

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní – Ústav strojírenské technologie



## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Vliv povrchových úprav na životnost elektrod při odporovém bodovém svařování v automobilovém průmyslu



# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Hartman** Jméno: **Petr** Osobní číslo: **379868**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**  
Studijní program: **Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Výrobní a materiálové inženýrství**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Vliv povrchových úprav na životnost elektrod při odporovém bodovém svařování v automobilovém průmyslu**

Název diplomové práce anglicky:

**Effect of surface treatment on the lifetime of resistance welding electrodes in the automotive industry**

Pokyny pro vypracování:

- Rozbor problematiky odporového bodového svařování tenkých ocelových plechů používaných při tvorbě automobilových karosérií, včetně rozboru a porovnání jejich povrchových úprav, se zaměřením na NIT (New Inorganic Treatment)
- Návrh experimentální činnosti pro zjištění vlivu povrchové úpravy na životnost svařovacích elektrod
- Vyhodnocení provedených experimentů ? porovnání vlivu povrchové úpravy na kvalitu provedených svařovacích spojů a životnost elektrod
- Závěrečné vyhodnocení výsledků

Seznam doporučené literatury:

- [1] Pliva, L.: Odporové svařování. SNTL, Praha, 1975
- [2] Zhang, H., Senkara, J.: Resistance Welding: Fundamentals and Applications, CRC Press, 2nd. Edition, 2011
- [3] Kolektiv. Materiály a jejich chování při svařování, Ostrava, 2016
- [4] Firemní materiály ArcelorMittal, Škoda Auto a.s., ČSN EN ISO 8166

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

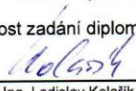
**doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., ústav strojírenské technologie FS**


Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

**Ing. Marie Kolaříková, Ph.D., ústav strojírenské technologie FS**

Datum zadání diplomové práce: **30.04.2019** Termín odevzdání diplomové práce: **05.08.2019**

Platnost zadání diplomové práce: **31.12.2019**

  
doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

  
doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

  
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu. Výsledky této práce mohou být dále použity podle uvážení vedoucího diplomové práce, doc. Ing. Ladislava Kolaříka, Ph.D., IWE jako jejího spoluautora.

Dne: .....

Podpis: .....

## **Poděkování**

Chtěl bych tímto poděkovat všem, kteří mi při vytváření této práce pomáhali. Především děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Ladislavu Kolaříkovi, Ph.D., IWE za vedení práce, cenné rady a připomínky. Dále pak děkuji za vedení experimentální části Ing. Marii KOLAŘÍKOVÁ, Ph.D., IWE.

# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

## FAKULTA STROJNÍ

### Ústav strojírenské technologie

**Obor:** Výrobní a materiálové inženýrství

**Název bakalářské práce:** Vliv povrchových úprav na životnost elektrod při odporovém bodovém svařování v automobilovém průmyslu v automobilovém průmyslu

**Autor bakalářské práce:** Petr Hartman

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

**Rozsah bakalářské práce: Počet stran:** 83

**Počet obrázků:** 38

**Počet tabulek:** 17

**Počet grafů:** 3

**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

#### **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá návrhem experimentální činnosti pro zjištění vlivu povrchové úpravy na životnost svařovacích elektrod při svařování plechů používaných v automobilovém průmyslu.

Teoretická část práce popisuje rozbor problematiky odporového bodového svařování tenkých ocelových plechů používaných při tvorbě karoserií automobilů. Experimentální část se zabývá návrhem a realizací samotného experimentu, vyhodnocením naměřených dat a závěrečným shrnutím experimentu.

# **CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE**

## **FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING**

### **Department of Manufacturing Technology**

**Branch:** Production and material engineering

**Name of bachelor thesis:** Effect of surface treatment on the lifetime of resistance welding electrodes in the automotive industry

**Author of diploma thesis:** Petr Hartman

**Supervisor:** Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE

**Extent of bachelor thesis:**

**Number of pages:** 83

**Number of pictures:** 38

**Number of tables:** 17

**Number of graphs:** 3

**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

#### **Abstract**

This diploma thesis tries to propose experimental activities to determine the influence of surface treatments on the life of welding electrodes in welding of sheets used in the automotive industry.

The theoretical part of the thesis requires an analysis of the problem of resistance spot welding of thin steel sheets used in the creation of car bodies. The experimental part concerns the design and realization of the experiment itself, evaluation of measured data and final summary of the experiment.

# Obsah

1. Úvod.....	1
2. Odporové svařování.....	2
2.1. Rozdělení bodového svařování .....	4
2.2. Značení metod odporového svařování .....	5
2.3. Vznik tepla při odporovém svařování .....	7
2.3.1. Vývin tepla.....	7
2.3.2. Teplotní pole při bodovém svařování .....	11
2.3.3. Tepelná rovnováha bodových svarů .....	12
2.3.4. Odvod tepla při bodovém odporovém svařování.....	14
2.4. Svařovací parametry.....	16
2.4.1. Svařovací přítlačná síla .....	16
2.4.2. Svařovací proud .....	18
2.4.3. Svařovací čas .....	20
2.4.4. Časový průběh svařovacích parametrů (svařovací program) .....	20
2.5. Výhody a nevýhody tvrdého a měkkého režimu svařování .....	21
2.5.1. Měkký svařovací režim.....	22
2.5.2. Tvrdý svařovací režim .....	22
2.6. Geometrie bodového svaru .....	23
2.7. Požadavky na personál provádějící zkoušky.....	26
2.8. Druhy elektrod pro odporové svařování .....	27
2.9. Velikost čelní (kontaktní) plochy elektrod.....	28
2.10. Životnost svařovacích elektrod.....	30
2.11. Svařovací zdroje .....	32
2.11.1. Vysokofrekvenční invertor.....	33
2.11.2. Střídavý svařovací zdroj.....	34
2.11.3. Kapacitní zdroj .....	35

2.11.4.	Lineární stejnosměrný zdroj.....	35
2.12.	Typy svařovacích kleští .....	36
2.13.	Silový systém svařovacích kleští.....	37
3.	Strukturní a mechanické vlastnosti bodového svaru.....	38
3.1.	Makrostruktura bodového svaru .....	39
3.2.	Mechanické zkoušky bodových svarů .....	41
4.	Materiály pro karosérie automobilů.....	44
4.1.	Ocelové plechy.....	44
4.1.1.	Rozdělení ocelí pro automobilový průmysl.....	44
4.1.2.	Vlastnosti ocelí pro automobilový průmysl.....	45
4.2.	Plech ze slitin hliníku .....	47
4.3.	Povrchové úpravy plechů pro karoserie automobilů.....	48
4.3.1.	New Inorganic Treatment (NIT).....	50
5.	Návrh experimentu .....	51
5.1.	Specifikace použitého materiálu .....	52
5.2.	Pracovní podmínky .....	53
6.	Experimentální část.....	55
6.1.	Svařovací zařízení .....	55
6.1.1.	Použité svařovací parametry.....	57
6.1.2.	Optimalizace svařovacích podmínek .....	56
6.2.	Svařovací proud .....	56
6.3.	Střížná zkouška .....	57
6.4.	Velikost svarových čoček .....	60
6.5.	Vyhodnocení metalografických vzorků .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
7.	Závěr .....	65
8.	Použitá literatura .....	66
9.	Seznam použitých obrázků .....	71



10.	Seznam tabulek .....	74
11.	Seznam grafů .....	75
12.	Seznam příloh .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>

# 1. Úvod

Při zavedení sériové výroby samonosných karosérií nastal problém spojování ocelových plechových výlisků, které musí mít danou rozměrovou přesnost do co nejpřesnějších svařenců. Při aplikaci mechanizace do spojovacích činností se ukázalo, že jednou z nejvýhodnějších technologií je odporové svařování. Při výrobě dílů umožňuje do určité míry kompenzovat některé nepřesnosti. Dokonale odladěné svařovací přípravky v kombinaci se středofrekvenčními svařovacími zdroji s kleštěmi upevněnými na ramenech robotů, svařovacími elektrodami s dlouhou životností, to je moderní výroba dílů odporovým svařováním, které využívají jen přední světové firmy. [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.

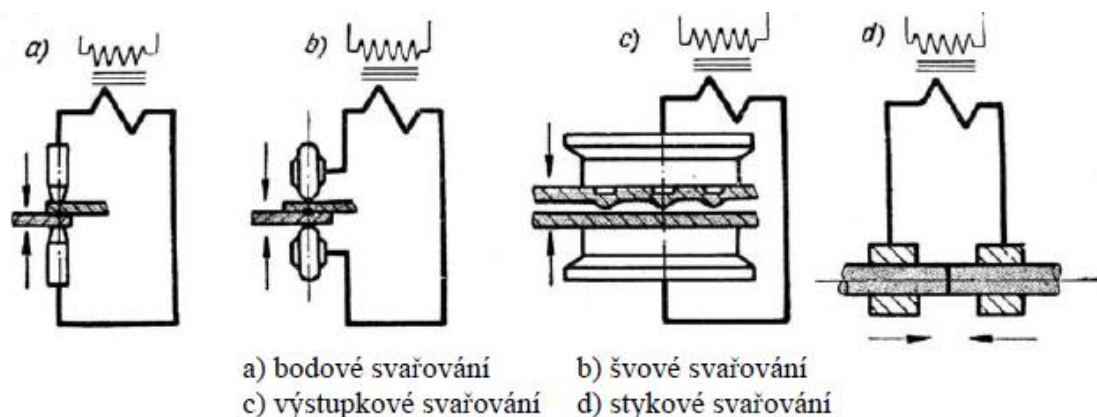
Tato práce je zaměřena na popis odporového svařování a vysvětlení základních pojmů pro vhodné nastavení základních svařovacích parametrů při svařování vysokopevnostních ocelových plechů. V práci je popsána výroba vzorků, jejich zkoušení a závěr vyhodnocuje naměřené hodnoty.

## 2. Odporové svařování

Technologie odporového svařování je metoda spojování materiálů, jejíž význam a rozšíření neustále vzrůstá. V roce 1877 byly provedeny první pokusy, avšak metoda nemohla být aplikována do průmyslu, neboť elektrické prvky pro regulaci nebyly dostatečně kvalitní stejně jako zdroje střídavého proudu. Větší prosazení této technologie v průmyslu nastává až od roku 1925, kdy přichází poměrně velký rozmach v oblasti svařování kovů.

Princip technologie odporového svařování je založen na průchodu elektrického proudu svařovaným místem a tlakového působení svařovacích elektrod. Svařovaný materiál se ohřeje v místě svařování odporovým teplem při průchodu elektrického proudu materiálem, kdy následuje fáze natavení materiálu a lokálním působením tlaku dojde k vytvoření bodového svaru. Proud se do svařovaného materiálu přivádí elektrodami zhotovenými zpravidla z mědi nebo ze slitin mědi.

Metodu odporového svařování provází vysoká produktivita práce v porovnání s jinými metodami svařování. K dalším pozitivním hlediskům metody patří hygienické hledisko. Operátor, který vyhotovuje dané svary, využívá pouze ochranných pomůcek, jako jsou brýle, rukavice a běžný pracovní oděv. Podle uspořádání elektrod a pracovního postupu rozdělujeme odporové svařování na svařování švové, výstupkové, stykové a bodové. [1]



Obr. 1 Rozdělení odporového svařování [1]

- a) **Bodové:** Materiál určený ke svařování je vložen mezi dvě tyčové svařovací elektrody. Přepřátovaný svařovaný materiál se mezi elektrodami stlačí, tím se vytvoří podmínky pro koncentraci svařovacího proudu a tlaku.
- b) **Švové:** souvislý tvar svaru je vytvořen otáčejícími se elektrodami (překrývající se bodové svary). Lze vytvořit také svar přerušovaný, při zvýšení rychlosti kotoučových elektrod.
- c) **Výstupkové:** svařování se většinou provádí ve speciálních svařovacích přípravcích pomocí svařovacích lisů. Svařované plochy mají tzv. výstupky, které napomáhají ke zhotovení svaru za pomoci přivedeného proud a tlaku.
- d) **Stykové:** u této metody rozlišujeme dva základní postupy:
  - stykové svařování stlačením
  - stykové svařování odtavením

Při stykovém svařování se svařované díly stlačením přitlačí proti sobě čelní plochou, která byla obrobena. Jakmile je dosaženo, požadovaného přitlačného tlaku do dílu vstupuje svařovací proud a začne se materiál zahřívat, dokud nedosáhne požadované teploty. Teplota pro svařování je zpravidla nižší než teplota tavení daného materiálu. Výsledný svar vznikne stlačením ohříváných dílů.

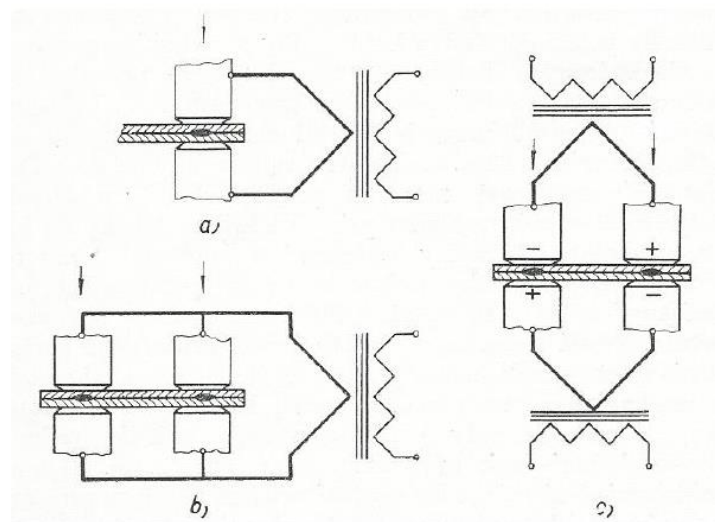
Při stykovém svařování odtavením nejprve začne materiálem procházet proud. Při přiblížení pohyblivých čelistí dojde nejdřív k zahoření dotykových ploch a následně k postupnému natavování svařovaných dílů v místě styku. Nepřetržitým přibližováním dílů a dostatečným ohřevem svařovaných konců se natavené konce stlačí k sobě za zvýšené rychlosti i síly. Díky tomuhle procesu se tavenina vytlačí do obvodového výronku a vznikne svar v plastickém stavu. Tento způsob se používá pro svařování trubek, výlisků, různých profilů, kde je možno dosáhnout dostatečné proudové hustoty.

Pro svaření rozměrnějších dílů se používá kombinovaný způsob ohřevu, kde probíhá nejprve odporový ohřev svařovaného materiálu. Svařované díly se několikrát od sebe oddálí v tzv. cyklech dle svařovacích parametrů. Po důkladném ohřevu svařovaných dílů do hloubky nastane odtavení zakončené prudkým stlačením. [2]

## 2.1. Rozdělení bodového svařování

Podle způsobu zhotovení 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.



Obr. 2 Rozdělení bodového svařování [2]

### a) jednotlivými body (jednobodové) protiběžnými elektrodami:

Při prvním způsobu má stroj protiběžné elektrody, z nichž většinou spodní je pevná a horní přítlačná (může se pohybovat). Svařuje se postupně vždy po jednom bodovém svaru.

### b) dvojbodové v paralelním zapojení

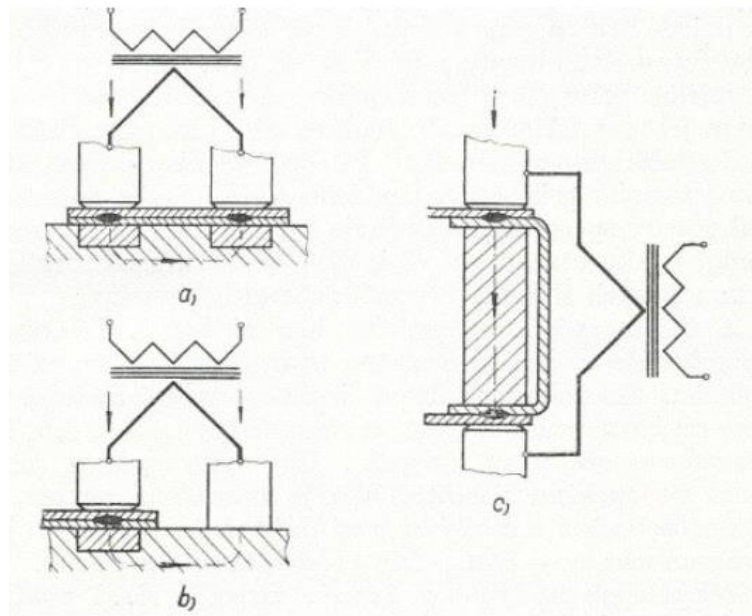
Podstatou druhého způsobu je dvojbodové svařování v paralelním zapojení – na jeden transformátor jsou paralelně připojeny dva páry protiběžných elektrod. Svářecí proud má dvě větve – dva obvody, a proto k bodovému svařování dochází na dvou místech současně. Paralelní připojení dvou párů elektrod vyžaduje výkonnější transformátor. Je žádoucí, aby oba páry elektrod byly stlačovány stejnou silou, což se často řeší samostatným přítlačováním každého páru. Rovněž se dbá na to, aby sekundární smyčky obou dvou svařovacích obvodů měly stejnou velikost, což z obrázku není příliš patrné.

[2]

### c) **dvojbodové v sériovém zapojení**

Třetí způsob – dvojbodové svařování v sériovém zapojení se používá pouze zřídka. Podstatou tohoto způsobu použití dvou samostatných transformátorů o stejném výkonu – sekundární obvod jednoho transformátoru je uzavřený přes svařované dílce a sekundární obvod druhého transformátoru (případně naopak). Při tomto způsobu je nutné dbát na správnou polaritu. Při způsobech b) a c) nepřechází celý svařovací proud pouze přes svařované místo, nýbrž i přes okolní oblasti v materiálu, kde k tvorbě svarové čocky nedochází. [2]

- **nepřímé:** svarová čocka nevzniká přímo mezi elektrodami. Elektrody jsou většinou orientovaný souběžně, proud při přechodu z jedné elektrody na druhou prochází ještě přes vodivou podložku nebo můstek.  
[2]
  - a) **dvojbodové:** rovnoběžnými (souběžnými) elektrodami
  - b) **jednotlivými body (jednobodové):** rovnoběžnými elektrodami, přičemž jedna elektroda pouze přivádí proud
  - c) **dvojbodové:** protiběžnými elektrodami a proudovým můstkem



Obr. 3 Rozdělení bodového svařování [3]

## 2.2. Značení metod odporového svařování

Základní rozdělení metod odporového svařování je provedeno dle normy ČSN EN ISO 4063 Svařování a příbuzné procesy – Přehled metod a jejich číslování. Tato norma

je českou verzí evropské normy EN ISO 4063 a stanovuje přehled metod svařování, příbuzných metod a jejich číselné značení. Každá metoda je označena číslem, které má maximálně tři číslice. Tento systém je používán jako pomůcka pro počítačové zpracování, výkresy, pracovní podklady, stanovení postupů svařování atd.

Tab. 1 Přehled metod a jejich číslování [3]

Číslo metody	Česky	Anglicky
2	Odporové svařování	Resistance welding
21	Bodové odporové svařování	Spot welding
211	Nepřímé bodové svařování	Indirect spot welding
212	Přímé bodové svařování	Direct spot welding
22	Švové odporové svařování	Seam welding
221	Švové svařování s přeplátováním	Lap seam welding
222	Švové svařování s rozválcováním	Mash seam welding
225	Stykové švové svařování s páskem	Foil butt-seam welding
226	Přeplátované švové svařování s páskem	Seam welding with strip
23	Výstupkové svařování	Projection welding
231	Nepřímé výstupkové svařování	Indirect projection welding
232	Přímé výstupkové svařování	Direct projection welding
24	Odtavovací stykové svařování	Flash welding
241	Odtavovací stykové svařování s předehřevem	Flash welding with preheating
242	Odtavovací stykové svařování bez předehřevu	Flash welding without preheating
25	Stlačovací stykové svařování	Resistance butt welding
29	Ostatní způsoby odporového svařování	Otheir resistance welding processes
291	Vysokofrekvenční odporové svařování	HF resistance welding ( high frequency)

### 2.3. Vznik tepla při odporovém svařování

Okamžitá hodnota proudu protékajícího mezi elektrodami, jež je dána Ohmovým zákonem, závisí na napětí na elektrodách  $U$ , které je přibližně konstantní, a na okamžitém celkovém odporu materiálu mezi elektrodami  $\Sigma R$ , který není konstantní a v průběhu svařování se mění.

#### 2.3.1. Vývin tepla

Celkové množství tepla vyvinutého průchodem elektrického proudu se podle Jouleova zákona stanoví takto:

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

Kde:

$R$  – je celkový činný odpor mezi elektrodami (pracovní odpor) [ $\Omega$ ]

$I$  – proud protékající svařovanými díly [A]

$t$  – čas průchodu proudu [s] [2]

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

$$\Sigma = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 \text{ [\Omega]} \quad (2)$$

kde:

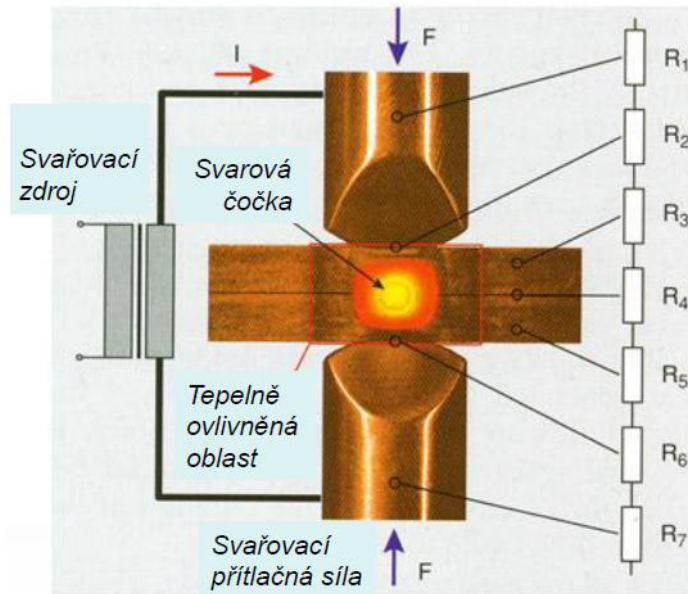
$R_1, R_7$  – odpory elektrod

$R_4$  – přechodový odpor na styku elektrod a materiálu

$R_2, R_6$  – kontaktní odpory mezi elektrodami a svařovanými díly

$R_3, R_5$  – vnitřní odpory svařovaných dílů





Obr. 4 Odporý vznikající při průchodu proudu přeplátovanými díly [4]

- **Přechodový odpor na styku elektrod a materiálu – R<sub>2</sub>, R<sub>6</sub>**

Hodnota tohoto odporu je závislá na velikosti styčné plochy – tedy průměru, resp. tvaru elektrody, dále na drsnosti a čistotě styčných ploch a na měrném tlaku mezi elektrodou a povrchem plechu. Při vyšším měrném tlaku je přechodový odpor nižší a rozmezí běžně používaných tlaků přibližně platí:

$$R_1 = R'_1 \cdot \frac{100}{p} [\mu\Omega] \quad (3)$$

kde

p – měrný tlak [kPa]

R'<sub>1</sub> - konstanta [μΩ] - vyjadřující přechodový odpor za měrného tlaku 100 kPa.

Z hlediska odporového svařování jsou tyto přechodové odpory R<sub>2</sub> a R<sub>6</sub> nežádoucí a je snaha tyto odpory minimalizovat. Proto se na elektrody používají materiály s velkou elektrickou vodivostí (obvykle na bázi mědi). [6]

- **Kontaktní odpory mezi elektrodami a svařovanými díly  $R_3$ ,  $R_5$  závisí:**
  - tloušťce materiálu
  - na efektivním průřezu, kterým protéká proud
    - tento efektivní průřez závisí především na velikosti styčných ploch elektrod a na měrném odporu materiálu, který se s rostoucí teplotou zvyšuje.
    - efektivní průřez a současně i proudová hustota se mění, neboť vlastností proudu je, že volí cestu nejmenšího odporu, nikoli cestu nejkratší. Tento efekt se projevuje výrazněji s rostoucí tloušťkou materiálu vzhledem k průměru styčné plochy elektrody, a tedy rostoucím odporem pomyslného sloupce mezi elektrodami. [6]
  
- **Přechodový odpor svařovaných materiálů  $R_4$  závisí:**
  - zejména na tloušťce a specifickém odporu vrstvy oxidů a možných nečistot na povrchu plechů
  - na nerovnostech povrchu
  - na efektivní ploše styku
  - na přítláčné síle elektrod – vliv tlaku je obdobný jako u odporů  $R_2$  a  $R_6$
  - na teplotě – s rostoucí teplotou odpor  $R_4$  klesá až do okamžiku, kdy na styku plechů vznikne tekutá fáze a odpor  $R_4$  náhle vzroste – zde již hovoříme o odporu čochky tekutého kovu.

Velikost přechodového odporu  $R_4$  na styku dvou plechů je možno určit z rovnice

$$R_4 = r_p \cdot F^{-\alpha} [\Omega] \quad (4)$$

kde

-  $r_p$  [ $\Omega$ ] je přechodový odpor ve styku dvou materiálů při stlačování silou o velikosti 9,81N

-  $F$  [N]- přítláčná svařovací síla

-  $\alpha$  [-] - součinitel charakterizující kvalitu povrchu v místě dotyku. [6]

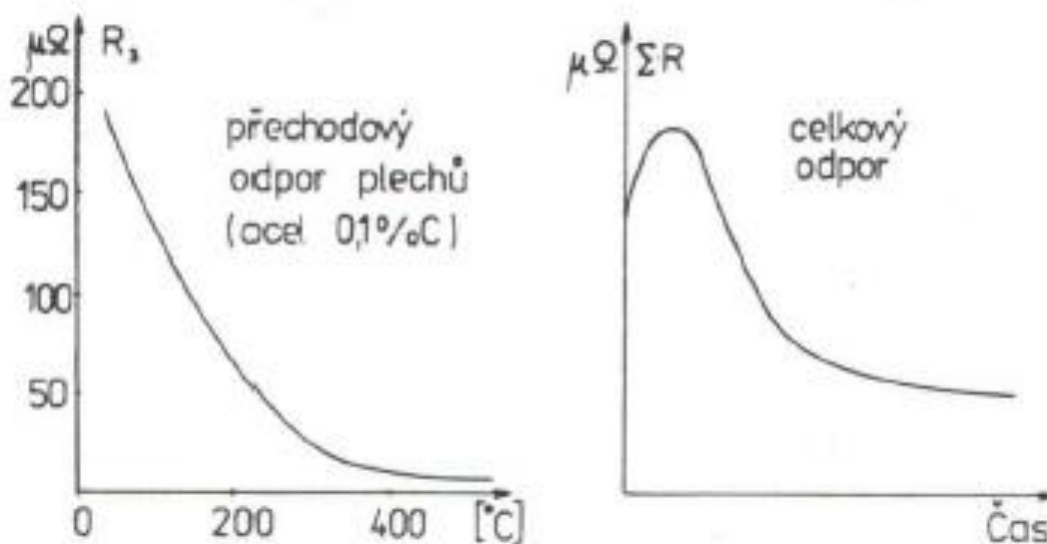
Tab. 2 Přehled metod a jejich číslování [2]

Hodnoty součinitele $\alpha$ [-] v závislosti na druhu materiálu	
Druh materiálu	Hodnoty součinitele $\alpha$ [-]
Ocel s čistým povrchem	0,65 - 0,75
Ocel se zoxidovaným povrchem	0,95 - 1,0
Plechý s ochrannou vrstvou	0,85 - 0,95
Hliníkové slitiny	0,73 - 0,85

Hodnota veličiny  $r_p$  závisí na druhu svařovaných materiálu a na stavu jejich povrchu. Například pro nelegované ocele s čistým povrchem  $r_p=0,005$  až  $0,006$  [ $\Omega$ ], pro hliníkové slitiny s čistým povrchem  $r_p=0,001$  až  $0,002$  [ $\Omega$ ]. V jednotlivých oblastech je pak množství vyvinutého tepla úměrné příslušnému odporu  $R_i$ :

$$Q_i = \int_0^t (\sum R_i) I^2 \cdot dt \quad [J] \quad (5)$$

Integrace je nutná z toho důvodu, že jak odpor, tak proud jsou veličiny časově závislé – tedy měnící se s časem, a současně ani proudová hustota není po průřezu rovnoměrně rozložena. Vlivem toho se celkový odpor  $\Sigma R$  v průběhu svařování značně mění (tento časový průběh je schematicky zobrazen na obr. 5b) a materiál se mezi elektrodami ohřívá nerovnoměrně.



Obr. 5 Změna odporu v závislosti: a) na teplotě b) na čase svařování [7]

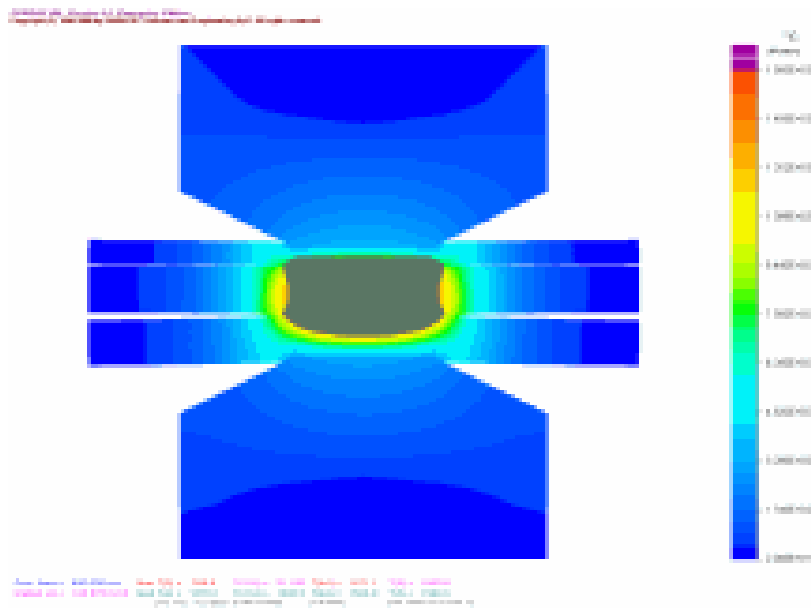
### 2.3.2. Teplotní pole při bodovém svařování

Tepelné procesy při odporovém ohřevu jsou při této technologii svařování výrazným fyzikálním jevem. Matematické vyjádření teplotního pole při odporovém bodovém svařování je velice složité. Řešení je akceptovatelné za určitých okrajových podmínek, které neodrážejí skutečný průběh termofyzikálních vlastností svařovaných materiálů.

Další nesoulad nastává při existenci kapalné a tuhé fáze a proměnné hranice mezi nimi při tvorbě svarového spoje. Teplo potřebné pro vytvoření bodového svaru vzniká průchodem svařovacího proudu soustavou, kterou lze z elektrického hlediska nahradit systémem do série zařazených odporů. Výpočet celkového odporu je značně komplikovaný z hlediska časové změny různých složek odporu.

U svařování pozinkovaných ocelových plechů by se dále musely uvažovat i změny odporu při roztavení zinkové vrstvy. Další změna nastává vlivem metalurgicky ovlivněné vrstvy na povrchu svařovacích elektrod a tímto se tedy odpor svařovacích elektrod mění v závislosti na počtu provedených bodů (dochází k opotřebení elektrod). Zásadní vliv na začátku procesu svařování tvoří přechodový odpor na rozhraní dvou svařovaných plechů.

Tento přechodový odpor velice rychle zanikne při ohřevu materiálu, protože zde se začíná vytvářet svarová čočka. Krátká existence těchto přechodových odporů postačí na start svařovacího procesu, který se dále udržuje pomocí objemového zdroje tepla, tvořeného odporem zahřátého materiálu. Zde se vytváří převážná část odporového tepla potřebného pro vznik svarového spoje. Při formulaci matematického modelu teplotního pole při bodovém svařování se uvažuje symetrie podle osy z. [8]



Obr. 6 Geometrické uspořádání bodového svařování [8]

Pro tento případ je možné napsat s určitým zjednodušením Fourierovu rovnici vedení tepla ve válcových souřadnicích (viz vzorec 6).

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \cdot \left[ \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] + \frac{q_v}{c \cdot \gamma} \quad (6)$$

$T$	teplota	[ K ]
$t$	čas	[ s ]
$a$	součinitel teplotní vodivosti	[ $m^2 \cdot s^{-1}$ ]
$q_v$	intenzita objemového zdroje tepla	[ $J \cdot m^{-3} \cdot s^{-1}$ ]
$r$	poloměr elektrody	[ mm ]
$c$	měrné teplo	[ $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ]
$\gamma$	hustota	[ $kg \cdot m^{-3}$ ]

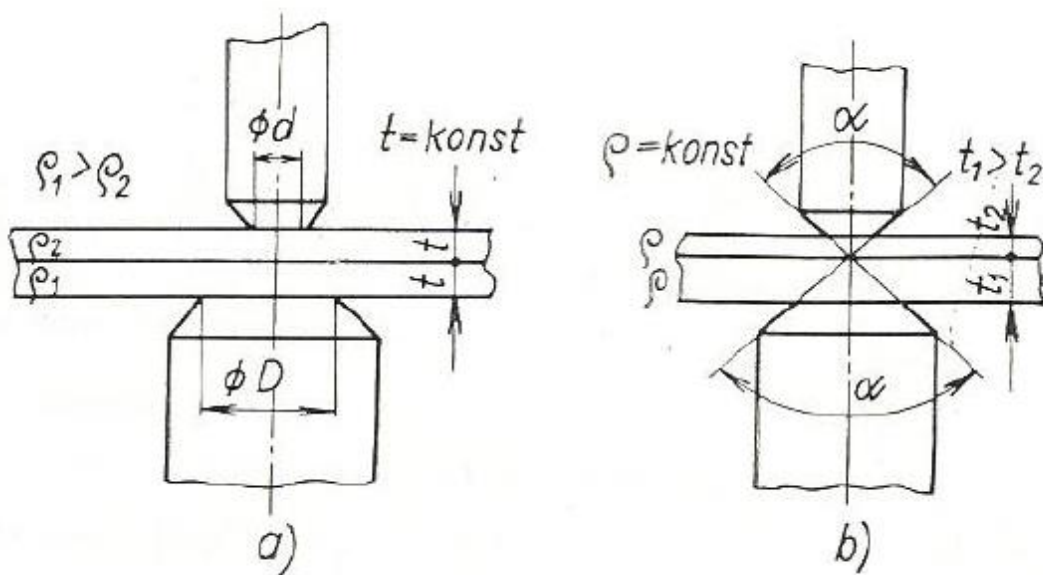
### 2.3.3. Tepelná rovnováha bodových svarů

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 tab. 5 a tab. 6. [2]



Obr. 7 Správná volba průměrů svařovacích elektrod pro případy: a) stejná tloušťka, ale různá jakost materiálů, b) různá tloušťka, ale stejná jakost materiálů [2]

Při svařování materiálů stejné jakosti, ale různé tloušťky je třeba vyrovnat zvýšený odpor vyvolaný delší dráhou proudu v materiálu větší tloušťky. Za předpokladu, že se dá

zanedbat odvod tepla do svařovaného dílu, doporučují se průměry elektrod přímo úměrné tloušťkám svařovaných dílů. [2]

#### 2.3.4. Odvod tepla při bodovém odporovém svařování

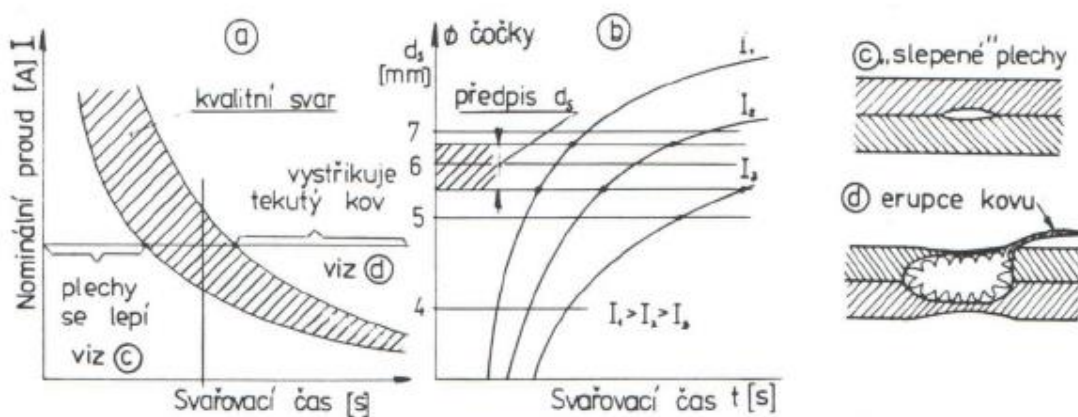
Skutečnost, že se hodnoty odporů  $R_1$  až  $R_5$  dosti odlišují, je příčinou toho, že se materiál sevřený mezi elektrodami ohřívá přednostně v místě styku obou plechů (je tam největší přechodový odpor) a na styčné ploše mezi elektrodou a plechem – z těchto míst je teplo odváděno do okolního chladnějšího materiálu.

Množství odvedeného tepla závisí na rozměru styčné plochy, součinitele tepelné vodivosti, měrného tepla, měrné hmotnosti, teplotního gradientu a času. Pokud bychom měli dospět k výpočtu teplotního pole za těchto nestacionárních podmínek, byli bychom nuceni jej realizovat aplikací výpočetní techniky. Principálně však ve svaru probíhají tyto pochody: [5]

- V první fázi se nejvíce tepla vyvine v místě styku plechů, kde odpor nabývá relativně nejvyšších hodnot, a to v ose svaru, kde je nejvyšší proudová hustota; tato přechodová oblast je tedy ve své podstatě plošný zdroj, z něhož se teplo odvádí kolmo na stykovou plochu do základního materiálu.
- V následující fázi dochází vlivem ohřevu k poklesu přechodového odporu na styku svařovaných plechů, kdežto odpor ohřátého základního roste a tím se zvětšuje tloušťka vrstvy, v níž dochází k vybavování tepla. Za předpokladu, že je proudová hustota dostatečně velká, množství odváděného tepla je zlomkem tepla vybavovaného a dochází k natavení materiálu a tím ke vzniku svarové čočky. Z výše uvedeného odstavce plyne, že mohou nastat dva nežádoucí stavy.
- V prvním případě je proudová hustota nedostatečná a v daném čase je okolní materiál schopen odvádět teplo tak rychle, že nedojde ke vzniku svarové čočky a plechy se tak nesvaří, nýbrž pouze slepí (vznikne pouze tzv. difúzní spoj).
- V druhém případě je proudová hustota nadměrná, tekutý kov se průchodem proudu ohřeje na teplotu varu a přetlakem par a za současného tlaku svařovacích

elektrod dojde k vystříknutí tekutého kovu. K erupci tekutého kovu dochází též často při vyšších odporech mezi elektrodami a plechy a při nedostatečném chlazení svařovacích elektrod, neboť dojde snadno k protrhnutí příliš tenké a přehřáté povrchové vrstvy. [6]

Má-li mít svar požadovanou kvalitu, musí mít svarová čochka předepsanou velikost a toho lze docílit jedině optimalizací svařovacích parametrů (zejména el. proudu a času svařování).



Obr. 8 Optimalizace svařovacího času a proudu [6]

Optimalizace svařovacího času a proudu:

- šrafovaná plocha znázorňuje oblast kvalitních bodových svarů
- závislost průměru svarové čochky na nominálním proudu  $I$  [A] a svařovacím čase  $t_s$  [s]
- při nedostatečném přívodu tepla je svarová čochka malá a plechy jsou slepené
- při nadměrném přívodu tepla dojde k erupci tekutého kovu

Diagramů znázorněných na obr. 8 se běžně používá tam, kde se kladou vysoké požadavky na kvalitu svarů a kde nejsou svařovací stroje vybaveny automatickým řízením času. (Nicméně jich lze použít i při automatické regulaci času – nastaví se podle nich optimální hodnoty proudu a času, mikroprocesor pak pouze koriguje odchylky způsobené např. změnami přechodového odporu, náhodným kolísáním proudu apod.)



Tyto diagramy se sestavují experimentálně pro každou kombinaci tloušťky plechu a pro každý materiál zvlášť. Sledujeme-li přísně hodnoty přechodového odporu a dbáme o řádnou údržbu hrotů elektrod, můžeme standardně dosáhnout dobrých výsledků, co se týče průběhu svařování i kvality zhotovených svarů. [6]

## 2.4. Svařovací parametry

Základními svařovacími parametry u bodového odporového svařování jsou:

- svařovací síla ( $F_s$ )
- svařovací proud ( $I_s$ )
- svařovací čas ( $t_s$ )

### 2.4.1. Svařovací přitlačná síla

Svařovací přitlačná síla je rovna součinu základního měrného tlaku a kontaktní plochy elektrody. Hodnoty měrného tlaku v různých případech bodového svařování jsou uvedeny v následující tabulce.

Svařovací tlak je volen s ohledem na rovinnost a čistotu svařovaných plechů tak, aby při menších nerovnostech bylo zajištěno jejich dosednutí a dokonalý průchod svařovacího proudu v místě svaru. Někdy je doporučováno určit svařovací sílu úměrně k tloušťce plechu  $s$  (mm) podle vztahu [5]

$$F_s = (1000 \text{ až } 2500) s \text{ [N]}$$

Tab. 3 Hodnoty parametrů pro bodové svařování [2]

Tloušťka svařovaného plechu $s$ (mm)		do 1,5		1,5 až 5		
Průměr dosedací plochy svařovací elektrody $d$ (mm)		2s + 4				
Hustota svařovacího proudu ( $A \cdot mm^{-2}$ )	měkký režim	70 až 120				
	tvrdý režim	110 až 350				
Svařovací tlak ( $N \cdot mm^{-2}$ )	měkký režim	nízkouhlikové oceli	---	15 až 40		
		nízkouhlikové oceli	15 až 50	50 až 90		
	tvrdý režim	nerezavějící oceli	80 až 150			
		hliník a jeho slitiny	70 až 150			
		mosaz, bronz	90 až 100			
Svařovací čas (perioda) (s)	tvrdý režim	nízkouhlikové oceli	8			
		nerezavějící oceli	6			
		hliník	5			

Svařujeme-li tuhé a zdeformované dílce, je třeba počítat s určitým zvýšením svařovací síly, přičemž však nesmí být překročena mez kluzu použitého elektrodového materiálu. Správně nastavená přitlačná síla zabraňuje výstřiku roztaveného jádra svaru a při ochlazení působí jako kovací síla za tepla, což má vliv na zjemnění krystalizace. Z tohoto důvodu je přitlačná síla ke konci svařovacího procesu v rámci programově řízeného tlaku zvyšována a má působit tak dlouho, dokud teplota jádra svaru neklesne pod 400°C.

Je-li to z hlediska produktivity práce možné, je výhodné ponechat svařované plechy i poté nějakou dobu stlačené – chlazené elektrody pomáhají odvést teplo z místa spoje a je tak docíleno nižších deformací. V takovém případě ovšem může nastat u ocelí s vyšším obsahem uhlíku k zakalení svaru, u nízkouhlíkových ocelí rychlejší ochlazování neškodí. K dosažení nejkvalitnějších spojů jsou potřebné velké přitlačné síly, jejichž velikost lze u moderních strojů měnit i během svářecího cyklu. [5]

Pro názornost jsou v tabulce 5 uvedeny doporučené parametry svařování pro čisté ocelové plechy (bez povrchové úpravy) a v tabulce 6 pro pozinkované ocelové plechy.

Tab. 4 Doporučené svařovací parametry pro bodové svařování nízkouhlíkových ocelových plechů tl. 0,4 - 3 mm [8]

Tloušťka plechu		Průměr pracovní části elektrod (mm)	Svařovací parametry					
od (mm)	do (mm)		měkký režim			tvrdý režim		
			F <sub>s</sub> (kN)	t <sub>s</sub> (per.)	I <sub>s</sub> (kA)	F <sub>s</sub> (kN)	t <sub>s</sub> (per.)	I <sub>s</sub> (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. 5 Doporučené svařovací parametry pro bodové svařování nízkouhlíkových ocelových plechů tl. 0,4 - 3 mm [8]

Tloušťka plechu		Průměr pracovní části elektrod (mm)	Svařovací parametry					
od (mm)	do (mm)		Žárově pozinkovaný plech			Elektrolytický poz. plech		
			F <sub>s</sub> (kN)	t <sub>s</sub> (per.)	I <sub>s</sub> (kA)	F <sub>s</sub> (kN)	t <sub>s</sub> (per.)	I <sub>s</sub> (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  $I_s$ ).

#### 2.4.2. Svařovací proud

Z hlediska vzniku elektrického odporového tepla zaujímá proud (resp. intenzita proudu) v odporovém svařování prvořadý význam. V Joulově vztahu (1) vystupuje proud v druhé mocnině, zatímco ostatní členy jsou lineární. Svařovací proud je nejčastěji regulován prostřednictvím přepínání odboček připojovače na primární straně transformátoru. Je-li na primární straně zařazeno méně závitů ( $z_1$ ), zvýší se sekundární napětí ( $U_2$ ) a při nezměněných odporech v sekundárním obvodu i proud. [5]

Napětí na sekundární straně se tedy mění podle počtu zapojených závitů na straně primární – platí vztah:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{z_1}{z_2} \quad (7)$$

kde  $U_1$  – napětí na primární straně (zpravidla 380 V)

$U_2$  – napětí na sekundární straně

$z_1$  – počet závitů na primární straně

$z_2$  – počet závitů na sekundární straně (obvykle pouze jeden závit)

Z toho plyne, že pokud vložíme do sekundárního obvodu rozměrnější kus materiálu, změní se (v souladu s Ohmovým zákonem) hodnota svařovacího proudu.

Materiály větších tlouštěk obecně způsobují vyšší odpory a vyžadují vyšší napětí. Následující tabulka 7 znázorňuje hodnoty svařovacího času, proudu, a napětí mezi elektrodami (toto napětí neodpovídá sekundárnímu napětí  $U_2$ , které je obecně vyšší, neboť musí navíc překonat odpor vodičů a elektrod) při svařování plechů z nízkouhlíkových ocelí. [5]

Tab. 6 Hodnoty svařovacího času, proudu a napětí mezi elektrodami při svařování plechů z nízkouhlíkových ocelí [9]

Tloušťka plechu [mm]	Čas průchodu svářecího proudu [s]	Svařovací proud [A]	Napětí mezi elektrodami [V]
1	0,1 až 0,5	10 500 až 6 800	1,30 až 0,85
2	0,4 až 1,0	12 100 až 9 900	1,33 až 1,09
3	0,6 až 1,4	15 700 až 12 900	1,34 až 1,10
4	0,8 až 2,0	19 200 až 15 600	1,35 až 1,10
5	1,0 až 2,2	21 900 až 18 000	1,38 až 1,13
6	1,2 až 2,5	24 700 až 19 500	1,43 až 1,13
7	1,4 až 2,8	27 600 až 23 000	1,49 až 1,24
8	1,6 až 3,0	30 600 až 26 500	1,53 až 1,32
9	1,7 až 3,5	33 800 až 28 400	1,59 až 1,34
10	2,0 až 4,0	36 400 až 30 600	1,60 až 1,35

Při určování hodnoty svařovacího proudu vycházíme ze základní proudové hustoty a z kontaktní plochy elektrody. Pro orientační výpočet lze použít empirického vztahu, jenž určuje svařovací proud v poměru k tloušťce jednoho svařovaného plechu „s“ [mm].

$$I_s = 6500 \cdot s \text{ [A]} \quad (8)$$

Svařujeme-li ušlechtilé oceli, lehké a barevné kovy, je třeba, aby svařovací síla a proud procházely během svařovacího cyklu různými změnami, nutnými z technologických důvodů. [2]

### 2.4.3. Svařovací čas

Svařovacím časem označujeme čas průchodu svařovacího proudu svařovaným materiálem. Jeho délka závisí zejména na velikosti svářecího proudu. Je-li to možné, používáme s ohledem na minimalizaci tepelných ztrát krátké svařovací časy (tedy tvrdý režim). V případě, že svařujeme dílce s deformovaným a znečištěným povrchem, je lépe pracovat s časy delšími, neboť by při krátkých časech a vysoké proudové hustotě by mohlo dojít k přetavení spoje a vystříknutí tekutého kovu. [2]

### 2.4.4. Časový průběh svařovacích parametrů (svařovací program)

K tomu, abychom provedli kvalitní bodový svar, je zapotřebí, aby na sebe svařované plechy řádně dosedaly – nejprve je tedy nutné dosáhnout požadovaného tlaku a poté s alespoň nepatrným zpožděním necháme materiálem procházet proud. Po skončení průchodu svařovacího proudu bychom měli plechy ponechat stlačené až do té doby, dokud se teplota jádra svarové čočky nesníží pod 400°C – tímto dosáhneme lepší kvality svarového spoje a zabráníme případnému porušení spoje pružností okolního stlačeného materiálu.

Do svařovacího programu můžeme též zařadit kovací tlak, který po ukončení procesu zjemní krystalizaci tuhnoucího kovu a zlepší jeho mechanické vlastnosti. Další proces, který můžeme po ukončení samotného svařování provést je tepelné zpracování (žihání). Toho dosáhneme snížením svářecího proudu na hodnotu proudu žihacího, který necháme po dobu žihání materiálem procházet. Účelem žihání je zpomalení chladnutí, což je důležité zejména u ocelí vyšších tříd, kde by se mohla při rychlém ochlazení vyskytnout martenzitická struktura vyznačující se vysokou tvrdostí a křehkostí.

V případě, že materiál necháme ztuhnout a to tak, že jeho teplota poklesne až pod teplotu překrytí, můžeme opětovným zvýšením teploty popustit zakalenou strukturu anebo normalizačně žihat svar a okolní oblast, čímž zjemníme zrno. [2]

## 2.5. Výhody a nevýhody tvrdého a měkkého režimu svařování

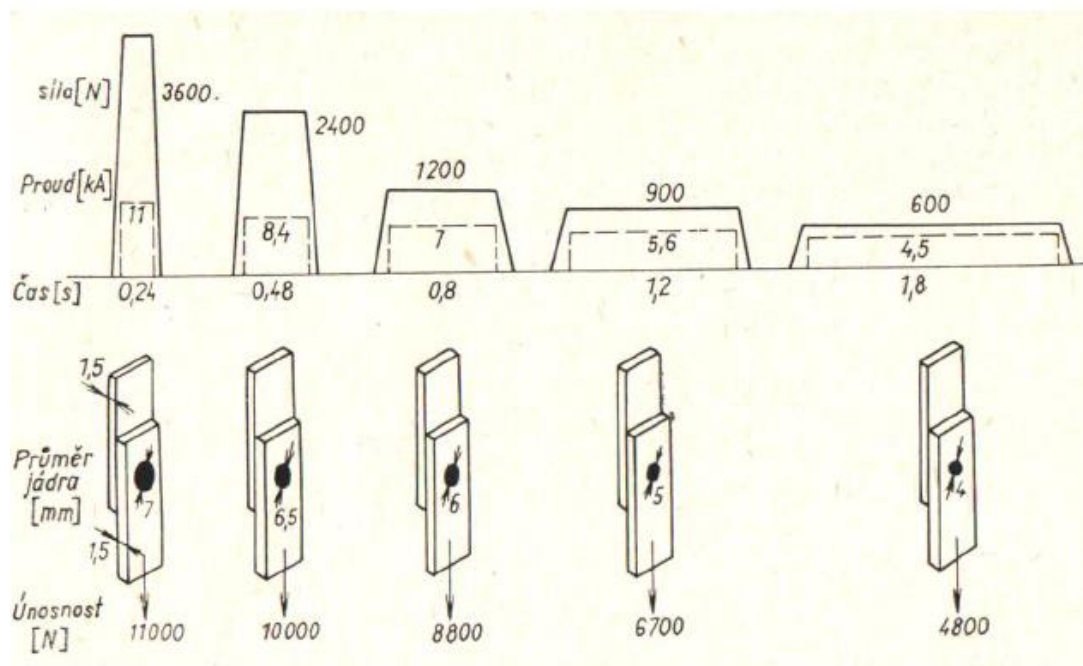
V předešlé kapitole byly uvedeny základní parametry, jež mají zásadní vliv na výslednou kvalitu svaru při bodovém odporovém svařování – jsou to:

- svařovací proud
- svařovací čas a tlak, který má vliv na velikosti přechodových odporů R2, R6 a R4 (viz obr. 8)

Z uvedeného Joulova vztahu je patrné, že potřebné množství tepla lze získat použitím

- svařovacího proudu velké intenzity a velmi krátkého svařovacího času - mluvíme o tzv. tvrdém režimu, který zároveň vyžaduje vyšší přítlačnou sílu.
- svařovacího proudu malé intenzity a dlouhého svařovacího času - hovoříme o tzv. měkkém svařovacím režimu - zde se pracuje s nižší přítlačnou silou.

Srovnání únosnosti bodových svarů při různých svařovacích parametrech



Obr. 9 Rozměry a únosnosti bodových svarů při různých svařovacích parametrech u plechů z nízkouhlikové oceli ( $C = 0,2 \%$ ) [9]

### **2.5.1. Měkký svařovací režim**

Pro měkký svařovací režim je charakteristický svařovací proud malé intenzity a dlouhý svařovací čas – pracujeme zde s nižší přitlačnou silou (viz předchozí kapitola). Svarová čočka zhotovená měkkým svařovacím režimem je relativně velmi vysoká, někdy zabírá celou hloubku svařovaných profilů a má hrubší dendritickou strukturu nevalných mechanických vlastností. V případě, že svařujeme válcované plechy, narušuje ve značné míře jejich texturu.

Svarová čočka má relativně malý průměr, což pouze zhoršuje únosnost spoje. Vzhledem k nízkým tlakům dochází vlivem velkých přechodových odporů k velkému vývinu tepla a hrozí výstřik roztaveného jádra svaru. Delší styk s vyšší teplotou pod povrchem kovu způsobuje značnou tepelnou námahu elektrod a v tom důsledku jejich kratší životnost. V případě, že se materiál ohřeje až po povrch, zanechávají elektrody v materiálu velká otačení. Malé tlakové síly nestačí zejména při svařování tuhých profilů, jako jsou například úhelníky. Z důvodu malé účinnosti a tepelných ztrát narůstá spotřeba energie, resp. množství energie, které musíme dodat. [10]

Výhodou svařování měkkým režimem je možnost použití stroje nižšího výkonu a možnost používat elektrické vodiče menších průřezů, avšak za cenu horší jakosti svarového spoje. Je zde menší nebezpečí zakalení ocelí, naproti tomu se rozšiřuje tepelně ovlivněná oblast. Měkký režim se používá se pro svařování plechů se znečištěným povrchem, které nesnesou proudové přetížení – ovšem i zde na úkor kvality – dochází k větší deformaci, načež je mnohdy nutné tyto svařence následně rovnat, což pouze zvyšuje náklady na výrobu. Měkkým režimem dosáhneme nižší produktivity práce. [10]

### **2.5.2. Tvrdý svařovací režim**

Při svařování tvrdým svařovacím režimem využíváme svařovacího proudu velké intenzity a velmi krátkého svařovacího času za současného působení vyšší přitlačné síly. Z hlediska struktury materiálu vede krátkodobé působení svařovací teploty a s tím související rychlé chladnutí svaru k jemnozrnné struktuře svarového kovu, navíc docílíme minimálních napětí a deformací.

V moderní výrobě se klade důraz na vysokou kvalitu spojů a hospodárný svářecí provoz – z tohoto důvodu se v drtivé většině uplatňuje tvrdý režim. U bodových svářeček s kadencí několik stovek svarů za minutu jsou svařovací parametry obzvláště tvrdé – vyžadují se vyšší výkony, vyšší přítlačné síly, silnější elektrické přípojky a přesně odměřované časy – řádově v periodách, což starší bodové svářečky nespĺňují a jsou tedy pro svařování tvrdým režimem nevhodné.

Tab. 7 Porovnání měkkého a tvrdého svařovacího režimu [12]

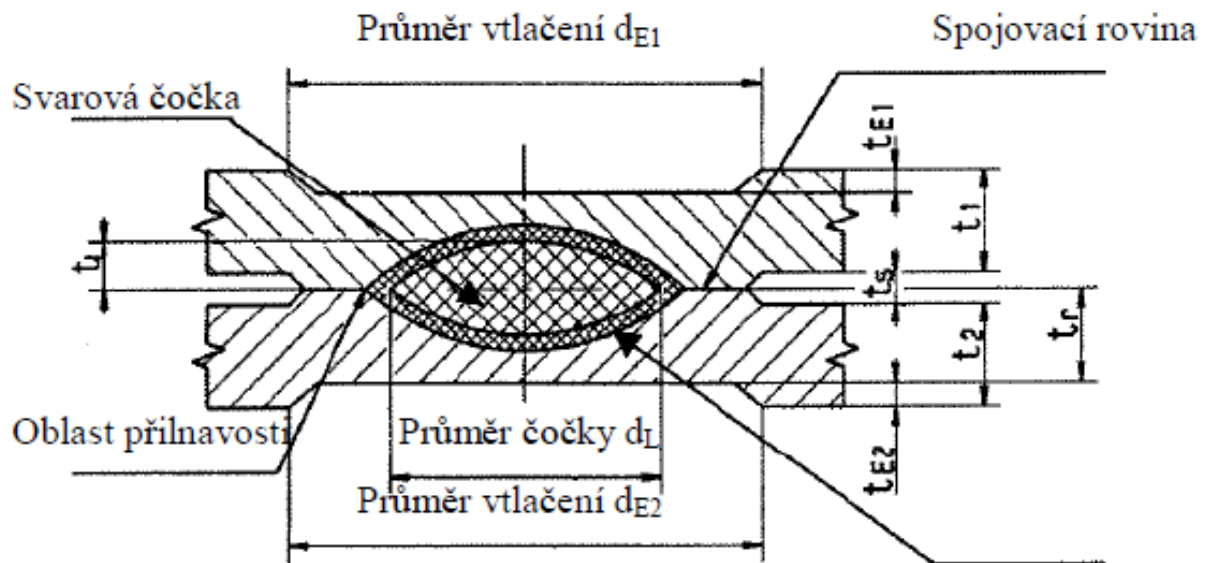
	<b>Měkký režim</b>	<b>Tvrdý režim</b>
<b>Svarová čočka</b>	vysoká, malý průměr	nizká, velký průměr
<b>Elektrody</b>	krátká životnost	delší životnost
<b>Vtisky po elektrodě</b>	hluboké	mělké
<b>Spotřeba energie</b>	vyšší	nížší
<b>Únosnost spoje</b>	nizká	vysoká
<b>Produktivita</b>	nizká	vysoká

Z tabulky 3 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 opotřebením elektrod menší. [10]

## 2.6. Geometrie bodového svaru

Každý bodově svařovaný spoj se vyznačuje souborem charakteristik a jejich vlivem na výrobu, které se podle požadavků na kvalitu posuzují měřitelnými veličinami. Průměr čočky  $d_L$  – jako průměr čočky platí průměr oblasti v dělicí rovině (kolmo ke spojovací rovině) dílů obrobku.





Obr. 10 Geometrie bodového svaru [2]

$t_s$	rozměr spáry	[mm]
$t_E$	velikost (hloubka) vtažení elektrod	[mm]
$t_{1,2}$	tloušťka materiálu	[mm]
$t_r$	minimální zbytková tloušťka plechu v oblasti vtisku elektrody	[mm]

### Velikost vtažení elektrod $t_E$

Velikost vtažení elektrod má být max 20 % tloušťky plechu.

### Průměr $d_{E1}$ , $d_{E2}$

Jako průměr vniknutí  $d_E$ , platí vždy střední průměr vtažení, zapříčiněného elektrodou.

### Hloubka vniknutí $t_{E1}$ , $t_{E2}$

Za hloubku vniknutí  $t_E$  se považuje vždy největší hloubka prohloubení, zapříčiněného elektrodou.

## Rozměr spáry $t_s$

Rozměr spáry  $t_s$  mezi svařenými plechy smí činit maximálně 20 % střední tloušťky z obou plechů. Při individuálních požadavcích na hlučnost a těsnost je nutno přípustný rozměr spáry s ohledem na malé rozteče bodů dohodnout s příslušným konstrukčním oddělením.

## Průměr svarového bodu $d_p$

Průměr svarového bodu  $d_p$  je při stříhovém lomu střední průměr plochy lomu ve spojovací rovině obrobků bez vzniklé oblasti přilnavosti. U vytrhnutého lomu je  $d_p$  střední průměr základní plochy vytrhnutého výstupku.

U smíšeného lomu je  $d_p$  střední průměr základní plochy vytrhnutého výstupku včetně podíl lomu ve spojovací rovině. Průměr svarového bodu  $d_p$  slouží k nastavení jmenovité hodnoty průměru svarové čocky  $d_L$  a není proto uváděn na výkrese. [2]

Tab. 7 Stanovení minimálního průměru čocky a bodu minimální střížné tahové síly přes tloušťku plechu (platí pro paralelní a přeplátovaný svar) [2]

minimální tloušťka plechu $t_1$	průměr čocky $d_{Lmin} \geq 3,5 \sqrt{t_1}$	průměr bodu $d_{Pmin} = 1,15 d_{Lmin}$	minimální tahová stříhová síla $F_{min}$
mm	mm	mm	kN
0,5	2,5	2,9	1,2
0,6 <sup>1)</sup>	2,7	3,1	1,5
0,7	2,9	3,3	1,9
0,8	3,1	3,6	2,3
0,9 <sup>1)</sup>	3,3	3,8	2,7
1,0	3,5	4,0	3,2
1,25 <sup>1)</sup>	3,9	4,5	4,2
1,5	4,3	4,9	5,1
1,75 <sup>1)</sup>	4,6	5,3	6,1
2,0	5,0	5,7	7,2

Při různých tloušťkách plechu je pro stanovení průměru svarového bodu resp. svarové čocky směrodatný tenčí plech  $t_1$ . U dílenských zkoušek mohou při vytržení

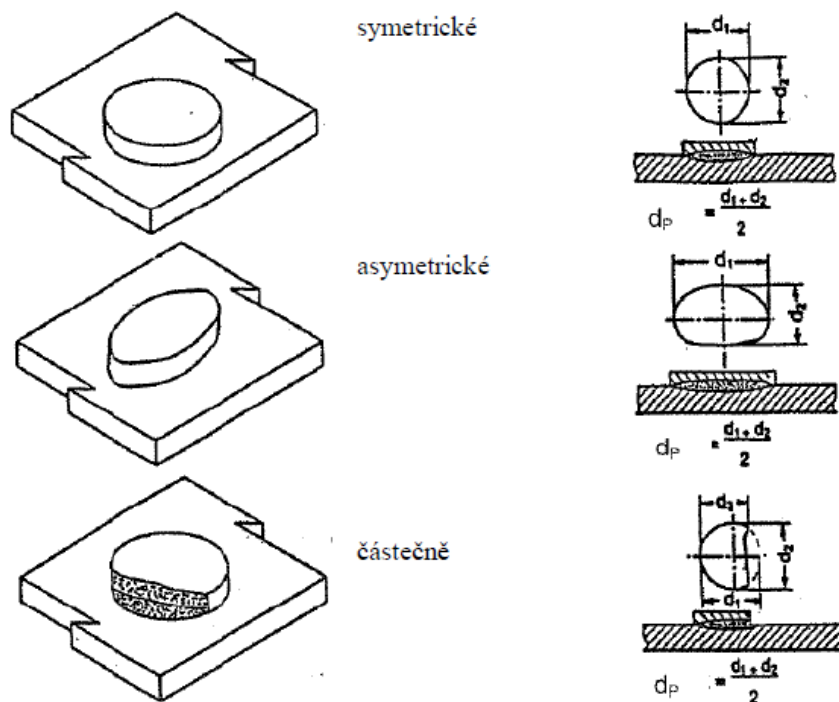
svarových bodů vzniknout výčnělky, jejichž průměr je v závislosti na vytvrzení materiálu při svařování větší než svarová čočka.

U stanovení průměru bodu se pomocí posuvného měřidla změří výčnělek  $d_1$  a  $d_2$  (2. měření přesazené o  $90^\circ$ ) a je stanovena průměrná hodnota z obou měření. Pokud není možné přesné měření ve dvou směrech, je nutno použít menší průměr než  $d_p$  viz obr. 10. Pro nepovrstvené a povrstvené plechy platí následující vztah

$$d_p = 1,15 \times d_L \quad (9)$$

$d_p$  - průměr svarového bodu [mm]

$d_L$  - průměr svarové čočky [mm]



Obr. 11 Geometrie svarové čočky [13]

## 2.7. Požadavky na personál provádějící zkoušky

Pro provádění nedestruktivní kontroly musí být pracovníci odborně školeni a mít platný certifikát pro danou metodu zkoušení (podle ČSN EN ISO 9712). Ve Škodě Auto

a.s. je nutno získat certifikát měření svarových bodů ultrazvukem. Na základě mezinárodních dohod byla stanovena třístupňová kvalifikace.

**Level 1:** Osoba certifikovaná ve stupni 1 je kvalifikována provádět NDT zkoušky podle písemných instrukcí a pod dohledem pracovníka s kvalifikací 2 nebo 3.

**Level 2:** Osoba certifikovaná ve stupni 2 může provádět a řídit nedestrukční zkoušky podle stanovených postupů.

**Level 3:** Osoba certifikovaná ve stupni 3 je kvalifikovaná provádět a řídit veškeré činnosti v NDT zkoušení.

## 2.8. Druhy elektrod 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 [4]:

- **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 [14]

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 [14]

- **Skupina C – speciální materiály:**

- Materiály s oxidační vrstvou hliníku, vyznačují se velmi vysokou odolností proti opotřebení

Tab. 8 Tvrdost elektrod jednotlivých skupin a tříd podle RWMA [16]

			Minimum % IACS	Properties Hardness
Group A	Class 1-9	Class 1	80	65 Rb
		Class 2	75	75 Rb
		Class 3	45	90 Rb
		Class 4	20	33 Rc
		Class 5	12	65 Rb
Group B	Class 10-19	Class 10	45	72 Rb
		Class 11	40	94 Rb
		Class 12	35	98 Rb
		Class 13	30	69 Ra
		Class 14	30	85 Rb
Group C	Class 20 and up	Class 20	75	75 Rb

Podle normy ČSN EN ISO 5821 se elektrody pro odporové svařování se dále rozdělují podle tvaru A až G (obr. 11). Elektrody tvaru E, F a G lze frézovat a tím zvýšit dobu použití elektrod. IACS (International Annealed Copper Standard) je standardizovaná konstanta, udávající elektrickou vodivost měkké mědi a její hodnota činí 58 MS/m. [15]

## 2.9. Velikost čelní (kontaktní) plochy elektrod

Velikost čelní plochy elektrody je klíčová vzhledem k tomu, že určuje velikost bodu svaru, přičemž průměr kontaktní plochy elektrody je vždy o trochu větší než průměr svarové čočky. Jestliže je průměr kontaktní plochy elektrody příliš malý, bude svarový bod malý a slabý. Bude-li průměr kontaktní plochy elektrody neúměrně velký k tloušťce plechů, dojde k velkému natavení materiálu. Tento svar je hodnocen jako nepřijatelný. Stanovení průměru čelní plochy elektrody se odvíjí od vlastního odporu materiálu, který je na výrobu elektrody použit [17].

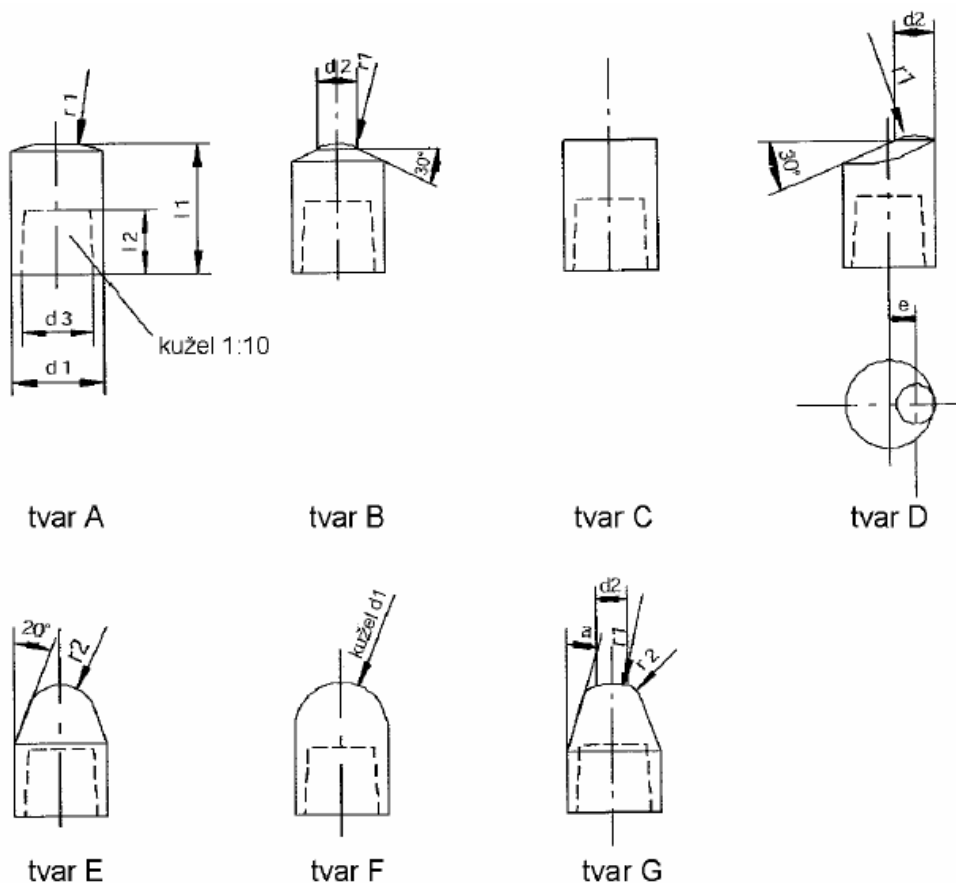
Vzorec pro výpočet průměru čelní plochy elektrod při svařování plechu z nízkouhlíkové oceli je následující:

$$D = 2,54 + 2t_L \quad (10)$$

D průměr elektrody [mm]

$t_L$  tloušťka plechu [mm]

V případě, že jsou oba svařované plechy stejné tloušťky, dosazujeme za  $t$  shodnou hodnotu a výsledné průměry konců elektrod se taktéž musí rovnat. Jsou-li však plechy různých tlouštěk, dosazujeme za  $t$  příslušné hodnoty svařovaných plechů a průměry konců elektrod se tedy liší v závislosti na těchto tloušťkách [18].



Obr. 12 Tvary vyměnitelných elektrodových čepiček dle ČSN EN ISO 5821 [19]

## 2.10. Životnost svařovacích elektrod

Abychom mohli dostatečně definovat pojem životnost svařovacích elektrod je nutno stanovit kritéria hodnocení kvality bodového svaru. Např. ve firmě Škoda Auto a.s. je jednoznačným kritériem minimální průměr svarového bodu (resp. Průměr svarové čočky). Tento průměr je stanoven podle interní normy (ČSN EN ISO 14373). Pro svařování různých tloušťek plechu je pro stanovení průměru svarové čočky rozhodující plech s menší tloušťkou.

$$d_{L\min} \geq 3,5 \times \sqrt{t_1} \quad (11)$$

$d_L$  - průměr svarové čočky [mm]

$t_1$  - tloušťka materiálu [mm]

Dále je nutno definovat další působící faktory, které se podílejí na celkové životnosti svařovacích elektrod:

- vliv výrobce svařovacích elektrod
- vliv uživatele
- vliv svařovacího stroje

Mezi hlavní vlivy, které může výrobce svařovacích elektrod ovlivnit, jsou:

- zpevnění tvářením za studena
- chemické složení
- tepelné zpracování

Vliv uživatele je na celkovou životnost svařovacích elektrod zásadní:

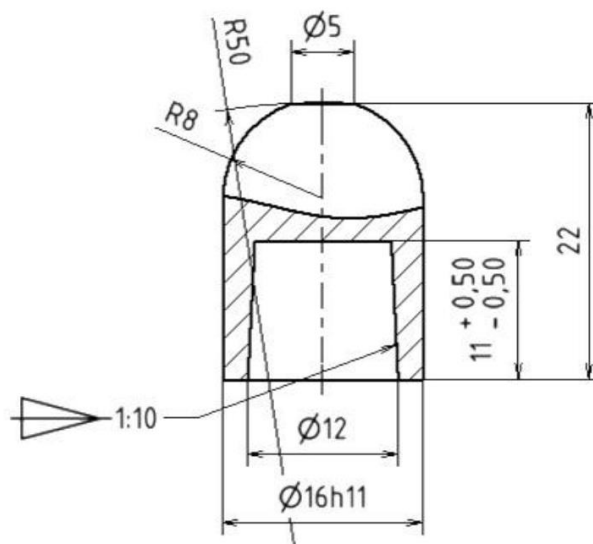
- nastavení svařovacích parametrů
- zajištění technologických podmínek: chladicí voda, kadence, volba elektrody a kvalitní frézování svařovací elektrody.

Vliv svařovacího stroje spočívá v jeho možnostech regulace silového systému a schopnosti regulace svařovacího proudu případně času. Vzhledem k ceně mědi je velký

tlak na zvyšování životnosti elektrod. Jedním z prvků, který prodlužuje životnost elektrod až o desetinásobek je kvalitní proces frézování. Standardní životnost při výrobě karoserií na ručních pracovištích je cca: 1 000 svařovacích bodů (s pravidelnou úpravou čelních ploch – frézováním). [20]

Norma ČSN EN ISO 8166 uvádí podmínky pro zkoušení životnosti svařovacích elektrod:

- 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).
- Průměr elektrody by měl odpovídat vztahu:  $d=5\sqrt{t}$ . Tvar elektrody a její chemické složení odpovídá typu, který se používá ve firmě Škoda Auto a. s. (viz obr. 23)



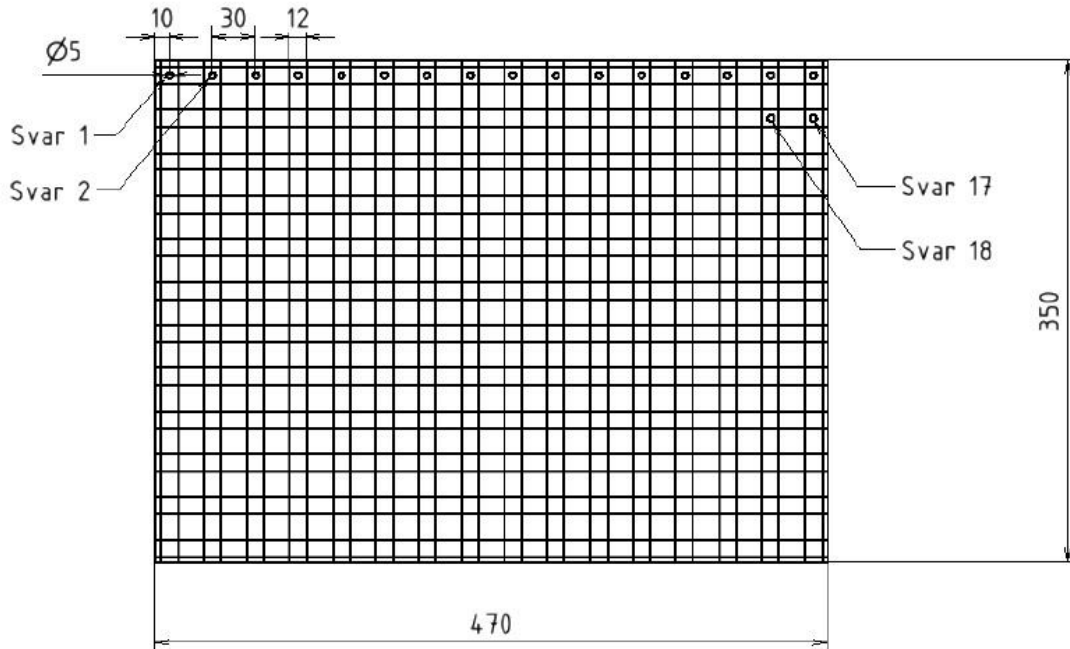
Obr. 13: Použitá elektrodová čepička pro odporové svařování 39D 1978-2 – CuCr1Zr

o pracovním průměru 5 mm

- Rozměry zkušebních plechů musí být zvoleny tak, aby se na plech umístilo nejméně 192 bodových svarů (viz obrázek 24).



- Musí se svařovat nejméně 10 mm od okraje plechu a s roztečí svarů nejméně 30 mm. To je z důvodu max. přípustných rozměrů mezi jednotlivými bodovými svary (viz EN ISO 14 373) aby nedocházelo k odbočování toku proudu, přes již hotové svary...



Obr. 14: Rozměry zkušebního plechu

- Teplota plechu během svařování nesmí přesáhnout 60 °C.

Na každých 192 bodových svarů (tzn. jeden zkušební plech) musí být (dle normy ČSN EN ISO 8166) provedeno 8 zkušebních svarů. Tyto zkušební svary by měly být provedeny na samostatných plechách o rozměrech 45 mm x 125 mm (jeden svar spojuje 2 zkušební plechy) při použití stejného materiálu. Velikost zkušebních vzorků by měla být navržena s ohledem na minimální vzdálenost od okraje dle výše uvedené normy. Tyto zkušební vzorky se následně dají použít pro provedení odlupovací zkoušky v souladu s normou ČSN EN ISO 10447 (Odlupovací a sekáčové zkoušení odporových bodových a výstupkových svarů).

## 2.11.Svařovací zdroje

Energie nutná pro svařování je transformována ve svařovacím zdroji. Svařovací agregáty pro bodové svařování umožňují přesně dávkovat energii dodávanou do svaru

nastavením svařovacího proudu a síly ve svařovacích kleštích v čase. Celý svařovací zdroj nebo část od transformátoru (včetně tyristoru) bývá součástí svařovacích kleští. Protože by bylo velmi neekonomické kvůli ztrátám a nepraktické kvůli velkému průměru vodičů, přenášet vysoké proudy na větší vzdálenost.

Je třeba proto brát v úvahu, že pokud je výrobce svařovacích kleští rozdílný od výrobce svařovacího zdroje, je nutné tato dvě zařízení nějakým způsobem spárovat. [38]

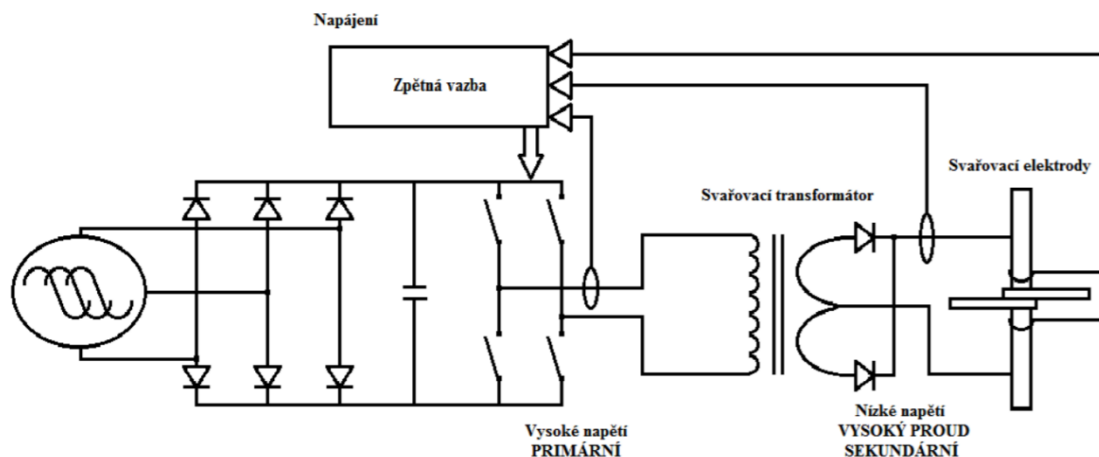
### **2.11.1. Vysokofrekvenční invertor**

Vysokofrekvenční invertor je jedním z nejpoužívanějších zdrojů pro bodové svařování. Zařízení je napájeno třífázovým elektrickým napětím ze sítě a toto napětí je následně usměrněno na stejnosměrné napětí. Stejnosměrné napětí je vyhlazeno pomocí kondenzátorového filtru a pomocí spínacích tranzistorů je generováno střídavé napětí o vysoké frekvenci, řádově 1–25 kHz, ve formě pulzů.

Spínací tranzistory generující napětí ve formě pulzů jsou ovládané řídicím systémem svařovacího zdroje. Během svařování zdroj kontroluje celkový odpor mezi elektrodami, protékající proud a napětí mezi elektrodami. Změnou šířky pulzů je možné velmi rychle v řádu 10  $\mu$ s měnit výstupní proud. [39]

Svařovací zdroj je tak schopen v řádu desetin milisekund nastavovat svařovací parametry v závislosti na údajích ze zpětné vazby. Střídavé napětí je přivedeno do transformátoru a transformováno na nízké napětí řádově 5–15 V a vysoké proudy 8–100 kA. Použití vysokofrekvenčního invertoru má několik výhod. Zejména široké možnosti řízení svařovacích parametrů, díky využití spínaného zdroje. Transformace elektrického napětí o vysoké frekvenci má vysokou účinnost, a s tím související malou spotřebu energie a kompaktní rozměry transformátoru. [39]

Kvůli malému množství ztrátové energie jsou menší nároky na chlazení v porovnání s transformátory převádějícími energii o nízké frekvenci. Díky tomu mají kleště vybavené invertorem kompaktní rozměry v porovnání se střídavým zdrojem. [40]

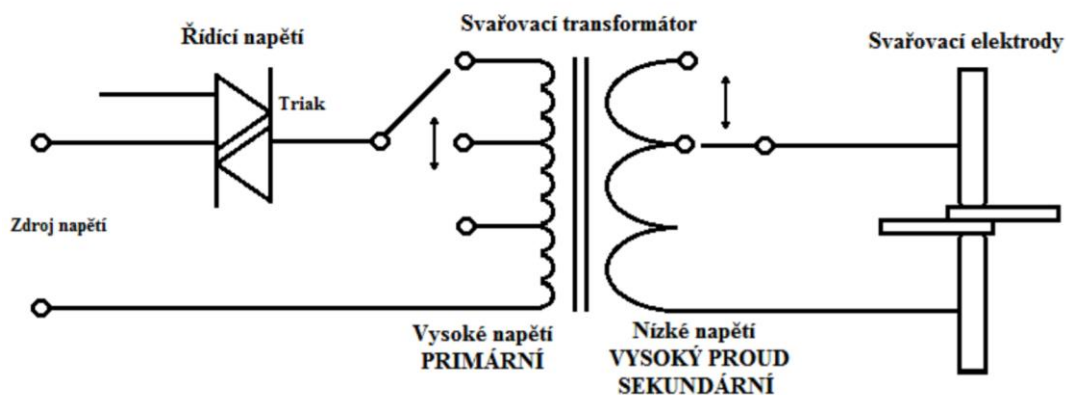


Obr. 15 Schéma vysokofrekvenčního invertoru [40]

### 2.11.2. Střídavý svařovací zdroj

Střídavý svařovací zdroj je dalším často používaným svařovacím zdrojem. Zde je síťové napětí přímo převáděno transformátorem na požadované napětí a proud pro svařování. Střídavé svařovací napětí má tedy frekvenci napájecí sítě. Před transformátorem, popř. i za ním, jsou zařazené dva antiparalelně zapojené výkonové tyristory (tzv. triak), které propouští pouze část period střídavého napětí, a tím je možné regulovat velikost napětí a proudu vstupujícího do transformátoru.

Řízením tyristoru je možné měnit parametry během svařování. Transformátor má v primárním a sekundárním okruhu navinuto několik různých vedení a jejich přepínáním lze skokově měnit napětí a proud na výstupu. Hlavní výhodou tohoto zdroje je jednoduchost konstrukce a nízká cena v porovnání se spínaným zdrojem. Nevýhodami jsou vyšší spotřeba energie, nižší účinnost, velké rozměry transformátoru a chlazení. [40]



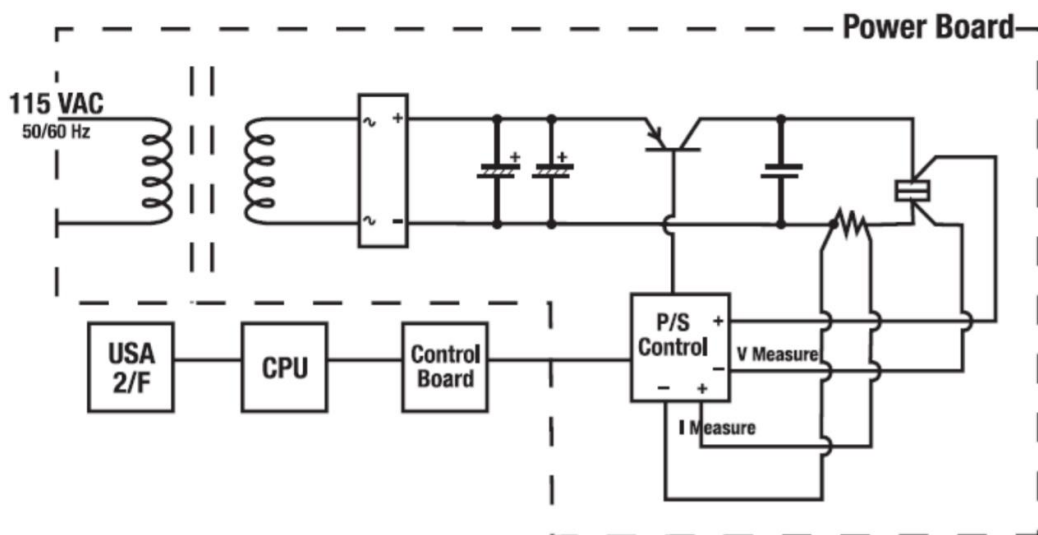
Obr. 16 Schéma střídavého svařovacího zdroje [40]

### 2.11.3. Kapacitní zdroj

V kapacitním zdroji nejdříve dochází k nabití kondenzátorů ze sítě a jejich vybitím přes pulzní transformátor dochází k dodání energie do místa svaru. Tento zdroj se používá pouze pro speciální aplikace pro svařování vysoce vodivých materiálů. [40]

### 2.11.4. Lineární stejnosměrný zdroj

Lineární stejnosměrný zdroj se používá pro speciální aplikace jako je svařování tenkých fólií a drátů. V tomto zdroji je transformátor použit pouze pro galvanické oddělení napájecí sítě od svařovacího okruhu. Pro změnu svařovacího proudu a napětí se používá velké množství výkonových tranzistorů. Díky tomu má zdroj velmi ostrou a přesnou charakteristiku. Nevýhodou je velmi vysoká cena v porovnání s ostatními zdroji. [40]



Obr. 17 Schéma lineárního stejnosměrného zdroje [40]

Power board – napájecí deska; V Measure – měření napětí; I Measure – měření proudu; P/S kontrol – regulace tyristoru; Control board – řídicí obvod; CPU – řídicí jednotka; USA 2/F – řídicí rozhraní

## 2.12. Typy svařovacích kleští

Svařovací kleště lze rozdělit podle několika základních parametrů. Podle způsobu ovládání lze kleště rozdělit na kleště:

- **Pneumatické** – otevírání a zavírání kleští je realizováno pneumatickým válcem. Kleště mají dva základní režimy otevření – plné otevření a přivření. Jejich velikost lze nastavit. Rychlost otevírání a zavírání je nižší než u servokleští. Hlavní výhodou je nízká cena. [21]
- **Servokleště** – mohou být servopneumatické nebo servoelektrické, dle použitého servomechanismu. Hlavními výhodami těchto svařovacích kleští je možnost libovolného otevření kleští, vysoká rychlost otevírání a zavírání a možnost individuálního nastavení síly sevření pro každý jednotlivý svar. V dnešní době tyto kleště díky svým vlastnostem nahrazují pneumatické kleště zejména v automatizovaném provozu. [22]

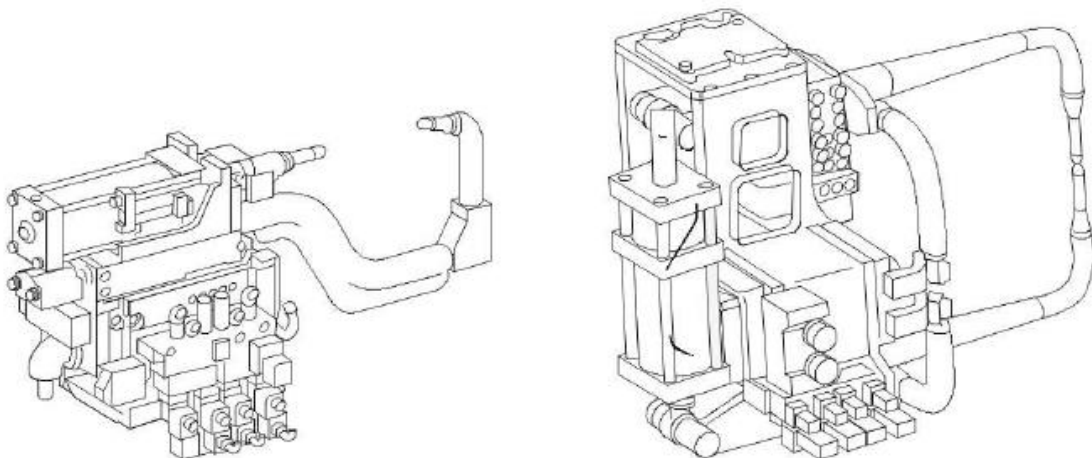
Dále lze kleště rozdělit dle upevnění:

- **Pohyblivé kleště** – svařovaný díl je upnutý v nepohyblivém přípravku. Kleštěmi manipulujeme do pozice svaru.
- **Stacionární kleště** – kleště jsou pevné a do pozice svaru manipulujeme se svařovaným dílem.

Poslední rozdělení, které zde bude uvedeno, je rozdělení kleští dle konstrukce čelistí. Volba konstrukce kleští se provádí podle tvaru svařované součásti a pozice svarů:

- **X kleště** – nůžková konstrukce kleští, obr. 18 vpravo. Hlavní výhodou je dobrý dosah svarů v rovinách kolmých ke svářeči. Při ručním svařování je možné při vhodném natáčení součásti a změně pozice obsluhy svařovat většinu svarů. Nevýhodou je menší rychlost otevírání a zavírání kleští v porovnání s C kleštěmi. Při manipulaci s kleštěmi je třeba zvýšené opatrnosti, jelikož jedno z ramen kleští je pohyblivé a při otevření kleští dochází ke zvětšení rozměru kleští.

- **C kleště** – konstrukce podobná stolařské svěrce, obr. 18 vlevo. Využívají se pro svary v rovině kolineární s rovinou svářeče. Hlavní výhodou je vysoká rychlost otevírání a zavírání kleští a vyšší bezpečnost při manipulaci.
- **Jednostranné bodovací kleště** – používají se na svařování dílů s omezeným přístupem. Kleště mají pouze jednu elektrodu, která se přitlačí vnější silou na svařovaný plech, druhý svařovaný plech musí být uzemněn například pomocí upínky. V některých případech mají kleště dvě stejnostranné elektrody a měděný vodič na podložení spodního plechu, proud pak protéká mezi elektrodami a plechem. Nevýhodou kleští je nemožnost vyvinout vyšší přitlačnou sílu, a to může mít zvláště u tlustších plechů za následek horší kvalitu svaru. Dále dochází ke ztrátám svařovacího proudu. [23]



Obr. 18 Svařovací kleště typ C (vlevo), typ X (vpravo) [21]

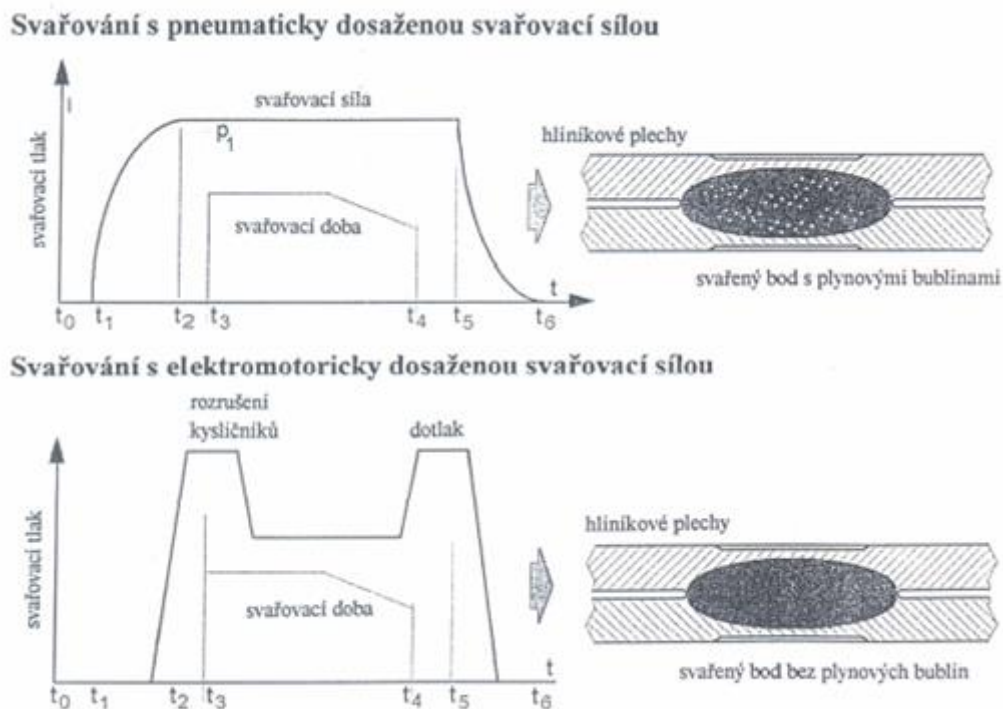
### 2.13. Silový systém svařovacích kleští

Při odporovém svařování je nutno vyvodit velkou přitlačnou sílu mezi elektrodami. Ve většině případů se z ekonomických důvodů používá pneumatických systémů. Kleště jsou vybaveny pneumatickým válcem, který se dimenzuje s 20 % rezervou pro požadovaný tlak mezi elektrodami. Toto konstrukční řešení má vliv na statické a dynamické charakteristiky svařovacích kleští a tyto charakteristiky ovlivňují výslednou kvalitu bodového spoje. Dynamické charakteristiky se sledují ve dvou fázích při průběhu svařovacího procesu.

- při dosedu elektrod v počáteční fázi svařovacího procesu
- při průchodu elektrického proudu.

U pneumatických kleští se nastavuje jedna konstantní hodnota tlaku, která je stejná pro všechny fáze svařovacího procesu, jako jsou fáze průchodu proudu a případně dotlak. Technicky je možné provést změnu tlaku pomocí proporcionálního ventilu. Svařovací síla má vliv na životnost svařovacích elektrod.

Pro zlepšení dynamických vlastností silového systému je možná náhrada za pneumatický systém zvolit servomotor. Dosažení proměnné síly umožňují díky krátké reakční síle servomotoru. [23]



Obr. 19 Svařování s pneumaticky a elektromotoricky dosaženou svařovací silou [23]

### 3. Strukturní a mechanické vlastnosti bodového svaru

Kvalita bodových svarů se posuzuje komplexně vzhledem k požadovaným vlastnostem těchto spojů. Jelikož výroba karoserií v současné době je velkosériová výroba je nutno implementovat kontrolní mechanismy, které zajistí požadovanou kvalitu při provádění bodových svarů. Pomocí řídicího systému se snažíme kontrolovat hodnotu sekundárního proudu přímo při svařování. Svářecí technik odpovědný za kvalitu může nastavit tolerance této hodnoty a v případě mimolimitního stavu se automaticky provede

opakování svaru. Po neúspěšném druhém pokusu řídicí systém svařování proces zastaví. Tento způsob kontroly není ideální, protože v praxi se stávají ojedinělé případy, kdy svařovací proud je v mezích tolerance, ale svarová čočka se nevytvoří. [25]

Jedním z nejdůležitějších pracovišť pro hodnocení kvality bodových svarů je zkušebna svarů. Na tomto pracovišti se dle stanoveného harmonogramu provádějí destruktivní a nedestruktivní zkoušky.

Destruktivní zkoušky bodových svarů jsou rozděleny na mechanické a metalografické. Při destrukčních zkouškách lze stanovit jak průměr svarové čočky, tak i průměr bodu.

Mezi nedestrukční zkoušky patří vizuální metoda, která je základní metodou pro zjištění povrchových vad. Vyžaduje dobré zrakové schopnosti pracovníka a vhodné osvětlení kontrolního místa. Základní podmínkou pro správné provedení kontroly je znalost technologie výroby kontrolovaného dílu. [25]

### **3.1. Makrostruktura bodového svaru**

Chceme-li vyhovět zadání práce, je nyní zapotřebí se zaměřit na makrostrukturu bodového svaru. K tomu nám poslouží obr. 14, kde jsou vyznačena jednotlivá pásma materiálu tepelně ovlivněného právě technologií bodového odporového svařování materiálu nízkouhlíkové oceli s feriticko-peritickou strukturou.

Vlastní svar, kde dochází k natavení materiálu, tvoří:

- pásmo 1 - vnitřní část, pro niž je typická struktura rovnoosých krystalů
- pásmo 2 - oblast s orientovanou dendritickou strukturou vzniklou krystalizací

Oblast natavení je obklopena:

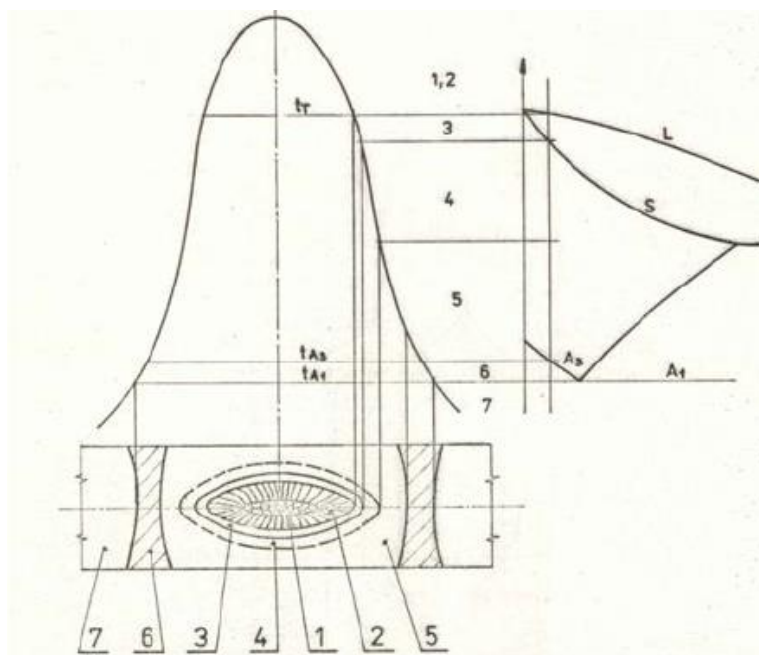
- úzkou oblastí 3, kde došlo k chemickým reakcím v polotekutém a tuhém stavu – jedná se o oblast částečného natavení a dochází zde k migraci uhlíku případně k segregacím jednotlivých prvků.



- pásmem přehřátí 4 - jeho existence závisí na parametrech svařování – svařujeme-li tvrdým svařovacím režimem, je toto pásmo velmi úzké nebo dokonce metalograficky nezjistitelné.

Teplotám těsně nad  $A_3$  odpovídá oblast 5, jejíž struktura se zjemňuje normalizačním žháním. V pásmu 6, jež je vymezeno teplotami  $A_1$  a  $A_3$ , se struktura stává zrnitou – vznikající perlit má tendenci se přeskupovat a shlukovat. Oblast 7 tvoří neovlivněný základní materiál. [24]

Zjednodušeně můžeme říci, že oblast, kde došlo k natavení materiálu je obklopena tepelně ovlivněnou oblastí, která se díky své hrubozrnnosti vyznačuje nevalnými mechanickými vlastnostmi. Je-li bodový svar přílišně namáhán, pak dojde k jeho porušení nejčastěji právě v této tepelně ovlivněné oblasti (dojde k vytržení svarové čochky) a to jak v materiálu svařovaném měkkým režimem, tak režimem tvrdým. [25]



Obr. 20 Vliv teplotního působení procesu bodového svařování na strukturu svarové čochky [L – likvidus (tavenina); S -solidus (tuhá fáze);  $tT$  - teplota tavení základního svařovaného materiálu] [25]

### 3.2. Mechanické zkoušky bodových svarů

V celé této podkapitole jsou popsány zkoušky statické – tedy svary jsou v tomto případě zatěžovány silami, jejichž velikost se postupně, velmi pomalu zvětšuje, a to až do okamžiku přetržení zkušebního vzorku.

Mechanické zkoušky odporových svarů se provádí tak, aby:

- vystihovaly způsob namáhání svarů, který se bude v provozu nejčastěji vyskytovat
- poskytovaly určité kvantitativní srovnání (tedy aby výstupem byly číselné hodnoty, které můžeme dále porovnávat)
- byly kdykoli reprodukovatelné (tzn., abychom je mohli kdykoli za stejných podmínek
- opakovat)
- nebyly z hlediska samotného výkonu příliš náročné
- jejich provedení odpovídalo příslušné normě (všechny mechanické zkoušky, o kterých bude dále řeč, jsou normalizované)

Jednotlivé zkoušky bodových svarů můžeme rozlišit z hlediska způsobu zatěžování a tvaru zkušebního tělesa takto:

- Tahová U-zkouška – zkušebním tělesem je svařenec dvou U-profilů svařených k sobě čelem jedním bodovým svarem. Při namáháním tahem vzniká okolo bodového svaru stříhové namáhání v rovině kolmé na povrch plechu po obvodě roztavené oblasti.
- Křížová zkouška tahem – zkušebním tělesem je kříž zhotovený ze dvou pásů plechů, jež jsou k sobě ve středu překrytí spojeny jedním bodovým svarem.
- Zkouška stříhem – zkušebním tělesem jsou dva stejně orientované pásy plechu spojené jedním bodovým svarem uprostřed přeplátování (viz obr. 11c)). Zkouška se provádí na trhačím stroji – jedná se tedy o zkoušku tahem, ovšem samotný svar, resp. okolí svaru je namáháno převážně na smyk. Na obr. 12 je znázorněno, jakým způsobem se může dojít k přetrhnutí zkušebního tělesa. V případě, že dojde porušení ve svaru nebo jeho blízkosti, je potřeba přeměřit rozměr svarové čočky

(rozměry svarových čoček – je-li jich více) přeměřit a z těchto naměřených hodnot a z hodnot získaných tahovou zkouškou posoudit mechanické vlastnosti svaru.

[10]

Provádíme-li smykovou zkoušku vícebodového svaru, je nutné pamatovat na skutečnost, že kvalitu jednotlivých svarů mohly ovlivnit ztrátové proudy protékající již přes hotové bodové svary. Z důvodu minimalizace těchto vlivů má zhotovování jednotlivých bodů své předepsané pořadí.

Smyková pevnost je závislá na těchto parametrech:

- průměr a provaření svaru
- tloušťka svařovaného materiálu
- pevnost svařovaného materiálu
- stav svařovacích elektrod, jimiž bylo svařování prováděno
- přítomnost trhlin a dalších vad ve svaru a jeho okolí

Pro výpočet smykové pevnosti svaru můžeme použít dle normy ČSN EN ISO 14373 následující vztah:

$$\tau = 6,2 \cdot s \cdot d_1 \cdot R_m \quad (12)$$

Kde:  $\tau$  – smyková pevnost [N]

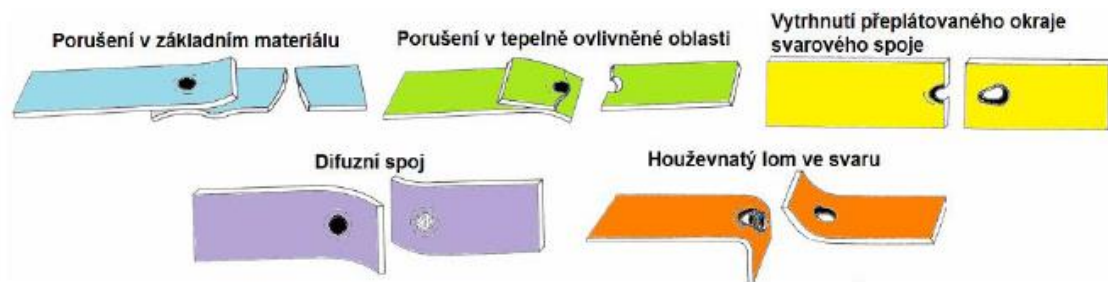
$S$  – tloušťka plechu [mm]

$d_1$  – průměr svaru [mm]

$R_m$  – mez pevnosti v tahu svařovaného materiálu [MPa]

K porušení celistvosti svařence vlivem smykové zkoušky může dojít způsobem znázorněnými na obr. 12. (Pozn.: Namísto pojmu „houževnatý lom“ je z hlediska vizuálního posuzování jeho povrchu vhodnější používat termínu „tvárný lom“.

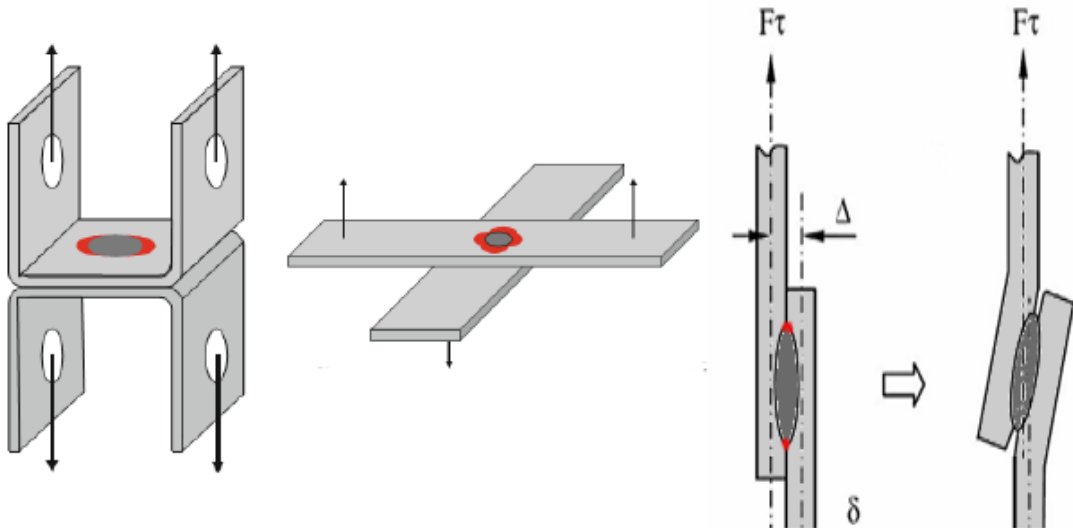
Houževnatost je vlastnost daného materiálu – je to míra odolnosti vůči iniciaci trhliny/defektu a jeho šíření.) [9]



Obr. 21 Způsoby porušení celistvosti svařence vlivem smykové zkoušky [10]

Mimoto bodové svary můžeme zkoušet ještě na krut – z hlediska krutu ovšem bodové svary nevykazují příliš vysokou pevnost. Další možností je zkouška tvrdosti – tato zkouška je výhodná z hlediska snadné a nedestruktivní realizovatelnosti. Všechny tyto zkoušky jsou kvantitativní – jejich výstupem jsou numericky popsané závislosti. Mimo tyto existují i zkoušky neposkytující číselné údaje, jako např. zkouška odlupováním, sekáčová apod. Z těchto zkoušek lze především zjistit velikost svarové čočky.

Při zhotovování jakýchkoli zkušebních těles se přirozeně neopomenou všechny potřebná technologická opatření, jež jsou důležitá z hlediska zabezpečení dokonalého svaru (- jedná se např. o očištění povrchů plechů, technický stav svařovacích elektrod apod.) a volí se osvědčené svařovací parametry, které navíc podléhají přísné kontrole.



Z toho plyne, že budeme-li zkoušet mechanické vlastnosti svarů ať již v závislosti na průměru svarové čičky, tak v závislosti na počtu a rozmístění bodových svarů, nebudeme zohledňovat kvalitu zhotovených bodových svarů. [10]

Obr. 22 a) Tahová U-zkouška; b) Křížová zkouška tahem; c) Zkouška tahem na smyk [26]

## 4. Materiály pro karosérie automobilů

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

### 4.1. Ocelové plechy

#### 4.1.1. Rozdělení ocelí pro automobilový průmysl

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

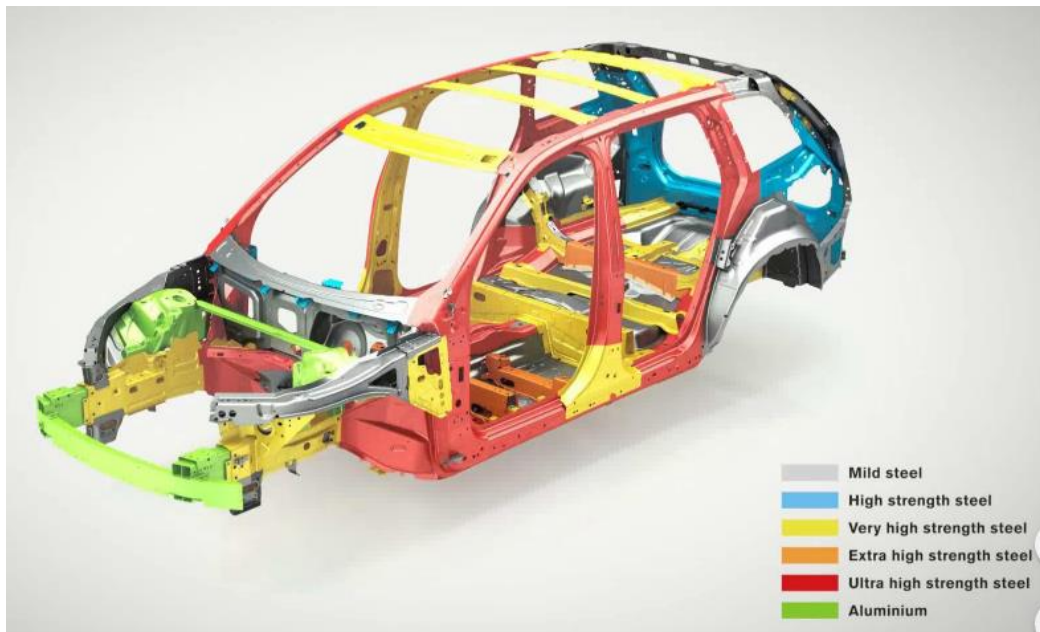
- Měkké oceli (*Mild steels*)
- Vysokopevnostní oceli (*High-strength steels, HSS*)
- Oceli velmi vysokých pevností (*Very-high-strength steels, VHSS*)
- Ultravysokopevnostní oceli (*Ultra-high-strength steels, UHSS*) [27]

#### 4.1.2. Vlastnosti ocelí pro automobilový průmysl

- **Měkké oceli (Mild steels)** – oceli bez legujících prvků s nízkým obsahem uhlíku a dobrou tvářitelností. [27]
- **Oceli vysokopevnostní bez intersticiálních prvků (IF-HS)** – oceli s feritickou strukturou s dobrou tvářitelností a nízkým obsahem uhlíku, které jsou zpevněny přísadou manganu, křemíku a fosforu. Na využití pro výrobu karosérií automobilů připadají zhruba 4 %. [27] [28]
- **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. [28] [29]
- **Vysokopevnostní 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 %. [28] [29]
- **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 z 3-4 %. [28] [29]
- **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 %. [28] [29]
- **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. [29]

- **Feriticko-bainitické oceli (FB)** – oceli obsahující bainit nebo zpevněný bainit v matrici, kterou tvoří ferit a/nebo zpevněný ferit. [29]
- **Martenzitické oceli (MART)** – oceli částečně anebo plně martenzitické. Vykazují vysoké pevnostní vlastnosti na úkor plastických. Jejich využití je odhadováno na 4 %. [28]

Pro příklad na obrázku č. 17 je zobrazena konstrukce karosérie Volvo V90 s použitím materiálů označených barevně podle pevnosti.



Obr. 23 MATERIAL MIX IN THE NEW VOLVO XC90 [29]

Tab. 9 Rozdělení karosářských ocelí podle pevnosti a jejich aplikace [27]

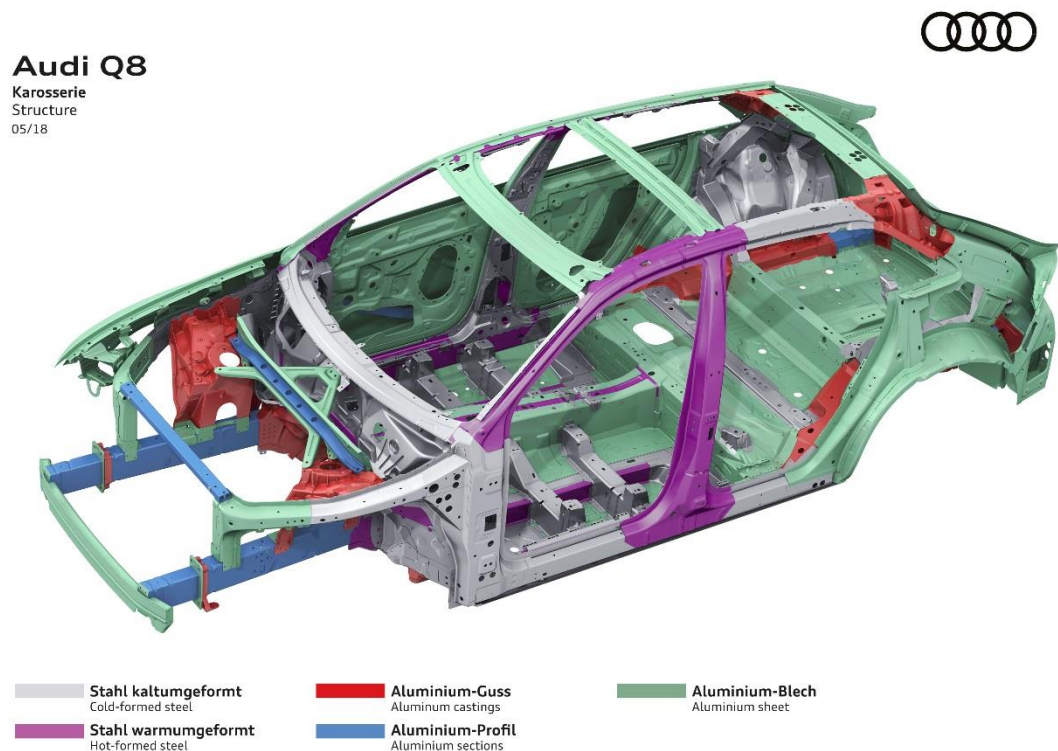
Skupina	Druh oceli	Použití
<b>Měkké oceli</b> ( <i>Mild steels</i> ):	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ocel běžné kvality (<i>Commercial steel, CS</i>)</li> <li>- tažná ocel (<i>Drawing/Forming steel, DS/FS</i>)</li> <li>- hlubokotažná ocel (<i>Deep drawing steel, DDS</i>)</li> <li>- zvlášť hlubokotažná ocel (<i>Extra-deep drawing steel, EDDS</i>)</li> <li>- zvlášť hlubokotažná ocel plus (<i>Extra-deep drawing steel Plus, EDDS+</i>)</li> </ul>	kryty dveří, podlaha, blatníky, kliková skříň
<b>Vysokopevnostní oceli</b> ( <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, střecha, spodek karosérie, výztuha, příčné nosníky
	Vysokopevnostní nízkolegované oceli ( <i>High-strength low-alloy steels, HSLA</i> )	výztuha nárazníku, podélné nosníky, podvozek, kola
<b>Oceli velmi vysokých pevností</b> ( <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
<b>Ultravysokopevnostní oceli</b> ( <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

## 4.2. Plechy ze slitin hliníku

Snížování dopadů automobilů na životní prostředí a snížování spotřeby paliva žádá stále lehčí konstrukce. Úspora 100 kg hmotnosti sníží spotřebu paliva o 0,3 l a o 7,5 g emisí CO<sub>2</sub> na 100 km. Proto v sedmdesátých letech 20. 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. [31] [32]



Obr. 24 Konstrukce karosérie Audi Q8 s použitím materiálů označených barevně podle pevnosti: US – ultravysokopevnostní oceli, KS – konvenční oceli, AP – hliníkový profil, AB – hliníkový plech, AG – hliníkový odlitek [33]

### 4.3. Povrchové úpravy plechů pro karoserie automobilů

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

Dále bude popsán konkrétní případ povrchové úpravy používané pro Škodu Superb. [34]

Následuje fosfátování, které se provádí ponorem celé karosérie do lázně, kde je její povrch ošetřen chemicky vyloučenou 5 $\mu$ 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  $\mu\text{m}$  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  $\mu\text{m}$ , vnitřní plechy pak do tloušťky 10  $\mu\text{m}$ , ovšem žárovým zinkováním. [34]

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. [35]

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  $\mu\text{m}$ . Po jeho zaschnutí a další kontrole

kvality se již nanáší barevný podklad, který určuje barevný odstín karosérie. Jeho tloušťka je od 15 do 25  $\mu\text{m}$  podle typu použitého materiálu.

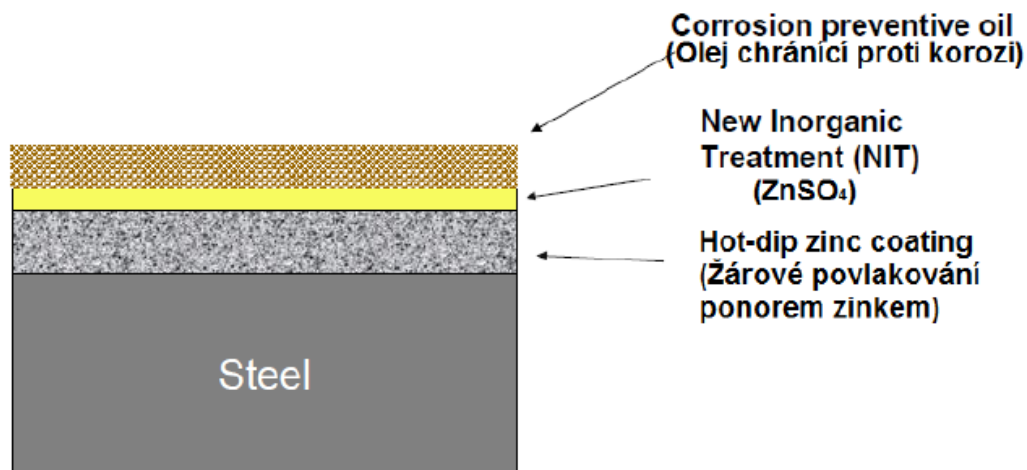
Barevný podklad chrání konvenční bezbarvý vypalovací lak, jehož sušení probíhá za teploty 140  $^{\circ}\text{C}$ . Díky této vrstvě tloušťky 35 až 45  $\mu\text{m}$  má karosérie vysoký lesk a lepší odolnost proti vnějším vlivům okolního prostředí (ultrafialové záření, emise z ovzduší i další chemické 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.

Poslední operací zajišťující kompletní antikorozní ochranu je konzervace dutin, která se provádí zaplavením horkým voskem o teplotě 120  $^{\circ}\text{C}$ . Tento vosk neobsahuje organická rozpouštědla, je šetrný k životnímu prostředí, a doplňuje tak ekologickou koncepci lakovny. Z lakovny odcházejí karosérie do haly konečné montáže. [36]

#### **4.3.1. New Inorganic Treatment (NIT)**

NIT je druh povrchové úpravy, který byl vyvinut ve spolupráci mezi Škodou 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. 19). I když na plechu není patrná, přináší užitečné vlastnosti plechu. Rovnoměrné povlaky se získají postříkem, vytlačáním nebo chemickým povlakováním. Pozinkované plechy s povrchovou úpravou NIT se používají při výrobě bočních dveří u Fabie apod.



Obr. 19 Ocelový pozinkovaný plech s NIT v příčném řezu [37]

K užitečným vlastnostem, které přináší NIT, patří [37]:

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

## 5. Návrh experimentu

Cílem diplomové práce bylo zjistit vliv povrchové úpravy NIT na opotřebení svařovacích elektrod. V diplomové práci bylo porovnáno jak povrchová úprava (NIT) ovlivňuje svařovací podmínky a pevnost bodového svaru. Vzorky byly po sváření podrobeny stříhové zkoušce, v souladu se způsobem (metodikou) provedení a hodnocení výsledků podle normy ČSN EN ISO 14273, podle níž bylo postupováno v experimentální části při zkoušení vzorků.

Z této zkoušky byla určena střížná síla pro přetržení svarových spojů pro každý vzorek a vyhodnoceny velikosti svarových čoček a porovnány s metalografickými výbrusy makrostruktury. Pomocí těchto zkoušek byly porovnány jednotlivé skupiny vzorků (které se liší způsobem vytvoření povrchové úpravy a tím i různým obsahem ZnSO<sub>4</sub> v povlaku) mezi sebou.

## 5.1. Specifikace použitého materiálu

Pro experiment byly použity ocelové pozinkované plechy o tloušťce 0,7 mm s odlišnými variantami povrchové úpravy NIT.

Tab. 10 – Označení použitých materiálů

Označení vzorku	Název materiálu
0 - bez NIT	DX 56D + Z100 MC – bez NIT
10 mg S/m <sup>2</sup>	DX 56D Z100 + MC + NIT - 10
20 mg S/m <sup>2</sup>	DX 56D Z100 + MC + NIT - 20
30 mg S/m <sup>2</sup>	DX 56D Z100 + MC + NIT - 30
40 mg S/m <sup>2</sup>	DX 56D Z100 + MC + NIT - 40
100 °C	DX 56D Z100 + MC + NIT – sušeno při tep. 100 °C
130 °C	DX 56D Z100 + MC + NIT – sušeno při tep. 130 °C

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

DX – ocel spadající do kategorie za studena válcované vhodná tváření za studena a hlubokotažným operacím, smluvní mez kluzu se v tomto případě pohybuje v rozmezí 120-180 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

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, vrstva zinku 100 g/m<sup>2</sup> [29]

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 – olejová úprava. [29]

Identifikace a kontrola povrchové vrstvy byla provedena prof. E. Schmidovou na Dopravní fakultě Jana Pernera Univerzity Pardubice, změřením mg S/m<sup>2</sup> (na obou stranách plechů) na spektrálním analyzátoru Elva IV Light viz obr 26.

## Analyse der NIT Beschichtung

Messung der NIT Konzentration (Schwefel) mit Spektrometer ElvaX IV Light



Materialspezifikation			
Probebezeichnung	Werte vom Lieferanten [mg S/m <sup>2</sup> ]	Gemessene Werte- Seite A [mg S/m <sup>2</sup> ]	Gemessene Werte- Seite B [mg S/m <sup>2</sup> ]
Stahlwerk 1 - 1	10	13,82	13,25
		12,44	13,20
Stahlwerk 1 - 2	20	18,02	17,36
		20,75	17,23
Stahlwerk 1 - 3	30	27,70	27,73
		28,58	27,80
Stahlwerk 1 - 4	40	42,25	41,77
		41,67	40,65
Stahlwerk 1 - 5	0	3,47	7,02
		3,59	7,53
Stahlwerk 1 - 6	18-20	24,04	22,69
Trockentemperatur 130 °C		23,92	22,18
Stahlwerk 1 - 7	18-20	24,46	23,47
Trockentemperatur 100 °C		24,52	23,47

2

Projekt Analyse der NIT-Beschichtung / Ing. Tomáš Pilvousek, Ph.D., Ing. Tomáš Schffmann / PFS-K – Technischer Service Presswerk und Karosseriebau/ 18.09.2017/

CONFIDENTIAL



Obr. 26 – Identifikace a kontrola povrchové vrstvy

## 5.2. Pracovní podmínky

Norma ČSN EN ISO 14273 uvádí podmínky zkoušky stříhem:

- Stanovuje rozměry vzorku a postup pro zkoušení stříhem odporových švových a výstupkových svarů.
- Pro tloušťky jakýchkoliv kovových materiálů od 0,5 mm do 10 mm, kde svary mají maximální průměr  $7\sqrt{t}$  (kde t je tloušťka plechu v mm). Pokud se používají

doporučené rozměry zkušební vzorku, pak u svarů o průměru  $> 5 \sqrt{t}$  a  $< 7 \sqrt{t}$  je možné odhadnout pevnost ve stříhu příliš nízkou.

- Rozměry zkušebních vzorků byly zvoleny nestandardně:

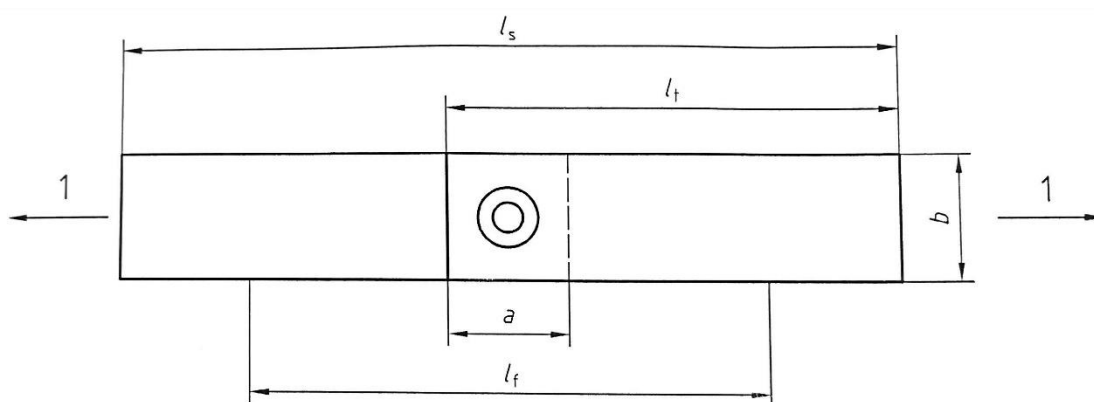
$$l_t = 50 \text{ mm}$$

$$b = 20 \text{ mm}$$

$$t = 0,6 \text{ mm}$$

$$a = 20 \text{ mm}$$

Obr. 27 Vzorek pro zkoušku stříhem [13]



Z důvodu nedostatku zkušební materiálu, byla velikost vzorku upravena tak, aby splňovala minimální rozměrové požadavky, a přesto nebyly výsledky ovlivněny (šlo především o dodržení vzdáleností bodových svarů od okraje plechů – v souladu s ČSN EN ISO 14373).

Tab. 11 Rozměry vzorku pro zkoušku stříhem [13]

Tloušťka $t$	Překlátování $a$	Šířka vzorku <sup>a</sup> $b$	Délka vzorku $l_s$	Volná délka mezi čelistmi $l_f$	Délka jednotlivých zkušebních ústřížků $l_t$
$0,5 \leq t \leq 1,5$	35	45 (30)	175	95	105
$1,5 < t \leq 3$	46	60 (30)	230	105	138
$3 < t \leq 5$	60	90 (55)	260	120	160
$5 < t \leq 7,5$	80	120 (80)	300	140	190
$7,5 < t \leq 10$	100	150 (100)	320	160	210

<sup>a</sup> Hodnoty v závorkách dávají přibližně 10 % snížení pevnosti a proto tyto šířky se používají pouze po dohodě mezi výrobcem a zákazníkem.

## 6. Experimentální část

### 6.1. Svařovací zařízení

Pro svařování vzorků byl použit odporový lis Dalex PMS 11-4. Charakteristika stroje je uvedena v tabulce 10.

Tab. 12 Charakteristika svařovacího lisu Dalex PMS 11-4

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

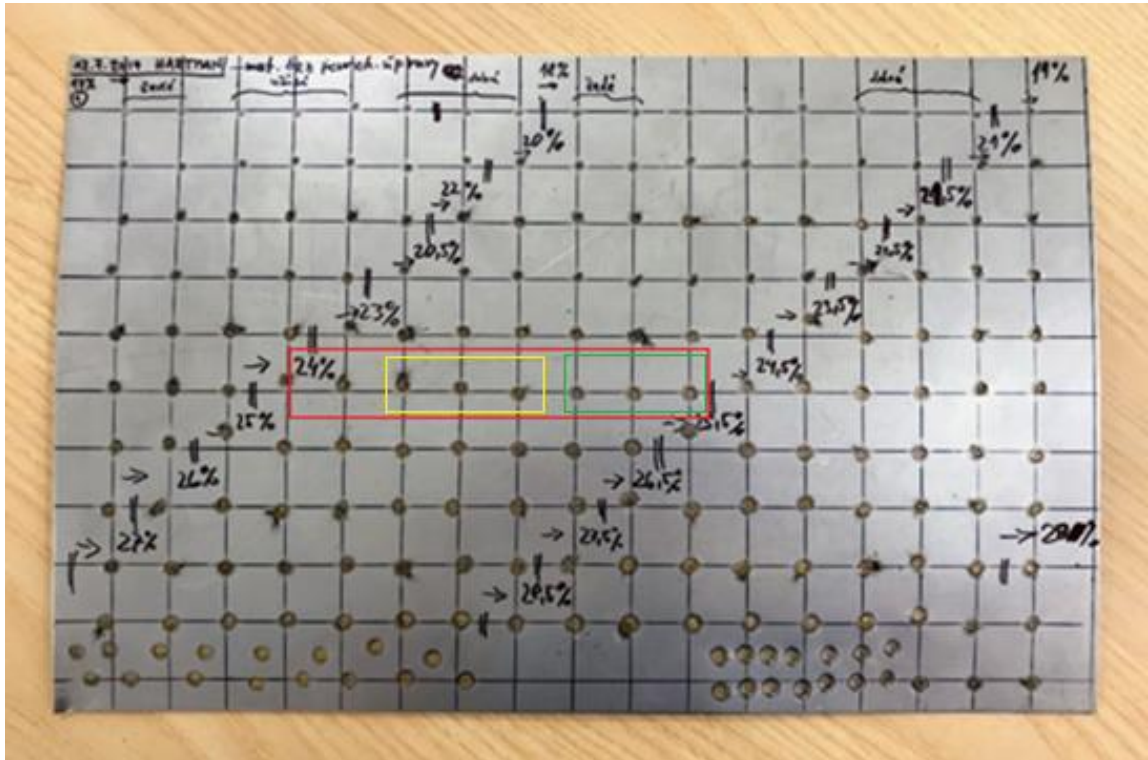


Obr. 28 Svařovací lisu Dalex PMS 11-4



## 6.2. Optimalizace svařovacích podmínek

Pro optimalizaci byl použit plech DX 56D + Z100 MC – bez povrchové úpravy NIT. První dva svary při změně svařovacího proudu jsou zkušební, nevyužívají se. Následující tři jsou označeny žlutě jako učící a další tři svary zelené.



Obr. 29 – Vzorek plechu pro optimalizaci svařovacích parametrů

Podle zelených svarů jsme vizuální kontrolou vybrali optimální svary bez rozstříku a jejich svařovací podmínky použily pro náš experiment této DP.

### 6.2.1. Svařovací proud

Po provedení optimalizačních svarů jsme dospěli k výsledku, že svary, které byly provedeny při 24 % z maximálního možného dosažitelného svařovacího proudu stroje, vypadají vizuálně nejlépe.

Tab. 14 – Optimalizovaný svařovací proud

Nastaveno na PC	Odečteno na stroji	
	změřeno	učící svary
%	kA	kA
24		
24		
24	7,372	7,47
24	7,568	7,65
24	7,224	7,37
24	7,204	
24	7,384	
24	7,382	

### 6.2.2. Použité svařovací parametry

Svařovací parametry byly odvozeny z předchozích zkušeností, optimalizace byla provedena následně na materiálu, který byl pro experiment určen.

Tab. 13 Použité svařovací parametry

Optimalizované parametry	
<b>Proud [kA]</b>	7
<b>Doba svařování [ms]</b>	260
<b>Elektrodová síla [kN]</b>	2,2
<b>Impuls [-]</b>	1
<b>Náběh proudu [ms]</b>	10
<b>Seběh proudu [ms]</b>	10
<b>Čas ochlazování [ms]</b>	10
<b>Výdrž [ms]</b>	350
<b>Čas zavírání [ms]</b>	300

### 6.3. Střížná zkouška

Pro získání potřebných hodnot jsme využily stroje LabTest Model 5.100S s vertikálním provedením s přesností řízení rychlosti  $\pm 0,5$  % a jmenovitým zatížením 100 kN, nacházejícího se v dílnách naší univerzity. Tahová zkouška byla provedena celkově na 77 vzorcích (7 skupin materiálu, 11 vzorků od každého).

Tab. 15 Parametry stroje LabTest Model 5.100S

Technická data	5.100SP1
Jmenovité zatížení [kN]	100
Max. zkušební rychlost [mm/min]	600
Přesnost řízení rychlosti [%]	±0,5
Rozlišení příčnicku [μm]	1
Tuhost rámu [mm/N]	1,6x 10 <sup>-6</sup>
Rozpětí sil [kN]	500-600
Přesnost měření síly [%]	±0,3 z hodnoty v rozsahu
Přesnost dráhy [μm]	1 - ČSN EN ř513
Přesnost měření napětí [%]	±0,5 průtahoměru



Obr. 30 Stroj LabTest Model 5.100S

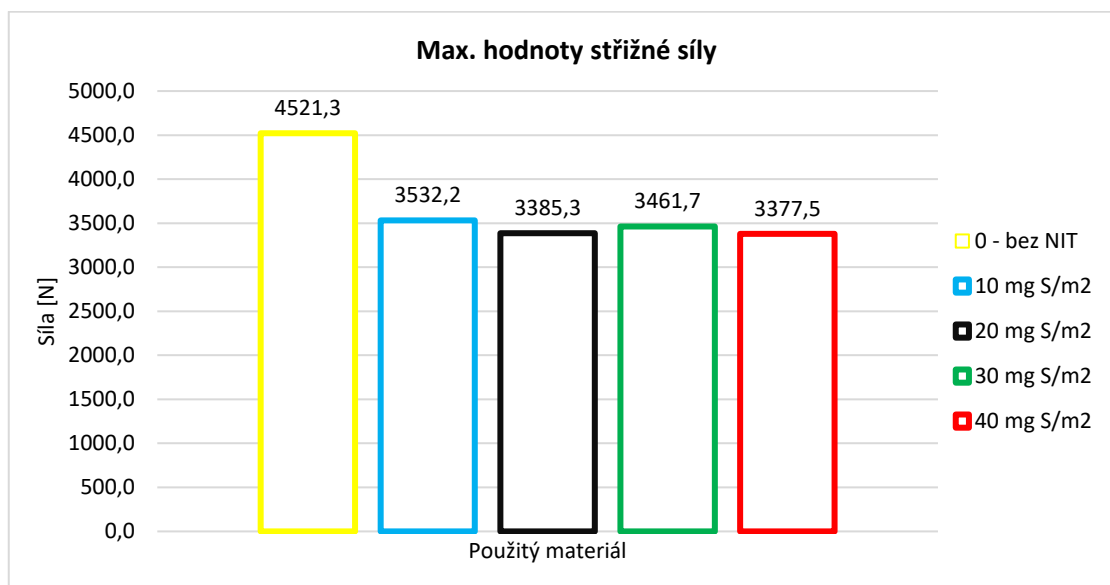
Hodnoty max. sřížné síly byly zaneseny do tabulky 16. Aritmetický průměr hodnot je spočítán bez mezních hodnot, které jsou označeny červeně.

Tab. 16 Naměřené hodnoty sřížné síly

číslo vzorku	0 - bez NIT	10 mg S/m <sup>2</sup>	20 mg S/m <sup>2</sup>	30 mg S/m <sup>2</sup>	40 mg S/m <sup>2</sup>	100 °C	130 °C
1	4246,1	3391,2	3435,0	3281,8	3418,6	4239,4	4138,2
2	4352,1	3738,1	3303,6	3385,2	3333,2	4257,5	4020,5
3	4625,2	3266,4	3303,6	3319,0	3345,2	3546,6	4086,2
4	4555,7	3392,8	3200,2	3380,8	3467,3	4190,7	4102,6
5	4694,7	3473,8	3488,1	3569,6	3371,0	4165,6	4093,3
6	3927,0	3520,4	3242,9	3506,7	3354,5	3578,9	4055,0
7	4341,7	3803,8	3493,0	3685,0	3421,9	4138,2	4031,5
8	4661,8	3806,6	3366,6	3486,4	3387,9	4156,2	4816,7
9	4684,3	3437,7	3534,0	3516,0	3381,4	4119,0	4453,3
10	4599,4	3721,1	3662,0	3598,60	3282,9	4161,2	4608,8
11	4625,2	3310,8	3300,8	3393,4	3384,1	4241,1	4512,4
Průměrná hodnota	4521,3 [N]	3532,2 [N]	3385,3 [N]	3461,7 [N]	3377,5 [N]	4110,0 [N]	4231,3 [N]

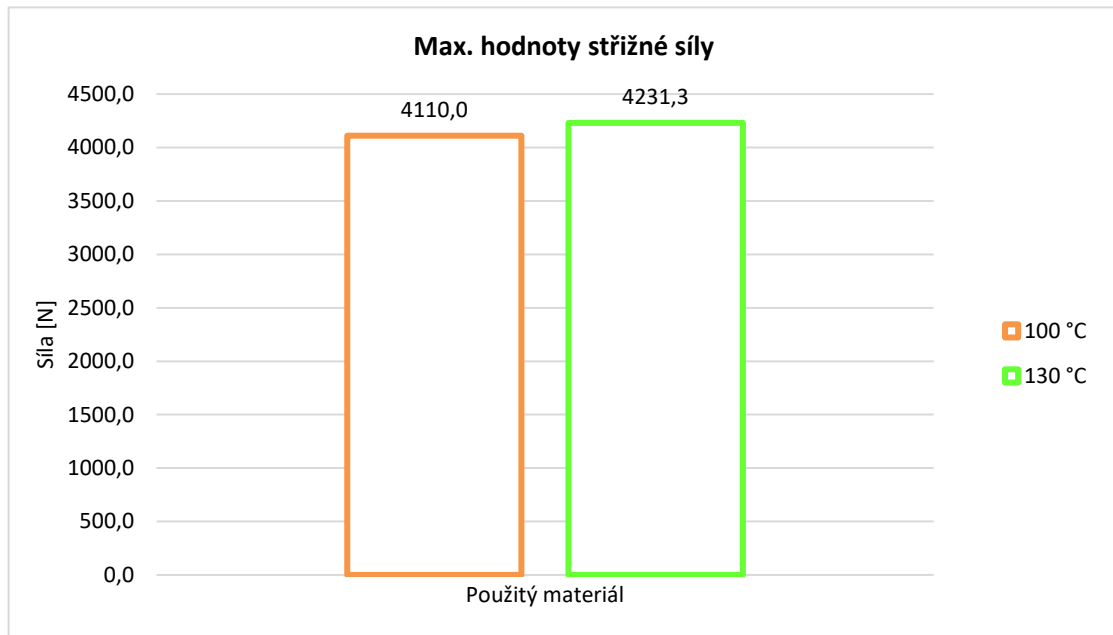
V grafu č. 1 můžeme vidět změnu hodnoty sřížné síly zkoušených kategorií materiálů. Zatímco materiál bez povrchové úpravy NIT vykazuje jednoznačně nejvyšší hodnotu, materiál s největším obsahem S (40 mg/m<sup>2</sup>) má průměrnou hodnotu max. sřížné síly o více jak 1100 N nižší. Jednotlivé varianty s obsahem 10, 20, 30 a 40 mg S/m<sup>2</sup> se dle grafu 1 až tak výrazně neliší, takže na mechanické vlastnosti to tak velký vliv nemá.

Graf 1 Vliv povrchové úpravy na max. hodnotu sřížné síly



Vzorky s odlišnou teplotou sušení (100 °C a 130 °C) nabývají podobných hodnot, avšak ve srovnání s materiálem bez NIT jsou téměř o 400 N nižší. Střížná síla se liší o cca 120 N (což také není tak velký rozdíl), větší hodnota max. střížné síly je u vzorku s větší teplotou sušení.

Graf 2 Vliv teploty sušení na max. hodnotu střížné síly



#### 6.4. Velikost svarových čoček

Po vyhodnocení střížné zkoušky byly následně změřeny velikosti svarových čoček.



Obr. 31 Vzorek pro měření velikosti svarových čoček

V tabulce 17 jsou uvedeny hodnoty svarových čoček, který byly změřeny na vytvořených vzorcích. Výpočet byl proveden dle vzorce viz kapitola 2.6. Geometrie bodového svaru. Průměry  $d_1$ ,  $d_2$  jsou dva na sebe kolmé rozměry svarové čochky viz obr. 11. Z výsledků – velikosti průměru svarových čoček vidíme, že průměry u jednotlivých

kategorií se mění velmi nepatrně. Max. hodnota svarové čočky pro dané parametry je pro vzorky 0 - bez NIT, ale také pro 10 mg S/m<sup>2</sup>. Z toho vyplývá, že NIT svařitelnost ovlivňuje. U vzorků s vyšším obsahem síry má rozměr svarové čočky klesající tendenci. Minimální hodnota byla naměřena u vzorku 20 mg S/m<sup>2</sup>. Z ekonomického hlediska nebylo možné nasadit na každou kategorii materiálu nové čepičky, které by zaručily přesnější výsledky.

Tab. 17a Průměry svarových čoček

číslo vzorku	0 - bez NIT			10 mg S/m <sup>2</sup>			20 mg S/m <sup>2</sup>		
	d <sub>1</sub> [mm]	d <sub>2</sub> [mm]	dp [mm]	d <sub>1</sub> [mm]	d <sub>2</sub> [mm]	dp [mm]	d <sub>1</sub> [mm]	d <sub>2</sub> [mm]	dp [mm]
1	4,7	4,7	4,7	4,4	4,4	4,4	4,6	4,6	4,6
2	4,8	4,7	4,8	4,4	4,3	4,4	4	4,1	4,1
3	4,9	4,7	4,8	4,7	4,4	4,6	4,4	4	4,2
4	4,5	4,8	4,7	4,4	4,5	4,4	4,2	4,1	4,2
5	4,4	4,7	4,6	4,5	4,4	4,4	4,5	4,4	4,5
6	4,3	4,8	4,6	4,5	4,7	4,6	4,3	4,3	4,3
7	4,4	4,7	4,6	4,4	4,4	4,4	4,4	4,2	4,3
8	4,4	4,7	4,6	4,2	4,3	4,3	4,2	4,3	4,3
9	4,7	4,9	4,8	4,5	4,7	4,6	4,4	4,4	4,4
10	4,6	4,7	4,7	4,3	4,5	4,4	4,3	4,3	4,3
11	4,4	4,9	4,7	4,4	4,7	4,6	4,1	4,3	4,2
Průměrné hodnoty	4,6	4,8	4,7	4,4	4,5	4,5	4,3	4,3	4,3

Tab. 17b Průměry svarových čoček

číslo vzorku	30 mg S/m <sup>2</sup>			40 mg S/m <sup>2</sup>		
	d <sub>1</sub> [mm]	d <sub>2</sub> [mm]	dp [mm]	d <sub>1</sub> [mm]	d <sub>2</sub> [mm]	dp [mm]
1	4	4,1	4,05	4,3	4,3	4,3
2	4,1	4,1	4,1	4,7	4,5	4,6
3	4,30	4,30	4,3	4,70	4,30	4,5
4	4,2	4,2	4,2	4,5	4,5	4,5
5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,4	4,45
6	4,5	4,4	4,45	4,7	4,5	4,6
7	4,4	4,3	4,35	4,5	4,3	4,4
8	4,7	4,6	4,65	4,7	4,6	4,65
9	4,7	4,7	4,7	4,5	4,3	4,4
10	4,7	4,7	4,7	4,7	4,5	4,6
11	4,7	4,5	4,6	4,5	4,4	4,45
Průměrné hodnoty	4,4	4,4	4,4	4,6	4,4	4,5

V tabulce 17c jsou uvedeny vzorky se shodnou povrchovou úpravou (obsah S 18–20 mg/m<sup>2</sup>). Rozdíl byl pouze v teplotě sušení materiálu při aplikaci povrchové úpravy. Výsledné hodnoty se liší o 0,1 mm, což by při svařování s novými čepičkami mohlo hodnoty odlišit výrazněji.

Tab. 17c Průměry svarových čoček

číslo vzorku	100 °C			130 °C		
	d <sub>1</sub> [mm]	d <sub>2</sub> [mm]	dp [mm]	d <sub>1</sub> [mm]	d <sub>2</sub> [mm]	dp [mm]
1	4,9	4,8	4,85	4,8	4,5	4,65
2	4,9	4,7	4,8	4,7	4,2	4,45
3	4,80	4,80	4,8	4,90	4,20	4,55
4	4,9	4,7	4,8	4,8	4,2	4,5
5	4,8	4,7	4,75	4,8	4,3	4,55
6	4,8	4,5	4,65	4,8	4,4	4,6
7	4,5	4,5	4,5	4,7	4,3	4,5
8	4,7	4,5	4,6	4,9	4,2	4,55
9	4,8	4,5	4,65	4,8	4,3	4,55
10	4,9	4,4	4,65	4,9	4,3	4,6
11	4,8	4,4	4,6	4,7	4,4	4,55
Průměrné hodnoty	4,8	4,6	4,7	4,8	4,3	4,6

## 6.5. Metalografické vzorky

Dle fotek pořízených na mikroskopu v naší laboratoři můžeme vyhodnotit také makrostrukturu svarů. Zvětšení obrazu struktury bylo nastaveno 25x.



Obr. 32 – Vzorek 0 - bez NIT



*Obr. 33 – Vzorek 10 mg S/m<sup>2</sup>*



*Obr. 34 – Vzorek 20 mg S/m<sup>2</sup>*



*Obr. 35 – Vzorek 30 mg S/m<sup>2</sup>*



*Obr. 36 – Vzorek 40 mg S/m<sup>2</sup>*



*Obr. 37 – Vzorek 100 °C*





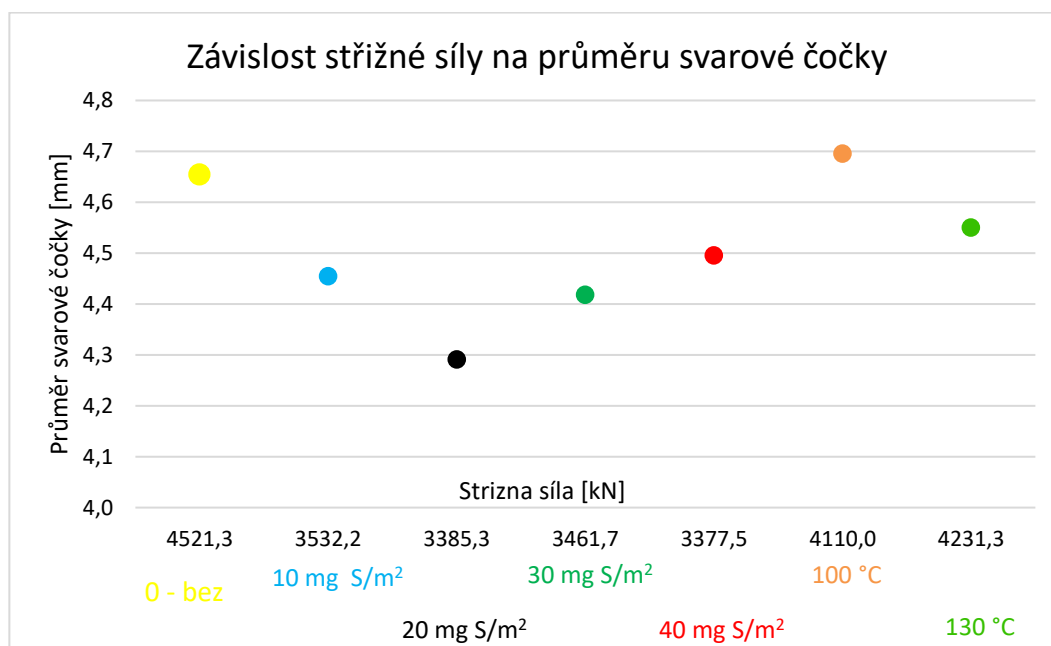
Obr. 38 – Vzorek 130 °C

## 6.6. Vyhodnocení výsledků realizovaných zkoušek

Velikost sřížné síly je maximální u vzorku bez NIT s hodnotou 4521,3 [N]. U vzorků se zvyšujícím se obsahem S se sřížná síla zmenšuje (od 3532,2 [N] do 3377,5 [N]). Velikost svarové čočky u vzorku bez NIT je 4,7 mm. U vzorků se zvyšujícím se obsahem S je velikost různá (u vzorků s 20 a 30 mg S/m<sup>2</sup>) je průměr nižší, ale postupně se zvětšuje, až na hodnotu 4, 5 mm. Vzorek s odlišnou teplotou sušení (100 °C) má průměr čočky 4,7 stejně jako vzorek 0 - bez NIT a vzorek sušený při 130 °C pouze o 0,1 mm menší.

U makrostruktury svarových spojů vzorků 0 a 10 je ve středové rovině svarů obsažen pór malých rozměrů, u vzorku 20 je v okrajové části vzorku pór, zapříčiněný výstřikem svarového kovu. Vzorky 30 a 40 jsou bez vnitřních vad. Výsledky makrostruktury korespondují s výsledky měření svarových čoček.

Graf 3 Závislost sřížné síly na průměru svarové čočky



## 7. Závěr

Cílem diplomové práce bylo vytvořit vzorky svarových bodů materiálu s odlišně připravenou povrchovou úpravou typu NIT, pro následnou experimentální část. Teoretická část práce popisuje všeobecné informace a teorii odporového svařování, které bylo využito pro experimentální část. Úvod patří rozdělení metod odporového svařování, vzniku tepla, tepelné rovnováže a svařovacím parametrům. Následuje rozbor problematiky měkkého a tvrdého svařovacího režimu, geometrie svaru a popis velikosti, druhu a životnosti svařovacích elektrod. V další kapitole jsou popsány druhy svařovacích zdrojů, typy a silový systém svařovacích kleští. Samostatné kapitoly pak tvoří strukturní a mechanické vlastnosti bodových svarů, materiály pro karosérie automobilů a jejich povrchové úpravy včetně úpravy New Inorganic Treatment (NIT).

V rámci experimentu této DP bylo svařeno 7 skupin vzorků po 11 kusech s odlišně připravenou povrchovou úpravou, které se následně podrobily zkoušce na stříh (příčměž byla změřena i velikost svarové čočky). Z každé skupiny pak byl jeden kus vzorku použit pro metalografickou analýzu makrostruktury.

Zároveň je třeba dodat, že vytvořený experiment byl vyhodnocen jako důležitý vstupní krok, před vlastním hodnocením životnosti elektrod. Pro obecné ověření svařitelnosti takto povrchově upravených plechů – což se v podstatě dělalo proto, že kvalita povrchových vrstev má kolísavou tendenci a do výroby se dostávají různé varianty povrchově upravených plechů. Proto je snaha definovat mezní kritéria, kdy je plech s povrchovou úpravou typu NIT dobře svařitelný a kdy případně vrstva NIT – díky zvýšenému obsahu S/m<sup>2</sup> může vytvářet problémy. Vlastní hodnocení životnosti (z časových i materiálových důvodů) tak už nebylo v rámci DP realizováno, ale je v kapitole 2.10. popsána metodika, jak by bylo možné postupovat.

## 8. Použitá literatura

- [1] PLÍVA, Ladislav. Odporové svařování v praxi. 2. dopl. vyd. Praha: SNTL, 1963. Knižnice strojírenské výroby
- [2] PLÍVA, Ladislav. Odporové svařování. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1975. Řada strojírenské literatury
- [3] LIPA, Milan. Bodové a švové zvaranie. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 1966. Knižnica Výskumného ústavu zvaračského v Bratislave.
- [4] KOLARŽÍK, Ladislav. Svařování elektrickým odporem, podklady pro studium z předmětu Technologie svařování. ČVUT: Fakulta Strojní – Ústav strojírenské technologie, 2013
- [5] KUNCIPÁL, Josef. Teorie svařování: celostátní vysokoškolská učebnice pro strojní fakulty vysokých škol technických. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986.
- [6] Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: ZEROSS, 2001. Svařování. ISBN 80-85771-81-0.
- [7] ŽÁK, Jan a Miroslav NOVÁK. Moderní strojírenství pro školu i praxi. Brno: Vysoké učení technické, 1988, 142 s.
- [8] NEUMANN, H.: Sledování a řízení svařovacího procesu při bodovém odporovém svařování žárově pohliníkových ocelových plechů /Disertační práce/, Liberec 1990, TU Liberec
- [9] HOLÁSEK, Ján. Odporové zvaranie. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 1968.
- [10] STEINER, Jaromír. Pevnost bodového spoje v měkkém a tvrdém režimu svařování. Brno, 2015, 66 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie svařování a povrchových úprav. Vedoucí práce Ing. Bohumil Kandus.
- [11] MESSLER, Robert W. Principles of welding: processes, physics, chemistry, and metallurgy. New York: John Wiley, c1999. ISBN 0471253766.

- [12] NEUMANN, Heinz. Odporové svařování, podklady pro kurz IWE. Praha: ČVUT, 2006.
- [13] ČSN EN ISO 14273 Rozměry vzorku a postup pro zkoušení stříhem odporových bodových, švových a výstupkových 2003, 13 stran.
- [14] ČSN EN ISO 5182: Oporové svařování – Materiály pro elektrody a pomocné vybavení. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009, 24 stran.
- [15] Příslušenství odporového svařování (elektrody, čepičky, držáky, kabely) [online]. Dostupné z: [chrome-extension://oemmndcbldboiebfnladdacbfmadadm/http://zmrzlik.cz/pdfzel/katalog\\_svar.pdf](http://chrome-extension://oemmndcbldboiebfnladdacbfmadadm/http://zmrzlik.cz/pdfzel/katalog_svar.pdf)
- [16] New Southern Resistance Welding, Inc., 2008 [online]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.nsrw.com>
- [17] MILLER ELECTRIC MFG. CO. Handbook for Resistance Spot Welding [online]. Appleton, 2010 [cit. 2013-2-24], 24 s. Dostupné z: <http://www.millerwelds.com/pdf/Resistance.pdf>
- [18] ÁBEL, M; VIŇÁŠ, J.: Hodnotenie vplyvu zväracích parametrov na životnosť zväracích špičiek. In: Acta Mechanica Slovaca. roč. 10, č. 4-a povrchové inžinierstvo 2006 (2006), s. 7-12. ISSN 1335-2393.
- [19] Příslušenství odporového svařování (elektrody, čepičky, držáky, kabely) [online]. Dostupné z: [chrome-extension://oemmndcbldboiebfnladdacbfmadadm/http://zmrzlik.cz/pdfzel/katalog\\_svar.pdf](http://chrome-extension://oemmndcbldboiebfnladdacbfmadadm/http://zmrzlik.cz/pdfzel/katalog_svar.pdf)
- [20] VW 011 05–1 Odporové bodové svařování, Konstrukce, výpočty, zajištění procesu, Nepovrstvené a povrstvené plechy 2004.
- [21] FESTO AG & CO. KG. Product Overview for the Automotive Industry [online]. Esslingen, 2010 [cit. 2013-2-24], 114 s. Dostupné z: [http://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/17309/AMI\\_ProductOverview\\_2012b\\_EN\\_low.pdf](http://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/17309/AMI_ProductOverview_2012b_EN_low.pdf)

- [22] NIMAK GmbH. NIMAK Servo Technology: for effortless welding [online]. Wissen, 2007 [cit. 2013-2-24], 6 s. Dostupné z: [http://www.nimak.de/Bilder/NIMAK\\_Servo\\_e.pdf](http://www.nimak.de/Bilder/NIMAK_Servo_e.pdf)
- [23] PIRES, J, Altino LOUREIRO a Gunnar BOLMSJÖ. Welding robots: technology, system issues and applications. 1. vyd. London: Springer, 2005, 192 s. ISBN 18-523-3953-5.
- [24] SAHA, Dulal Chandra, InSung CHANG a Yeong-Do PARK. Heat-affected zone liquation crack on resistance spot welded TWIP steels. Materials Characterization [online]. 2014, 93, 40-51 [cit. 2016-05-24]. DOI: 10.1016/j.matchar.2014.03.016. ISSN 10445803. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1044580314000941>
- [25] KUNCIPÁL, Josef. Speciální technologie. Plzeň: Vysoká škola strojní a elektrotechnická, 1988, 254 s.
- [26] KRAJCARZ, Florent, Anne-Françoise GOURGUES-LORENZON, Emmanuel LUCAS a André PINEAU. Fracture toughness of the molten zone of resistance spot welds. International Journal of Fracture [online]. 2013, 181(2), 209-226 [cit. 2016-05-24]. DOI: 10.1007/s10704-013-9836-1. ISSN 0376-9429. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10704-013-9836-1>
- [27] ARCELOR MITTAL. Extract from the product catalogue [online]. [cit. 2015-06-13]. Dostupné z: [chrome-extension://oemmndcblboiebfnladdacbfmadadm/http://automotive.arcelormittal.com/saturnus/sheets/ArcelorMittal%20Automotive%20product%20offer%20EN.pdf](http://chrome-extension://oemmndcblboiebfnladdacbfmadadm/http://automotive.arcelormittal.com/saturnus/sheets/ArcelorMittal%20Automotive%20product%20offer%20EN.pdf)
- [28] MAZANCOVÁ, Eva. Technické materiály I: Kovové materiály. VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2012. ISBN 978-80-248-2577-9.
- [29] ČSN EN 10346: Kontinuálně žárově ponorem povlakované ocelové ploché výrobky – Technické dodací podmínky. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.

- [30] Advanced high strength steel technologies in the 2016 Volvo XC90, dokument dostupný 2016 z: <https://www.autosteel.org/-/media/files/autosteel/great-designs-in-steel/gdis-2016/track-2---volvo-xc90.ashx>
- [31] Technologie pro lehké automobilové konstrukce [online]. [cit. 2015-06-13]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/technologie-pro-lehke-automobilove-konstrukce.html>
- [32] Алюминий в автомобилестроении [online]. [cit. 2015-06-13]. Dostupné z: <http://www.aluminiumleader.com/around/transport/cars>
- [33] [https://www.autotecnica.org/wp-content/uploads/2018/06/A186323\\_large.jpg](https://www.autotecnica.org/wp-content/uploads/2018/06/A186323_large.jpg)
- [34] 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/>
- [35] Příručka žárového zinkování. [4., aktualizované vyd.]. Ostrava: Asociace českých a slovenských zinkoven, [2011], 56 s. ISBN 978-80-260-3324-0.
- [36] Povrchové úpravy v autoprůmyslu – Škoda Superb [online]. 2004 [cit. 2015-2-21]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/povrchove-upravy-v-autoprmyslu-skoda-superb.html>
- [37] ŠKODA A.S. New Inorganic Treatment: Product and thickness measurements. Mladá Boleslav.
- [38] Využití bodového svařování ve strojírenském průmyslu [online]. 2015 [cit. 2019-7-21]  
[https://is.mendelu.cz/lide/clovek.pl?zalozka=13;id=10936;studium=49427;zp=37836;download\\_prace=1](https://is.mendelu.cz/lide/clovek.pl?zalozka=13;id=10936;studium=49427;zp=37836;download_prace=1)
- [39] BOSCH Robert GmbH. PSI 6000 Medium-Frequency Inverters: with integrated control function Technical Information [online]. Germany, 2001 [cit. 2013-2-24], 116 s. Dostupné z: [http://www.boschrexroth.com/country\\_units/america/united\\_states/sub\\_websites/brus\\_d](http://www.boschrexroth.com/country_units/america/united_states/sub_websites/brus_d)

cc/documentation\_downloads/ProductDocumentation/CurrentProducts/Welding/PSI/PS  
I6000\_2001-04.pdf

[40] MIYACHI UNITEK CORPORATION. Fundamentals of Small Parts Resistance  
Welding [online]. Monrovia, 2007 [cit. 2013-2-24], 8 s. Dostupné z:  
<http://wenku.baidu.com/view/9b86942de2bd960590c6776e.html>

## 9. Seznam použitý obrázků

**Obr. 1** Rozdělení odporového svařování [1]

**Obr. 2** Rozdělení bodového svařování [2]

**Obr. 3** Rozdělení bodového svařování [3]

**Obr. 4** Odporů vznikající při průchodu proudu přeplátovanými díly [4]

**Obr. 5** Změna odporu v závislosti: a) na teplotě b) na čase svařování [7]

**Obr. 6** Geometrické uspořádání bodového svařování [8]

**Obr. 7** Správná volba průměrů svařovacích elektrod pro případy: a) stejná tloušťka, ale různá jakost materiálů, b) různá tloušťka, ale stejná jakost materiálů [2]

**Obr. 8** Optimalizace svařovacího času a proudu [6]

**Obr. 9** Rozměry a únosnosti bodových svarů při různých svařovacích parametrech u plechů z nízkouhlíkové oceli ( $C = 0,2 \%$ ) [9]

**Obr. 10** Geometrie bodového svaru [2]

**Obr. 11** Geometrie svarové čočky [13]

**Obr. 12** Tvary vyměnitelných elektrodových čepiček dle ČSN EN ISO 5821 [19]

**Obr. 13** Použitá elektrodová čepička pro odporové svařování 39D 1978-2 – CuCr1Zr

o pracovním průměru 5 mm

**Obr. 14** Rozměry zkušební plechu

**Obr. 15** Schéma vysokofrekvenčního invertoru [38]

**Obr. 16** Schéma střídavého svařovacího zdroje [40]

**Obr. 17** Schéma lineárního stejnosměrného zdroje [40]



**Obr. 18** Svařovací kleště typ C vlevo, typ X vpravo [21]

**Obr. 19** Svařování s pneumaticky a elektromotoricky dosaženou svařovací silou [23]

**Obr. 20** Vliv teplotního působení procesu bodového svařování na strukturu svarové čočky [L – likvidus (tavenina); S – solidus (tuhá fáze);  $t_T$  - teplota tavení základního svařovaného materiálu] [25]

**Obr. 21** Způsoby porušení celistvosti svařence vlivem smykové zkoušky [10]

**Obr. 22** a) Tahová U-zkouška; b) Křížová zkouška tahem; c) Zkouška tahem na smyk [26]

**Obr. 23** MATERIAL MIX IN THE NEW VOLVO XC90 [29]

**Obr. 24** Konstrukce karosérie Audi Q8 s použitím materiálů označených barevně podle pevnosti: US – ultravysokopevnostní oceli, KS – konvenční oceli, AP – hliníkový profil, AB – hliníkový plech, AG – hliníkový odlitek [33]

**Obr. 25** Ocelový pozinkovaný plech s NIT v příčném řezu [37]

**Obr. 26** Identifikace a kontrola povrchové vrstvy

**Obr. 27** Vzorek pro zkoušku stříhem [13]

**Obr. 28** Svařovací lisu Dalex PMS 11-4

**Obr. 29** Vzorek plechu pro optimalizaci svařovacích parametrů

**Obr. 30** Stroj LabTest Model 5.100S

**Obr. 31** – Vzorek pro měření velikosti svarových čoček

**Obr. 32** Vzorek 0 - bez NIT

**Obr. 33** Vzorek 10 mg S/m<sup>2</sup>

**Obr. 34** Vzorek 20 mg S/m<sup>2</sup>

**Obr. 35** Vzorek 30 mg S/m<sup>2</sup>

**Obr. 36** Vzorek 40 mg S/m<sup>2</sup>

**Obr. 37** Vzorek 100 °C

**Obr. 38** Vzorek 130 °C

## **10. Seznam tabulek**

**Tab. 1** Přehled metod a jejich číslování [3]

**Tab. 2** Přehled metod a jejich číslování [2]

**Tab. 3** Hodnoty parametrů pro bodové svařování [2]

**Tab. 4** Doporučené svařovací parametry pro bodové svařování nízkouhlíkových ocelových plechů tl. 0,4 - 3 mm [8]

**Tab. 5** Doporučené svařovací parametry pro bodové svařování nízkouhlíkových ocelových plechů tl. 0,4 - 3 mm [8]

**Tab. 6** Hodnoty svařovacího času, proudu a napětí mezi elektrodami při svařování plechů z nízkouhlíkových ocelí [9]

**Tab. 7** Stanovení minimálního průměru čočky a bodu minimální střížné tahové síly přes tloušťku plechu (platí pro paralelní a přeplátovaný svar) [2]

**Tab. 8** Tvrdost elektrod jednotlivých skupin a tříd podle RWMA [16]

**Tab. 9** Rozdělení karosářských ocelí podle pevnosti a jejich aplikace [27]

**Tab. 10** Označení použitých materiálů

**Tab. 11** Rozměry vzorku pro zkoušku stříhem [13]

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

**Tab. 13** Použité svařovací parametry

**Tab. 14** Optimalizovaný svařovací proud

**Tab. 15** Parametry stroje LabTest Model 5.100S

**Tab. 16** Naměřené hodnoty střížné síly

**Tab. 17a** Průměry svarových čoček

**Tab. 17b** Průměry svarových čoček

**Tab. 17c** Průměry svarových čoček

## **11. Seznam grafů**

**Graf 1** – Vliv povrchové úpravy max. hodnotu sřížné síly

**Graf 2** – Vliv teploty sušení na max. hodnotu sřížné síly

**Graf 3** - Závislost sřížné síly na průměru svarové čočky