva NIT bude zhoršovat životnost elektrod. Tento předpoklad se nepotvrdil. Po ukončení zkoušky životnosti bylo zjištěno, že povrchová vrstva NIT neovlivňuje zásadně životnost svařovacích elektrod. Dokonce při svařování plechů s NIT prokázaly elektrody životnost delší (zkoušeno v souladu s normou ČSN EN ISO 8166), tj.:

- 2005 bodových svarů u plechů bez NIT
- 2608 bodových svarů u plechů s NIT

Ačkoli nelze předpokládat, že uvedené hodnoty počtu svarů se budou při opakované zkoušce životnosti opakovat lze s téměř s jistotou říci, že lze provést 1000 – 1200 svarů (5-6 skupin zkušebních plechů), aniž se vyskytne svar s hodnotou svarové čocky menší než 4 mm (3,13 mm s rezervou). Viz obr. 23.

9. Použité literární zdroje

- [1] TICHÝ, Jiří. Svařování v automobilovém průmyslu 2. část. *Svět svaru: Časopis o moderních trendech ve svařování a řezání kovů*. 2007.
- [2] JANOTA, Martin. Odporové svařování: Základní technologické informace. *Svět svaru: Časopis o moderních trendech ve svařování a řezání kovů*. 2008.
- [3] PLÍVA, Ladislav. *Odporové svařování*. Praha: SNTL, 1975. 265 s.
- [4] LIPA, Milan. *Bodové a švové zvarane*. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatury, 1966.
- [5] KOLAŘÍK, Ladislav. *Svařování elektrickým odporem, podklady pro studium z předmětu Technologie svařování*. ČVUT: Fakulta Strojní – Ústav strojírenské technologie, 2013
- [6] ČSN EN ISO 8166: *Oporové svařování - Způsob hodnocení životnosti bodových svařovacích elektrod při konstantním nastavení stroje*. Český normalizační institut. Praha, 2004, 16 stran.
- [7] NEUMANN, Heinz. *Odporové svařování, podklady pro kurz IWE*. Praha: ČVUT, 2006.
- [8] KROUPOVÁ, Jana. *Svařování elektrickým odporem, podklady pro kurz IWE*. Praha: ČVUT, 2014.
- [9] ČSN EN ISO 5182: *Oporové svařování – Materiály pro elektrody a pomocné vybavení*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009, 24 stran.
- [10] *Příslušenství odporového svařování (elektrody, čepičky, držáky, kabely)* [online]. Dostupné z: chrome-extension://oemmnadbldboiebfnladdacbfmadadm/http://zmrzlik.cz/pdfzel/katalog_svar.pdf
- [11] MACHÁČOVÁ, Dana a Pavel MACHÁČ. *Stavba karosérií a skříní*. Kopřivnice. 102 s.
- [12] ARCELOR MITTAL. *Extract from the product catalogue* [online]. [cit. 2015-06-13]. Dostupné z: <chrome-extension://oemmnadbldboiebfnladdacbfmadadm/http://automotive.arcelormittal.com/saturnus/sheets/ArcelorMittal%20Automotive%20product%20offer%20EN.pdf>
- [13] MAZANCOVÁ, Eva. *Technické materiály I: Kovové materiály*. VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2012. ISBN 978-80-248-2577-9.
- [14] ČSN EN 10346: *Kontinuálně žárově ponorem povlakované ocelové ploché výrobky – Technické dodací podmínky*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [15] *Technologie pro lehké automobilové konstrukce* [online]. [cit. 2015-06-13]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/technologie-pro-lehke-automobilove-konstrukce.html>
- [16] *Алюминий в автомобилестроении* [online]. [cit. 2015-06-13]. Dostupné z: <http://www.aluminiumleader.com/around/transport/cars>
- [17] *New Audi TT is 50 kg (110 lb) Lighter than Predecessor* [online]. [cit. 2015-06-13]. Dostupné z: <http://altairenlighten.com/2014/03/new-audi-tt-is-50-kg-110-lb-lighter-than-predecessor/>

- [18] *Standardně používané Al slitiny pro zápusťkové výkovky* [online]. [cit. 2015-06-13]. Dostupné z: <http://www.strojmetal.cz/tabulka-slitin>
- [19] *Povrchové úpravy v autoprůmyslu - Škoda Superb* [online]. 2004 [cit. 2015-2-21]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/povrchove-upravy-v-autoprumsly-skoda-superb.html>
- [20] *TECHNOLOGIES BRING LIGHTER MATERIALS, SUCH AS BORON AND HIGH-STRENGTH STEEL WELDERS* [online]. [cit. 2015-06-13]. Dostupné z: <http://www.shattuckauto.com/Oakland-Berkeley-auto-body-blog/auto-technology-news/new-auto-manufacturing-technologies/>
- [21] *Příručka žárového zinkování*. [4., aktualiz. vyd.]. Ostrava: Asociace českých a slovenských zinkoven, [2011], 56 s. ISBN 978-80-260-3324-0.
- [22] ŠKODA A.S. *New Inorganic Treatment: Product and thickness measurements*. Mladá Boleslav.
- [23] *PosiTector 6000 - Technické údaje a základní vlastnosti* [online]. [cit. 2015-06-13]. Dostupné z: <http://www.qtest.cz/tloustkomery-povlaku/positector-6000.htm>
- [24] *ČSN EN ISO 6892-1: Kovové materiály – Zkoušení tahem – Část 1: Zkušební metoda za pokojové teploty*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010, 64 strany.
- [25] *Машина контактной сварки промышленного применения Dalex PMS 11-4* [online]. [cit. 2015-06-13]. Dostupné z: <http://itp-group.ru/product/mashinyi-kontaktnoy-svarki-promyshlennogo-primeneniya-dalex-pms-11-4/>
- [26] *ČSN EN ISO 10447: Odporové svařování – Odlupovací a sekáčové zkoušení odporových bodových a výstupkových svariů*. Český normalizační institut. Praha, 2007, 13 stran.
- [27] *ČSN EN ISO 14373: Odporové svařování - Postup pro bodové svařování nepovlakovaných a povlakovaných nízkouhlíkových ocelí*. Český normalizační institut, 2007

10. Seznam použitých zkratek a symbolů

č.	číslo
tab.	tabulka
obr.	obrázek
tzn.	to znamená
celk.	celkem
aj.	a jiné
max.	maximálně
NIT	New Inorganic Treatment
MIG	Metal Inert Gas
MAG	Metal Active Gas
EN AW	European Standard Aluminium Wrought
AA	Aluminum Association
RWMA	Resistance Welder Manufactures Association
Q	celkové teplo
R	odpor
I	proud
t	čas nebo také tloušťka plechu
x	vzdálenosti od okraje plechu
ρ	hustota
F	svařovací síla
d	pacovní průměr elektrody nebo také průměr svaru
$R_{p0,2}$	smluvní mez kluzu
R_m	mez pevnosti v tahu
d_1	maximální průměr bodového svaru
d_2	minimální průměr bodového svaru
daN	dekanewton
kN	kilonewton
A	ampér
kA	kiloampér
per.	perioda
N/mm^2	newton na milimetr čtverečný
A/mm^2	ampér na milimetr čtverečný
g	gram
kg	kilogram
μm	mikrometr
mm	milimetr
Hz	hertz
g/m^2	gram na metr čtverečný
K	kelvin
°C	stupně Celsia
s	sekunda
Ω	ohm
J	joule

10. Přílohy

Příloha 1: Standardně používané Al slitiny – chemické označení a mechanické vlastnosti [18]

Mezinárodní označení	Chemický symbol	Stav	Minimální staticko-mechanické parametry			
			Mez pevnosti	Mez kluzu	Tažnost	Tvrdość dle Brinella
			Rm [MPa]	Rp0,2 [MPa]	A5 [%]	HBW _{2,5/62,5}
EN AW-1350A	EA1 99,5	H112	65	20	23	18
EN AW-2014	AlCu4SiMg	T6	440	380	6	135
EN AW-2017A	AlCu4MgSi	T4	380	230	10	107
EN AW-2024	AlCu4Mg1	T4	460	300	10	120
EN AW-2618A	AlCu2Mg1,5Ni	T6	380	300	6	105
EN AW-5083	AlMg4,5Mn0,7	H112	270	120	12	165
EN AW-5754	AlMg3	H112	180	80	15	50
EN AW-6401	Al 99,9MgSi	T5/T6	235	185	14	70
EN AW-6060/6063	AlMgSi/AlMg0,7Si	T5/T6	245	195	10	75
EN AW-6005A	AlSiMg	T5/T6	280	235	8	80
EN AW-6061	AlMg1SiCu	T5/T6	290	250	9	85
EN AW-6082	AlSi1MgMn	T5/T6	310	260	6	90
EN AW-6082	AlSi1MgMn	T5/T6	340	300	10	100
EN AW-6082	AlSi1MgMn	T5/T6	340	300	10	100
EN AW-6110A	AlMg0,9Si0,9MnCu	T5/T6	400	380	10	115
AA 6110	AlSi1MgCu	T5/T6	400	380	8	100
AA 6066	AlSi1,5Mg1Mn1Cu	T5/T6	440	400	8	115
EN AW-7020	AlZn4,5Mg1	T5/T6	350	280	10	100
AA 7018	AlZn5Mg1,5	T5/T6	410	360	10	115
EN AW-7022	AlZn5Mg3Cu	T5/T6	480	410	6	140
EN AW-7075	AlZn5,5MgCu	T6/T7 3	350/455	470/385	8/6	145/130

Příloha 2: Hodnoty tloušťky vrstvy zinku plechů bez NIT:




Číslo vzorku	Strana 1 – měření [μm]					Strana 2 – měření [μm]				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	5,9	4,4	3,9	4	4,5	4,6	3,5	3,8	4	5,2
2	5,3	3,9	4,8	4,8	5,2	5,2	4	4	4,6	4,8
3	5,4	4,4	4,2	5,3	4,7	4,9	5,4	4,2	6,9	4,6

Poznámka: červeně je označena minimální hodnota

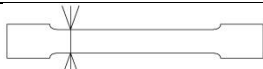
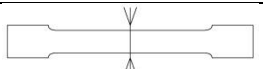
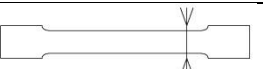
Příloha 3: Hodnoty tloušťky vrstvy zinku plechů $\underline{\leq}$ NIT:

Číslo vzorku	Strana 1 – měření [μm]					Strana 2 – měření [μm]				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	6,4	5,2	7	6,8	6,1	6,9	4,8	5,8	5,4	6,5
2	6,5	6,5	6,7	6	5,2	5,9	5,3	4,9	5,9	5,6
3	6,4	6,3	7,8	6,8	6,8	6,1	6,3	5,9	5,1	5,2

Příloha 4: Hodnoty šířky vzorků změřené před tahovou zkouškou plechů bez NIT:

Číslo vzorku				Průměrná hodnota
1	20,52	20,49	20,56	20,52
2	20,56	20,48	20,57	20,54
3	20,54	20,52	20,62	20,56

Příloha 5: Hodnoty šířky vzorků změřené před tahovou zkouškou plechů $\underline{\leq}$ NIT:

Číslo vzorku				Průměrná hodnota
1	20,66	20,50	20,56	20,57
2	20,56	20,51	20,58	20,55
3	20,56	20,51	20,55	20,54

Příloha 6: Mez pevnosti v tahu plechů bez NIT:

Číslo vzorku	Pevnost v tahu R_m [MPa]
1	309
2	308
3	308
Střední hodnota	308

Příloha 7: Mez pevnosti v tahu plechů $\underline{\leq}$ NIT:

Číslo vzorku	Pevnost v tahu R_m [MPa]
1	323
2	324
3	325
Střední hodnota	324

Příloha 8: Velikosti bodových svarů u zkušebních vzorků bez NIT po odlupovací zkoušce:

Skupina vzorků	0							
Číslo svaru	1	2	3	4	5	6	7	8
D ₁ [mm]	5,50	6,30	6,35	6,42	6,77	6,62	6,67	6,42
D ₂ [mm]	6,50	6,50	6,45	6,73	7,02	6,63	7,12	7,41
Průměrná hodnota [mm]	6,00	6,40	6,40	6,58	6,90	6,63	6,90	6,92
Střední aritmetický průměr [mm]	6,59							
Skupina vzorků	1							
Číslo svaru	201	202	203	204	205	206	207	208
D ₁ [mm]	6,72	6,80	6,55	6,50	6,76	6,34	6,29	6,61
D ₂ [mm]	4,33	4,56	4,45	4,10	4,64	4,31	4,94	4,77
Průměrná hodnota [mm]	5,53	5,68	5,50	5,30	5,70	5,33	5,62	5,69
Střední aritmetický průměr [mm]	5,54							
Skupina vzorků	2							
Číslo svaru	401	402	403	404	405	406	407	408
D ₁ [mm]	5,36	5,57	5,66	5,11	4,77	5,50	5,64	5,34
D ₂ [mm]	4,32	5,33	4,88	4,78	4,99	5,19	5,30	4,82
Průměrná hodnota [mm]	4,84	5,45	5,27	4,95	4,88	5,35	5,47	5,08
Střední aritmetický průměr [mm]	5,16							
Skupina vzorků	3							
Číslo svaru	601	602	603	604	605	606	607	608
D ₁ [mm]	2,84	2,83	3,62	3,63	3,95	2,87	3,76	4,28
D ₂ [mm]	6,51	6,62	6,64	6,31	6,31	4,85	7,01	7,00
Průměrná hodnota [mm]	4,68	4,73	5,13	4,97	5,13	3,86	5,39	5,64
Střední aritmetický průměr [mm]	4,94							
Skupina vzorků	4							
Číslo svaru	801	802	803	804	805	806	807	808
D ₁ [mm]	3,89	4,44	4,53	4,43	3,93	4,05	3,88	4,14
D ₂ [mm]	4,01	4,13	4,78	4,25	4,19	3,43	3,73	3,66
Průměrná hodnota [mm]	3,95	4,29	4,66	4,34	4,06	3,74	3,81	3,90
Střední aritmetický průměr [mm]	4,09							

Skupina vzorků	5							
Číslo svaru	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008
D ₁ [mm]	3,52	4,01	4,05	3,68	3,74	3,77	3,54	3,66
D ₂ [mm]	4,27	4,60	4,93	4,61	5,02	4,71	4,52	4,78
Průměrná hodnota [mm]	3,90	4,31	4,49	4,15	4,38	4,24	4,03	4,22
Střední aritmetický průměr [mm]	4,21							
Skupina vzorků	6							
Číslo svaru	1201	1202	1203	1204	1205	1206	1207	1208
D ₁ [mm]	3,36	2,93	3,23	3,26	2,49	2,66	2,95	2,38
D ₂ [mm]	5,37	5,27	5,97	5,72	5,05	5,68	5,41	4,90
Průměrná hodnota [mm]	4,37	4,10	4,60	4,49	3,77	4,17	4,18	3,64
Střední aritmetický průměr [mm]	4,16							
Skupina vzorků	7							
Číslo svaru	1401	1402	1403	1404	1405	1406	1407	1408
D ₁ [mm]	3,64	3,21	3,45	3,13	3,80	3,33	2,91	3,22
D ₂ [mm]	3,63	3,65	3,66	3,48	3,47	3,36	3,41	3,36
Průměrná hodnota [mm]	3,64	3,43	3,56	3,31	3,64	3,35	3,16	3,29
Střední aritmetický průměr [mm]	3,42							
Skupina vzorků	8							
Číslo svaru	1601	1602	1603	1604	1605	1606	1607	1608
D ₁ [mm]	5,08	5,46	5,85	5,60	5,77	5,56	5,03	5,63
D ₂ [mm]	4,83	4,86	4,71	4,80	4,28	4,80	3,96	4,38
Průměrná hodnota [mm]	4,96	5,16	5,28	5,20	5,03	5,18	4,50	5,01
Střední aritmetický průměr [mm]	5,04							
Skupina vzorků	9							
Číslo svaru	1801	1802	1803	1804	1805	1806	1807	1808
D ₁ [mm]	3,78	4,67	4,18	4,63	4,52	4,39	4,03	4,46
D ₂ [mm]	4,68	4,38	5,01	4,31	4,55	4,14	3,68	4,76
Průměrná hodnota [mm]	4,23	4,53	4,60	4,47	4,54	4,27	3,86	4,61
Střední aritmetický průměr [mm]	4,39							

Skupina vzorků	10							
Číslo svaru	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
D₁ [mm]	3,01	3,40	2,94	3,29	3,08	3,26	3,35	3,91
D₂ [mm]	3,24	3,06	3,08	3,28	2,57	2,70	2,86	3,44
Průměrná hodnota [mm]	3,13	3,23	3,01	3,29	2,83	2,98	3,11	3,68
Střední aritmetický průměr [mm]	3,15							

Poznámka 1: červeně jsou označeny průměry, které jsou menší minimální hodnoty uvedené v normě EN ISO 8166 (3,13 mm)

Poznámka 2: zeleně je označen poslední svar

Příloha 9: Hodnoty velikosti bodových svarů u zkušebních vzorků s NIT po odlupovací zkoušce:

Skupina vzorků	0							
Číslo svaru	1	2	3	4	5	6	7	8
D₁ [mm]	6,17	6,05	6,64	6,58	6,85	7,11	7,07	6,54
D₂ [mm]	5,61	6,34	6,44	6,06	6,14	7,06	6,27	6,13
Průměrná hodnota [mm]	5,89	6,20	6,54	6,32	6,50	7,09	6,67	6,34
Střední aritmetický průměr [mm]	6,44							
Skupina vzorků	1							
Číslo svaru	201	202	203	204	205	206	207	208
D₁ [mm]	4,62	4,42	5,10	4,87	4,60	4,76	5,42	5,81
D₂ [mm]	6,56	5,75	5,30	5,69	5,06	4,94	5,31	3,17
Průměrná hodnota [mm]	5,59	5,09	5,20	5,28	4,83	4,85	5,37	4,49
Střední aritmetický průměr [mm]	5,09							
Skupina vzorků	2							
Číslo svaru	401	402	403	404	405	406	407	408
D₁ [mm]	4,83	4,33	4,65	4,89	4,50	4,70	4,61	4,14
D₂ [mm]	5,95	6,96	6,90	5,82	5,70	6,14	4,62	4,95
Průměrná hodnota [mm]	5,39	5,65	5,78	5,36	5,10	5,42	4,62	4,55
Střední aritmetický průměr [mm]	5,23							

Skupina vzorků	3							
Číslo svaru	601	602	603	604	605	606	607	608
D ₁ [mm]	4,48	4,13	4,12	4,13	4,44	4,58	4,02	4,76
D ₂ [mm]	5,13	4,58	5,00	4,79	5,31	3,70	5,16	4,10
Průměrná hodnota [mm]	4,81	4,36	4,56	4,46	4,88	4,14	4,59	4,43
Střední aritmetický průměr [mm]	4,53							
Skupina vzorků	4							
Číslo svaru	801	802	803	804	805	806	807	808
D ₁ [mm]	4,32	4,27	4,45	4,62	4,60	4,78	4,25	4,41
D ₂ [mm]	4,40	4,13	4,50	4,12	4,48	4,62	4,22	4,47
Průměrná hodnota [mm]	4,36	4,20	4,48	4,37	4,54	4,70	4,24	4,44
Střední aritmetický průměr [mm]	4,42							
Skupina vzorků	5							
Číslo svaru	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008
D ₁ [mm]	5,12	5,35	5,36	5,67	5,55	5,52	5,51	5,38
D ₂ [mm]	4,77	4,16	4,16	4,06	4,41	4,12	4,06	4,15
Průměrná hodnota [mm]	4,95	4,76	4,76	4,87	4,98	4,82	4,79	4,77
Střední aritmetický průměr [mm]	4,83							
Skupina vzorků	6							
Číslo svaru	1201	1202	1203	1204	1205	1206	1207	1208
D ₁ [mm]	4,30	4,35	5,50	5,48	5,57	5,59	5,47	5,51
D ₂ [mm]	4,20	4,68	3,71	3,33	3,64	3,44	3,93	4,09
Průměrná hodnota [mm]	4,25	4,52	4,61	4,41	4,61	4,52	4,70	4,80
Střední aritmetický průměr [mm]	4,55							
Skupina vzorků	7							
Číslo svaru	1401	1402	1403	1404	1405	1406	1407	1408
D ₁ [mm]	3,65	3,61	3,70	3,94	3,93	3,92	3,79	4,25
D ₂ [mm]	3,28	3,69	3,83	4,02	3,93	3,79	4,01	3,50
Průměrná hodnota [mm]	3,47	3,65	3,77	3,98	3,93	3,86	3,90	3,88
Střední aritmetický průměr [mm]	3,80							

Skupina vzorků	8							
Číslo svaru	1601	1602	1603	1604	1605	1606	1607	1608
D ₁ [mm]	4,71	5,67	5,74	5,63	5,71	5,51	5,28	5,22
D ₂ [mm]	4,57	4,55	4,85	4,58	4,60	4,27	4,39	4,31
Průměrná hodnota [mm]	4,64	5,11	5,30	5,11	5,16	4,89	4,84	4,77
Střední aritmetický průměr [mm]	4,97							
Skupina vzorků	9							
Číslo svaru	1801	1802	1803	1804	1805	1806	1807	1808
D ₁ [mm]	4,39	4,33	4,63	4,57	4,92	4,92	5,64	5,71
D ₂ [mm]	4,08	4,45	4,52	4,50	5,02	5,33	4,50	4,29
Průměrná hodnota [mm]	4,24	4,39	4,58	4,54	4,97	5,13	5,07	5,00
Střední aritmetický průměr [mm]	4,74							
Skupina vzorků	10							
Číslo svaru	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
D ₁ [mm]	5,28	5,44	5,39	5,65	5,84	5,79	6,08	5,70
D ₂ [mm]	4,52	5,37	4,21	4,74	4,62	4,26	4,40	4,60
Průměrná hodnota [mm]	4,90	5,41	4,80	5,20	5,23	5,03	5,24	5,15
Střední aritmetický průměr [mm]	5,12							
Skupina vzorků	11							
Číslo svaru	2201	2202	2203	2204	2205	2206	2207	2208
D ₁ [mm]	5,82	6,01	5,83	6,13	5,78	5,88	5,83	5,89
D ₂ [mm]	3,60	4,20	3,57	3,74	3,68	3,71	3,60	3,15
Průměrná hodnota [mm]	4,71	5,11	4,70	4,94	4,73	4,80	4,72	4,52
Střední aritmetický průměr [mm]	4,78							
Skupina vzorků	12							
Číslo svaru	2401	2402	2403	2404	2405	2406	2407	2408
D ₁ [mm]	3,86	3,84	4,10	3,70	4,28	4,22	4,16	4,18
D ₂ [mm]	6,43	6,62	6,62	6,10	6,15	6,37	6,42	6,61
Průměrná hodnota [mm]	5,15	5,23	5,36	4,90	5,22	5,30	5,29	5,40
Střední aritmetický průměr [mm]	5,23							

Skupina vzorků	13							
Číslo svaru	2601	2602	2603	2604	2605	2606	2607	2608
D₁ [mm]	4,40	3,63	3,76	3,80	2,32	2,14	3,25	1,88
D₂ [mm]	3,65	3,62	3,88	4,39	1,58	3,44	3,46	2,83
Průměrná hodnota [mm]	4,03	3,63	3,82	4,10	1,95	2,79	3,36	2,36
Střední aritmetický průměr [mm]	3,25							

Příloha 10: Velikosti pracovních průměrů svařovacích čepiček při svařování plechů bez NIT

Skupina vzorků	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Průměr horní čepičky	5	6,43	7,08	7,61	7,92	8,06	8,28	8,37	8,72	8,85	8,96
Průměr dolní čepičky	5	6,39	6,7	7,13	7,32	7,64	7,84	7,88	8,06	8,31	8,39

Příloha 11: Velikosti pracovních průměrů svařovacích čepiček při svařování plechů s NIT

Skupina vzorků	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Průměr horní čepičky	5	7	7,39	8	8,1	8,17	8,31	8,6	8,85	9	9	9	9,27	9,34
Průměr dolní čepičky	5	6,3	6,67	7,3	7,35	7,55	7,75	8	8	8,53	8,53	8,86	8,98	9,11