

Česka zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra materiálu a strojírenské technologie

## **Bodové svařování ocelových plechů**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

Autor diplomové práce: Bc. Daniel Stříhavka

© ČZU v Praze 2024

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Daniel Stríhávka

Inženýrství údržby

Název práce

**Bodové svařování ocelových plechů**

Název anglicky

**Spot welding of steel sheets**

---

## Cíle práce

- shromáždit informace o odporovém svařování,
- shromáždit informace o výhodách a nevýhodách bodového svařování a o jeho využití v praxi,
- na základě výsledků vlastního experimentu posoudit pevnost zkušebních vzorků zhotovených při různých parametrech svařování.

## Metodika

- současný stav řešeného problému (literární rešerše),
- cíle práce a metody jejího zpracování,
- výsledky provedených experimentů a jejich diskuse,
- závěry a přínos práce.



## Doporučený rozsah práce

cca 60 stran

## Klíčová slova

odporové svařování; bodové svařování; ocelové plechy; pozinkované ocelové plechy; univerzální zkušební stroj

---

## Doporučené zdroje informací

- BROŽEK, M., NOVÁKOVÁ, A., NIEDERMEIER, O.: Resistance spot welding of steel sheets of the same and different thickness. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, 2017, 65 (3), 807-814.
- BROŽEK, M.: Working variables optimization of resistance spot welding. Manufacturing Technology. 2014, 14 (4), 522-527.
- Časopisy zahraniční (<https://www.sic.czu.cz/cs/r-8833-odborne-databaze/r-8883-infozdroje>) a tuzemské (Manufacturing Technology, MM Průmyslové spektrum, Strojírenská technologie, Strojárstvo / Strojírnoství, Technický týdeník aj.).
- ERTAS, A. H., AKBULUT, M.: Experimental study on fatigue performance of resistance spot-welded sheet metals. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2021, 114 (3-4), 1205-1218.
- FEUJOFACK KEMDA, B. V., BARKA, N., JAHAZI, M., OSMANI, D.: Optimization of resistance spot welding process applied to A36 mild steel and hot dipped galvanized steel based on hardness and nugget geometry. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2020, 106 (5-6), 2477-2491.
- SAFARI, M., ALVES de SOUSA, R. J., RABIEE, A. H., TAHMASBI, V.: Investigation of dissimilar resistance spot welding process of aisi 304 and aisi 1060 steels with tibo-anfis and sensitivity analysis. Metals. 2021, 11 (8), 1324.
- VERMA, R., ARORA, K. S., SHARMA, L., CHHIBBER, R.: Experimental investigation on resistance spot welding of dissimilar weld joints. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering. 2021, 235 (2), 505-513.
- WEMAN, K.: Welding processes handbook. Cambridge, Woodhead 2003. 193 s.
- ZHANG, H., SENKARA, J.: Resistance welding: fundamentals and applications. 2nd Edition. Boca Raton, CRC Press 2012. 436 s.
- ZHAO, Y., WANG, W., WEI, X.: Optimization of resistance spot welding with inserted strips via FEM and response surface methodology. Materials. 2021, 14 (23), 7489.
- 

## Předběžný termín obhajoby

2023/2024 LS – TF

## Vedoucí práce

prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

## Garantující pracoviště

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Elektronicky schváleno dne 15. 1. 2022

**prof. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2022

**doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 21. 12. 2023

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Bodové svařování ocelových plechů vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledky obhajoby.

Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na mojí diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne: .....

.....

Bc. Daniel Stříhavka

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval panu prof. Ing. Milanu Brožkovi, CSc. za odborné vedení, vstřícnost a cenné připomínky ke zpracování diplomové práce a pomoc při provádění laboratorních zkoušek. Dále bych rád poděkoval paní Alexandře Novákové za ochotu a pomoc při přípravě zkušebních vzorků.

**Abstrakt:** Předmětem diplomové práce je bodové svařování ocelových plechů. Je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část obsahuje literární rešerši, seznamuje v ní čtenáře s metodami odporového svařování s důrazem na odporové bodové svařování. V dalších kapitolách jsou popsány zkoušky svarových spojů. Praktická část zkoumá na základě experimentu vliv přípravy povrchu svarových ploch na pevnost svarových spojů. Experiment je prováděn na 480 kusech ocelových plechů. Plechy jsou upravovány pomocí tří povrchových úprav (odmaštění, otryskání a odmaštění, pozinkování a odmaštění). Plechy jsou dále svařeny do pěti skupin. Skupina č. 1 obsahuje vzorky kombinace odmaštěné oceli a odmaštěné oceli, skupina č. 2 vzorky kombinace odmaštěná otryskaná ocel a odmaštěná otryskaná ocel, skupina č. 3 kombinace odmaštěná pozinkovaná ocel a odmaštěná pozinkovaná ocel, skupina č. 4 kombinace odmaštěná pozinkovaná ocel a odmaštěná otryskaná ocel, skupina č. 5 kombinace odmaštěná pozinkovaná ocel a odmaštěná ocel. Vzorky jsou porušeny pomocí stříhové zkoušky, která je provedena na univerzálním trhacím stroji. Hodnocení pevnosti spojů je provedeno na základě výsledků stříhové zkoušky odporových bodových svarů.

**Klíčová slova:** Ocelové plechy, pozinkované plechy, univerzální zkušební stroj, bodové svařování, odporové svařování

## **Spot welding of steel sheets**

**Summary:** The subject of the diploma thesis is spot welding of steel plates. It is divided into theoretical and practical parts. The theoretical part contains a literature search, it introduces the reader to resistance welding methods with emphasis on resistance spot welding. In the following chapters, weld joint tests are described. The practical part examines the effect of weld surface preparation on the strength of welded joints by experiment. The experiment is carried out on 480 pieces of steel plates. The sheets are prepared by three surface treatments (degreasing, blasting and degreasing, galvanizing and degreasing). The sheets are further welded into five groups. Group 1 contains samples of the combination of degreased steel and degreased steel, Group 2 contains samples of the combination of degreased blasted steel and degreased blasted steel, Group 3 contains samples of the combination of degreased galvanised steel and degreased galvanised steel, Group 4 contains samples of the combination of degreased galvanised steel and degreased blasted steel, Group 5 contains samples of the combination of degreased galvanised steel and degreased steel. The specimens are broken by means of a shear test carried out on a universal tearing machine. The evaluation of the strength of the joints is based on the results of the shear test of resistance spot welds.

**Key words:** Steel sheets, galvanized steel sheets, universal testing machine, spot welding, resistance welding

## Obsah

1	Úvod .....	1
2	Cíl práce.....	3
3	Metodika.....	4
4	Odporové svařování.....	5
4.1	Bodové svařování .....	6
4.1.1	Charakteristika bodového svařování .....	6
4.1.2	Tepelná rovnováha bodových svarů .....	11
4.1.3	Svařovací parametry .....	12
4.1.4	Svařovací režimy .....	14
4.1.5	Elektrody pro bodové svařování .....	14
4.2	Švové svařování.....	19
4.2.1	Charakteristika švového svařování .....	19
4.3	Výstupkové svařování .....	20
4.3.1	Charakteristika výstupkového svařování .....	21
4.4	Svařování stykové stlačením .....	22
4.4.1	Charakteristika svařování stykové stlačením .....	22
4.5	Svařování stykové odtavením.....	23
4.5.1	Charakteristika svařování stykové odtavením .....	23
4.6	Kontrola svarových spojů.....	24
4.6.1	Mechanické kontroly .....	25
4.6.2	Technologické kontroly .....	27
4.6.3	Metalografické kontroly .....	29
4.6.4	Nedestruktivní kontrola svarových spojů .....	29
4.7	Shrnutí předchozích experimentů .....	33
5	Praktická část práce .....	36
5.1	Příprava vzorků.....	36

5.1.1	Materiál a rozměry vzorků .....	36
5.1.2	Příprava svařovaného povrchu .....	37
5.1.3	Měření drsnosti povrchu .....	39
5.2	Svařování ocelových plechů .....	40
5.3	Stříhová zkouška .....	43
6	Vyhodnocení výsledků .....	46
6.1	Jednotlivé zhodnocení .....	48
6.1.1	Skupina č. 1 – vzorky oceli s odmaštěným povrchem .....	49
6.1.2	Skupina č. 2 – vzorky oceli s odmaštěným otryskaným povrchem .....	51
6.1.3	Skupina č. 3 – vzorky oceli s pozinkovaným odmaštěným povrchem .....	53
6.1.4	Skupina č. 4 – vzorky oceli s odmaštěným otryskaným povrchem a vzorky oceli s pozinkovaným odmaštěným povrchem .....	55
6.1.5	Skupina č. 5 – vzorky oceli s odmaštěným povrchem a vzorky s odmaštěným pozinkovaným povrchem .....	57
6.2	Celkové zhodnocení .....	59
6.2.1	Srovnání hodnot pro svařovací čas 0,30 s .....	59
6.2.2	Srovnání hodnot pro svařovací čas 0,60 s .....	61
6.2.3	Srovnání hodnot pro svařovací čas 1,30 s .....	62
6.3	Porovnání s předchozími experimenty .....	63
7	Závěr .....	65
8	Citovaná literatura .....	68
9	Seznam obrázků .....	72
10	Seznam tabulek .....	74

# 1 Úvod

Již od dob pravěku bylo potřeba materiály k sobě nějakým způsobem spojovat. Ať už se jednalo o výrobu jednoduchých zbraní či provizorních obydlí, vždy bylo za potřebí k sobě materiály nějak spojit. Předkové byli vynalézaví. Vznikly první provazy, spojovací materiály jako vosk, směs zeminy s travinami atp. Čím více se posouval čas, a lidé se začínali vzdělávat, vznikaly nové způsoby. S objevením rud se dostavily i nové možnosti v oblasti výroby. [1][2][3]

První technologií tepelného svařování materiálů bylo pájení zlata, stříbra a mědi. Ty byly objeveny kolem roku 3000 před n. l. Čas plynul a kolem roku 1000 před n. l. se začalo využívat spojování kujného železa svařování v ohni. Další nové technologie byly objeveny až po tisíci letech, někdy kolem roku 1900, kdy bylo objeveno svařování plamenem. S postupem času se začalo pro svařování využívat elektrického proudu a v počátcích 20. let 20. století bylo objeveno první elektrické ruční obloukové svařování a dále odporové svařování. Díky tomu se začaly rychle objevovat nové svařovací technologie. Psal se rok 1935 a byla objevena metoda svařování pod tavidlem. Ve 40. letech 20. století byla vyvinuta svařovací metoda WIG (svařování v ochranné atmosféře). Po skončení druhé světové války a se opět začalo rozvíjet strojírenství. To pomohlo k tomu, aby v 50. letech 20. století byly objeveny další tři svařovací technologie. Objevila se oblíbená metoda MIG (svařování v ochranné atmosféře s odtavovací elektrodou), dále třecí metoda a ultrazvuková metoda. V druhé polovině 20. století přesněji v 60. letech se objevily nové technologie svařování. Jako první byla objevena metoda svařování pomocí plazmového a elektronového paprsku, dále metoda difuzní, a jako poslední metoda laserová. Do dnešních dnů byly používány i různé kombinace svařovacích metod, např. laserová metoda s metodou MIG. [1][2][3][4]

Ovšem diplomová práce se zabývala hlavně metodou bodového svařování. Metoda patří do skupiny odporového svařování, která je do dnes nejvíce využívanou svařovací metodou na světě v automobilovém průmyslu. V 30. letech 20. století bylo vyrobeno první vozidlo se samonosnou karosérií francouzský Citroen Traction Avant. S příchodem tohoto typu karoserie začal být kladen důraz na přesnost a byla potřeba ocelové plechové výlisky přesně svařovat. Jediná metoda, která byla schopna kompenzovat nepřesnost, byla právě metoda odporového svařování, hlavně metoda odporového bodového svařování. Výhodou bodového svařování je jeho jednoduchá možnost automatizace, a tak v 50. letech 20. století byla přebrána role svářeče svařovací robot. To umožnilo zvýšit počet svařených karoserií a svary byly vytvářeny i s větší přesností. Karoserie moderního vozu v průměru obsahuje 5000 svarových spojů, pokud se



jedná o závodní vůz, kde je kladena ještě větší pevnost na karoserii, je zde skoro dvojnásobek bodových svarů. [5][6][7][4]

Pevnost bodového svaru se dá ovlivnit pomocí mnoha faktorů. Základními svařovacími faktory volba svařovacího režimu, kdy se dá svařovat pomocí tvrdého či měkkého svařovacího režimu, dále závisí na svařovacím čase, proudu atd. Dále jsou i rozdíly podle toho jaké materiály svařujeme a jaké mají povrchové úpravy. O tom všem pojednává diplomová práce.

## 2 Cíl práce

Cílem diplomové práce bylo seznámení s odporovým svařováním pomocí literární rešerše, jednotlivě objasnit metody odporového svařování, hlavně s metodou bodového odporového svařování. Dále byly popsány výhody a nevýhody bodového odporového svařování. Byly charakterizovány jednotlivé metody využívané k hodnocení kvality svarových spojů. V experimentální části byl posuzován vliv úpravy svařovaného povrchu a vliv svařovacího času na velikost síly, při které bylo dosaženo porušení svarového spoje. Dále způsob, kterým došlo k porušení svarového spoje a na variabilitu naměřených hodnot statické stříhové zkoušky.

### 3 Metodika

Metodika diplomové práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části byla prostudována dostupná odborná literatura, studijní materiály, odborné časopisy a vědecké články. Na základě nabytých poznatků byla systematicky sepsána literární rešerše. Z té byly vyneseny výhody a nevýhody bodového odporového svařování.

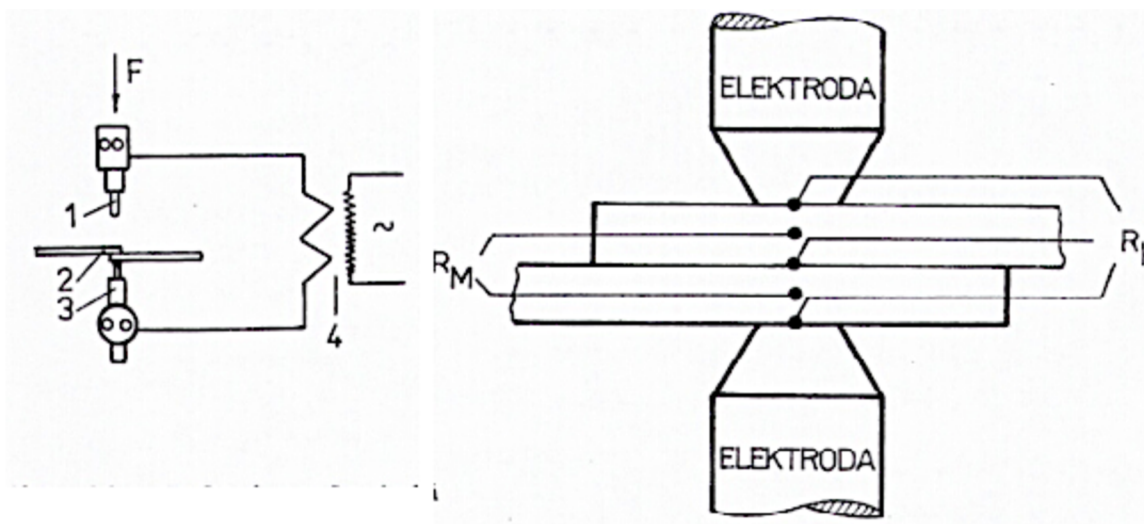
Předmětem praktické části bylo naplánování experimentu. Dále bylo potřeba nastříhat 480 ocelových plechů o rozměrech 100 x 25 mm z tabule plechu o tloušťce 1,5 mm. Ze 480 plechů bylo 194 plechů nastříháno z tabule pozinkovaného plechu. U ocelových plechů byly provedeny tři povrchové úpravy (odmaštění, otryskání a odmaštění, pozinkování a odmaštění). Vzorky byly rozděleny do pěti skupin. V prvních třech případech byly skupiny rozděleny podle rozdílných úprav svařovacích ploch před svařováním, poslední dvě skupiny byly kombinací pozinkovaných plechů a dvou předešlých úprav. Skupina č. 1 byla tvořena vzorky, které mají povrch upraven pouze odmaštěním a očištěním. Skupina č. 2 byla tvořena vzorky s povrchovou úpravou pomocí otryskání a dále byl povrch odmaštěn a očištěn od nežádoucích částic. Skupina č. 3 byla tvořena vzorky z pozinkované oceli, jejich povrch byl odmaštěn a očištěn. Skupina č. 4 vznikla kombinací odmaštěného pozinkovaného plechu a ocelového plechu s otryskaným a odmaštěným povrchem. Skupina č. 5 byla opět tvořena kombinací dvou různých povrchových úprav, a to odmaštěným pozinkovaným plechem a ocelovým plechem s odmaštěným povrchem. Dále byly dané skupiny svařeny pomocí odporového bodového svařování. Svařovací zařízení pracuje v měkkém režimu a umí svařovat ve dvanácti svařovacích časech. Pro každý ze dvanácti svařovacích časů bylo vyrobeno osm zkušebních vzorků ve všech skupinách. Kvalita a mechanické vlastnosti svařených spojů byla testována za pomoci stříhové zkoušky odporových svarových spojů, která byla provedena na univerzálním trhacím stroji.

Naměřené hodnoty byly zpracovány v programu Excel. Hodnoty byly hodnoceny za pomoci statické charakteristiky polohy a variability. Výsledky byly v programu vyneseny do grafů. Dále byly hodnoty hodnoceny pomocí testu významnosti rozdílu dvou rozptylů, tzv. F – test, a za pomoci testu významnosti rozdílu dvou výběrových průměrů tzv. t – test. Opět byly výsledky vyneseny do grafů.

## 4 Odporové svařování

Odporové svařování bylo objeveno ve 20. letech 20. století. Jedná se o metodu svařování, při které vzniká svarový spoj roztavením základních materiálů teplem, které je vyvinuto při průchodu elektrického proudu elektrodami při spolupůsobení stlačovací síly. Procházející elektrický proud má tak vysokou intenzitu, že se část materiálu nataví a dojde ke spojení obou částí. Princip a části odporového svařování je znázorněn na obrázku 1. Část tepla vzniká ohmickým odporem materiálu ( $R_M$ ) a zbylá část vzniká odporem v místech dotyku ( $R_K$ ). [1][8][9][4]

Obrázek 1 – Princip odporového svařování



Zdroj: [1]

- 1- Pohyblivá tlaková elektroda
- 2- Svařované díly
- 3- Pevná elektroda
- 4- Zdroj proudu [4]

Při této metodě se nepoužívají přídavné materiály. Proud používaný při odporovém svařování má vysokou intenzitu (až 100 000 A) za nízkého napětí (5 až 15 V). Proud je přiváděn pomocí elektrod ze slitin mědi. [3][9]

Doporučuje se využívat pro odporové svařování nízkouhlíkové oceli s obsahem uhlíku do 0,22 %. Také je možné svařovat oceli austenistické, niklové slitiny, kombinace materiálů (např. ocel nízkouhlíková s ocelí nástrojovou). Lze svařovat i pozinkované a pocínované materiály, aniž by se porušila pokovená vrstva. Obtížné je svařovat odporem měď, hliník a jejich slitiny, mají vysokou tepelnou vodivost. U hliníku je problematické odstranit jeho oxidy před svařováním

ze svařovaných dílů. Oxid hliníku má veliký elektrický odpor a vysokou teplotu tavení, to brání k dokonalému vytvoření svarového spoje. [1][4]

Odporové svařování je výhodné vysokou produktivitou a spoje mají výbornou kvalitu. Metoda je výhodná do sériové výroby, ale i pro kusovou výrobu. Odporové svařování se dá velmi lehce automatizovat. Z vysoké produktivity odporového svařování těží automobilový průmysl, zde jsou hlavním spojovacím prvkem odporové bodové svary. [8][1][3][9]

Odporové svařování se dělí podle způsobu přenosu proudu, tvaru a uspořádání elektrod na:

- Svařování bodové
- Svařování švové
- Svařování výstupkové
- Svařování stykové stlačením
- Svařování stykové odtavením. [8][9][4]

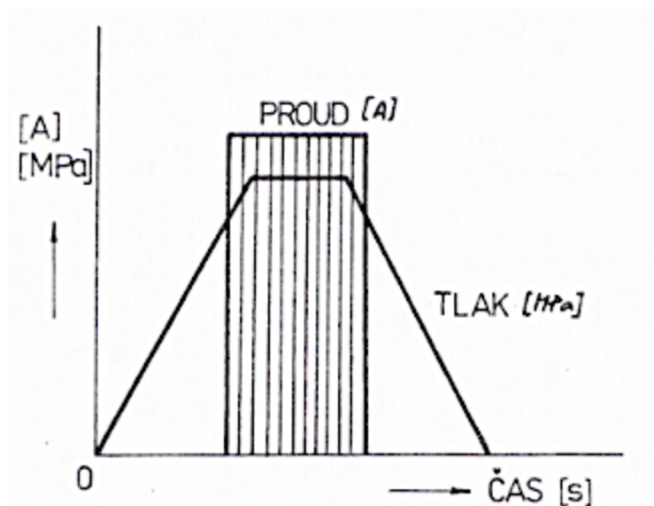
#### 4.1 Bodové svařování

Svařování bodové a švové patří mezi nejznámější a nejdůležitější varianty odporového svařování. Obě metody jsou díky svým výhodám rozsáhle využívány v průmyslu se sériovou výrobou, ale i při kusové výrobě, například pro výrobu automobilů, nákladních přívěsů, letadel apod. Například při výrobě karoserie osobního automobilu vznikne něco okolo 5000 bodových svarů, to tvoří více než 90 % všech spojů. Bodové svařování je nejen výhodné pro svoji rychlost, kdy vytvoření svarového spoje trvá od 0,03 až 1 s, ale i se dá velmi snadno robotizovat. To jsou důvody, kvůli kterým je v dnešní době tak využíváno bodové svařování. [10][1][11][4]

##### 4.1.1 Charakteristika bodového svařování

Při bodovém svařování se svařované díly navzájem přepřátují a pomocí tyčových elektrod se stlačí. Elektrody jsou připojené na svařovací transformátor, ten tvoří zdroj napětí, viz obrázek 1 vlevo. Při svařování projde skrz svařované plochy proud, v místě dotyku se roztaví kvůli vysokému přechodovému odporu. Po vypnutí proudu, ale při stálém působení tlaku materiál ztuhne a vytvoří se svarový spoj, který je nazýván svarová čočka. U bodové svářečky se mohou elektrody stlačovat mechanicky, pneumaticky nebo hydraulicky. Pro bodové svařování se běžně používají plechy o maximální tloušťce 3 mm. Mohou se také svařovat i plechy o tloušťce od 0,1 mm, ale i výjimečně o maximální tloušťce 25 mm. Na obrázku 2 je znázorněn nejjednodušší pracovní cyklus bodové svářečky. [1][11][4]

Obrázek 2 – Normální pracovní cyklus bodové svařičky

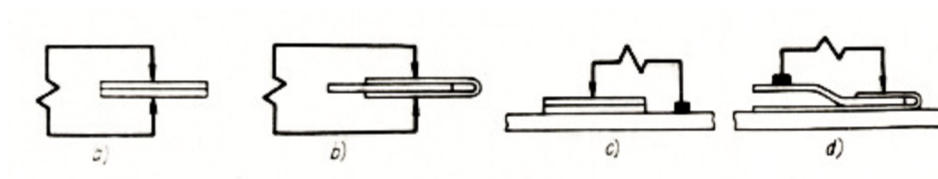


Zdroj: [1]

Bodové svařování se dělí podle uspořádání svařovacích elektrod do dvou hlavních skupin:

- **Přímé bodové svařování** – svařovací elektrody jsou uspořádány naproti sobě v jedné ose a jsou přitlačovány na svařované díly proti sobě. Metoda přímého bodového svařování je znázorněna na obrázcích 3a a 3b.
- **Nepřímé bodové svařování** – svařovací elektrody jsou umístěny v různých osách z pravidla z jedné strany svařovacích dílů a jsou přitlačovány proti podložce. Základní metody nepřímého bodového svařování jsou znázorněny na obrázcích 3c a 3d. [12][9][13][4]

Obrázek 3 – Základní druhy bodového svařování

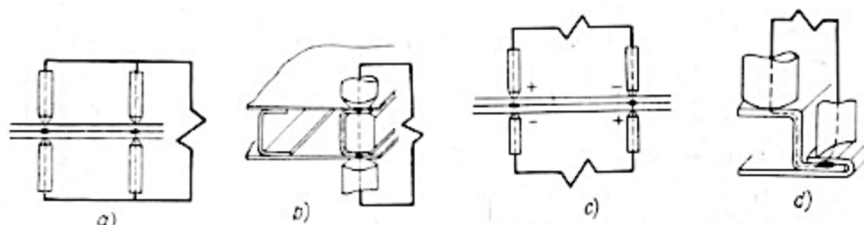


Zdroj: [12]

V hromadných a sériových výrobcích se často používají dvoubodové a vícebodové (mnohobodové) svařování, kde se na jednom stroji pomocí dvou či více elektrod vytvoří dva nebo více svarů najednou. Přímé bodové svařování se dále dělí na paralelně bodové svařování, to je opatřeno dělenou elektrodou, díky tomu je možné zhotovit více svarů (obrázek 4a) a na sériové bodové svařování, kde v sérii vznikají minimálně dva svary (obrázek 4b). Dále se používá metoda push – pull. Jedná se o dvou bodové svařování v protitlaku, zde jsou protilehlé

dvojice elektrod připojeny k samostatným transformátorům s opačnou polaritou (obrázek 4c). Bodové svařování na podložce, metoda svařuje díly proti podložce (obrázek 4d). [12][13][4]

Obrázek 4 – Zvláštní způsoby bodového svařování



Zdroj: [12]

Svařování je ovlivňováno svařovacími parametry – svařovacím proudem  $I$  [A], svařovacím časem  $t$  [s] a svařovacím odporem  $R$  [ $\Omega$ ]. Pomocí těchto veličin se určí množství tepla  $Q$  [J], které vznikne při svařování. Množství tepla se spočítá pomocí Joulova – Lenzova zákona:

$$Q = R * I^2 * t \quad (1)$$

Vhodné parametry a hodnoty podle svařovacích režimů pro bodové svařování jsou vypsány v tabulce 1. Svařovací režimy budou více probrány v kapitole 4.1.4. [8][3][1][14][4]

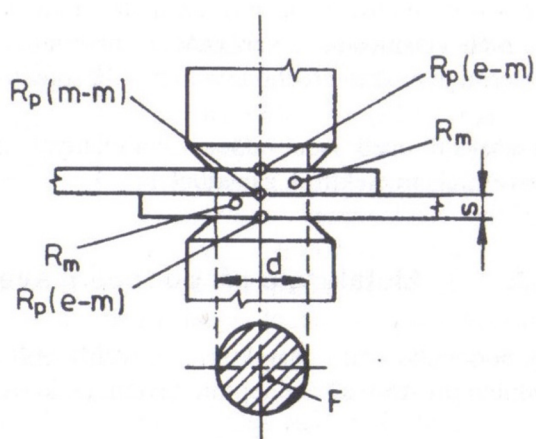
Tabulka 1 – Vhodné svařovací parametry pro bodové svařování

Průměr svařovací elektrody (špičky) v dosedací ploše (mm)		$d = 2 \cdot s + 4$		
Hustota svařovacího proudu ( $A \cdot mm^{-2}$ )	měkký režim	70 až 120		
	tvrdý režim	110 až 350		
Tloušťka svařovacího plechu „s“ (mm)		do 1,5	1,5 až 5	
Svařovací tlak (MPa)	měkký režim	nelegovaná nízkouhlíková ocel	-	15 až 40
	tvrdý režim	nelegovaná nízkouhlíková ocel	15 až 50	50 až 90
		korozivzdorná ocel	80 až 150	
		hliník, jeho slitiny	70 až 150	
		mosaz, bronz	100	
Svařovací čas $\tau$ (period)	tvrdý režim	nelegovaná nízkouhlíková ocel	$\tau = 8 \cdot s$	
		korozivzdorná ocel	$\tau = 6 \cdot s$	
		hliník	$\tau = 5 \cdot s$	

Zdroj: [3]

Celkový ohmický odpor svařovací soustavy se skládá z několika složek: odpor elektrod, přechodový odpor mezi elektrodou a svařovaným materiálem  $R_{p(e-m)}$ , dále odpor svařovaného materiálu  $R_m$  a přechodový odpor mezi svařovanými materiály (obrázek 5). [8][3][14][4]

Obrázek 5 – Schéma odporů při bodovém svařování



Zdroj: [8]

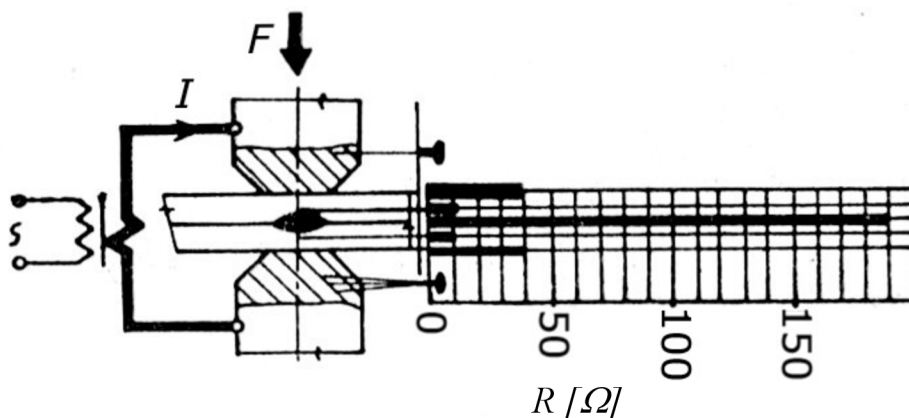


Hodnota přechodových odporů závisí hlavně na svařovacích elektrodách, na povrchu svařovaných plechů a na tlaku mezi nimi (obrázek 6). Celkový odpor, který se dosazuje do vzorce pro výpočet Joulova tepla se spočítá pomocí vzorce:

$$R = R_1 + R_{p(e-m)} + R_m + R_{p(m-m)} + R_m + R_{p(e-m)} + R_2 \quad (2)$$

Odpor svařovacích elektrod je značen ve vzorci jako  $R_1$  a  $R_2$ . [3][14][4]

Obrázek 6 – Složky odporu při bodovém svařování

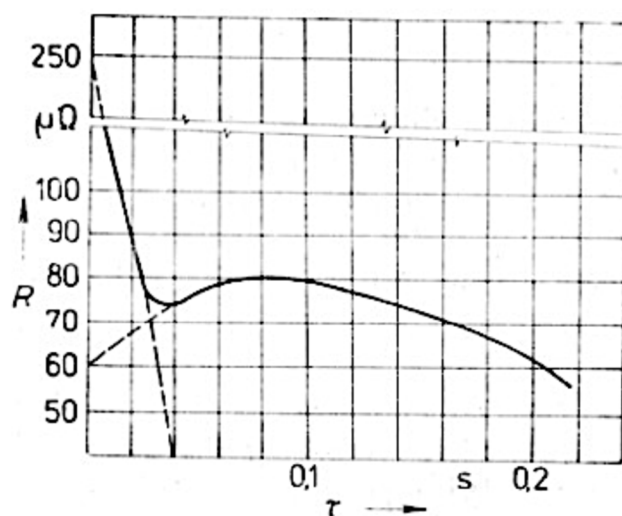


Zdroj: [3]

- $F$  – stlačovací síla
- $I$  – svařovací proud [4]

Teplotní pole ve svaru je prostorově nesterjnorodé a mění se v závislosti na čase. Jednotlivé složky odporů jsou funkcí času a místa. V čase se i mění celkový odpor mezi elektrodami. Na začátku svařování nejdůležitější složku tvoří přechodový odpor, který vzniká při styku svařovaných materiálů, ten při rychlém ohřevu materiálu v místě styku rychle zaniká. Svařovací proces dále pokračuje pomocí odporu materiálu. Ten zvyšuje teplotu materiálu, to způsobuje tavení materiálu a za působení přitlačné síly vzniká svarová čochka. Na obrázku 7 je graf závislosti velikosti odporu na svařovacím čase pro plech z nelegované oceli. [3][14][4]

Obrázek 7 – Závislost velikosti odporu na svařovacím čase pro plech z nelegované oceli



Zdroj: [3]

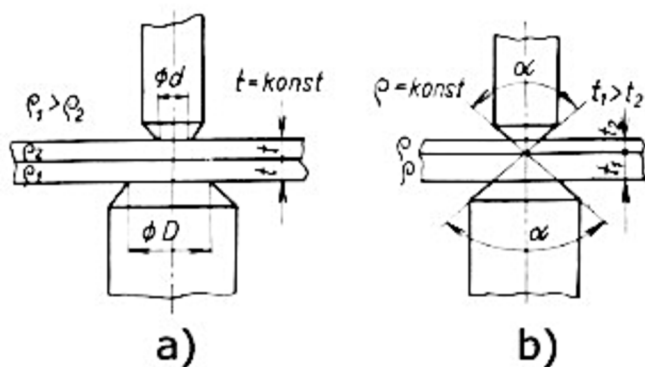
#### 4.1.2 Tepelná rovnováha bodových svarů

Pro vytvoření dokonalé svarové čocky, je za potřebí dodržet tepelnou symetrii ve svaru. Vzhled dokonalé svarové čocky je ke stykové rovině symetrický. K narušení tepelné rovnováhy dochází v případě svařování různých druhů materiálů, svařováním různých tloušťek materiálů, či rozdílnými pracovními plochami elektrod apod. Důsledkem narušení tepelné rovnováhy dojde k nerovnoměrnému tavení svařovacích ploch, ale i nestejný závar a vznik nesymetrické svarové čocky. [8][12][14][4]

Pokud se svařují plochy s rozdílnou jakostí materiálu, ale plochy mají stejnou tloušťku, tepelná rovnováha se odstraní přizpůsobením průměrů svařovacích elektrod. Elektroda s větším průměrem bude použita pro materiál s větším ohmickým odporem a elektroda s menším průměrem bude použita pro materiál s nižším průměrem. Použití správného průměru elektrody vychází z doporučených hodnot pro daný materiál, pro ten první, a pro druhý materiál musíme průměr elektrody odvodit (obrázek 8a). Tím nastavíme opět tepelnou rovnováhu. [12][14][4]

Při svařování materiálů o stejné jakosti, ale rozdílných tloušťkách, je nutné dbát na zachování úhlu  $\alpha$ . Při rozdílných tloušťkách je tepelná rovnováha reprezentována pomocí úhlu  $\alpha$ . Aby se vyrovnal rozdílný ohmický odpor, musí se docílit zachování úhlu. Větší tloušťka materiálu způsobuje větší ohmický odpor, ten je způsobem delší dráhou proudu (obrázek 8b). [8][12][14][4]

Obrázek 8 – Řešení tepelné rovnováhy bodového svařování



Zdroj: [12]

#### 4.1.3 Svařovací parametry

Bodové svařování má tři základní svařovací parametry:

- Stlačovací síla (F)
- Svařovací proud (I)
- Svařovací čas (t)[4]

V tabulce 2 jsou pro názornost uvedeny doporučené svařovací parametry pro svařování ocelových plechů bez povrchové úpravy. V tabulce 3 jsou doporučené hodnoty pro pozinkované ocelové plechy.[11][9][15][4]

Tabulka 2 – Doporučené svařovací parametry pro bodové svařování nízkouhlikových ocelových plechů

Tloušťka plechů		Průměr pracovní části elektrod (mm)	Svařovací parametry					
od (mm)	do (mm)		měkký režim			tvrdý režim		
			F (kN)	t (per)	I (kA)	F (kN)	t (per.)	I (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

Zdroj: [16]

Tabulka 3 – Doporučené svařovací parametry pro ocelové plechy se zinkovou vrstvou

Tloušťka plechů		Průměr pracovní části elektrod (mm)	Svařovací parametry					
od (mm)	do (mm)		Žárově pozinkovaný plech			Elektrolyticky pozinkovaný plech		
			F (kN)	t (per)	I (kA)	F (kN)	t (per.)	I (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

Zdroj: [16]

Z tabulky 2 a tabulky 3 vyplývá, že zinková vrstva neovlivňuje průměry elektrod na průměr plechu, jsou stejné jako u plechů bez úpravy, ale mění se svařovací parametry v podobě stlačovací síly (F), svařovacího času (t) a svařovacího proudu (I). Tyto parametry jsou vyšší pro ocelové plechy, které jsou opatřeny zinkovou vrstvou. [16][4]

#### 4.1.4 Svařovací režimy

Svařovací režim je kombinace hodnot svařovacích parametrů. Dělí se na dva svařovací režimy na měkký a tvrdý. Z rovnice pro výpočet tepla vyplývá, že stejného množství tepla je možné dosáhnout při stejném odporu dvěma způsoby. Rozdíl podmínek je uveden v tabulce 4.[17][8][4]

Tabulka 4 – Parametry bodového svařování

Parametry	Měkký režim	Tvrdý režim
Svařovací tlak [MPa]	< 40	> 60
Svařovací proud [A.mm <sup>-2</sup> ]	< 120	> 110
Svařovací čas [s]	0,1 - 1	0,01 - 0,1

Zdroj: [8]

V tabulce 5 jsou shrnuty rozdíly mezi měkkým svařovacím režimem a tvrdým svařovacím režimem.

Tabulka 5 – Porovnání svařovacích parametrů

	Měkký režim	Tvrdý režim
Svarová čočka	Malý průměr, vysoká	Větší průměr, nízká
Elektrody	Nízká životnost	Vyšší životnost
Vtisky po elektrodě	Hluboké	Mělké
Spotřeba energie	Vyšší	Nižší
Únosnost spoje	Nízká	Vysoká
Produktivita	Nízká	Vysoká

Zdroj: [17]

Z tabulky vyplývá, že je mnohem výhodnější používat pro bodové svařování tvrdý svařovací režim. Při zhotovení svarových čoček pomocí tvrdého režimu, je získávána svarová čočka, která má až o 120 % lepší mechanické vlastnosti než čočka zhotovená pomocí měkkého svařovacího režimu. Díky těmto mechanickým vlastnostem může být snížen počet svarových bodů až o 60 % na svarku, je snížena tím i pracnost výroby. Ovšem zmiňovaný případ nárustu mechanických vlastností nastává až při svařování ocelových plechů s tloušťkou větší než 2 mm. Do té doby jsou rozdíly mezi měkkým a tvrdým režimem nevýznamné.[17][8][4][18]

#### 4.1.5 Elektrody pro bodové svařování

Kvalita a stav svařovacích elektrod má velký vliv na produktivitu práce odporového svařování. Je důležité, aby elektrody byly správně zvoleny, správně chlazeny a udržovány v dobrém stavu,

poté se dostaví uspokojivé výsledky. Špatný svarový spoj může vzniknout, i když bude mít svařovací stroj správné parametry, ale špatný stav svařovacích elektrod.[13][12]

Elektroda je přivedena do přímého styku se svařovacím dílem. Jejím hlavním úkolem je přivádění proudu o vysoké intenzitě do svařovaného místa. Z toho důvodu je elektroda vytvořena z materiálu, který má vždy ve svém základu měď. Požadované vlastnosti pro svařovací elektrody:

- vysoká elektrická a tepelná vodivost za normální i za zvýšené teploty,
- dostatečná mechanická pevnost, aby se elektroda ani při velkém svařovacím tlaku nedeformovala,
- co nejvyšší teplotu měknutí,
- nejmenší sklon k legování svařovaným materiálem,
- velká odolnost vůči oxidaci se zřetelem k žádoucímu malému přechodovému odporu mezi elektrodou a svařovaným dílem,
- dobrá odolnost vůči otěru za vyšších teplot,
- dobrá obrobitelnost,
- nízké výrobní náklady.[12][13]

Žádný materiál, který je používán pro svařovací elektrody, není schopen splňovat všechny výše uvedené vlastnosti. Proto, když je upřednostněna jedna vlastnost, jiná vlastnost je obětována. Například, pokud je splněna nejvyšší elektrická a tepelná vodivost, je tím omezena pevnost svařovací elektrody. Pokud je splněn požadavek na nejvyšší pevnost elektrody, jsou tím snižovány její vodivé vlastnosti až na hodnotu 20 % vodivosti mědi.[12]

Pro svařování lehkých kovů je používána čistá měď na výrobu svařovacích elektrod, pro její vynikající elektrické a tepelné vodivosti. Aby svařovací elektrody z čisté mědi byly schopné přenášet svařovací tlaky, je měď zpevňována silným tvářením za studena na tvrdý stav, díky tomu je dosaženo tvrdosti až 2,5krát vyšší. Bohužel v tvrdém stavu má čistá měď velmi nízkou teplotu měknutí. Při dosažení 180 až 220 °C začíná její tvrdost prudce klesat. Pouze pomocí legování, specifickým mechanickým a tepelným zpracováním lze docílit stálosti mechanických vlastností mědi za daných okolností. Nejvíce je využívána k legování mědi chrom a zirkonium. Slitina mědi a chromu (Cu – Cr) je univerzálním materiálem pro svařovací elektrody aplikované při švovém a bodovém svařování. Je téměř použitelná ve všech případech, kromě krajních situací, kdy je potřeba nejvyšší vodivost nebo nejvyšší mechanické pevnost svařovacích elektrod.[12]

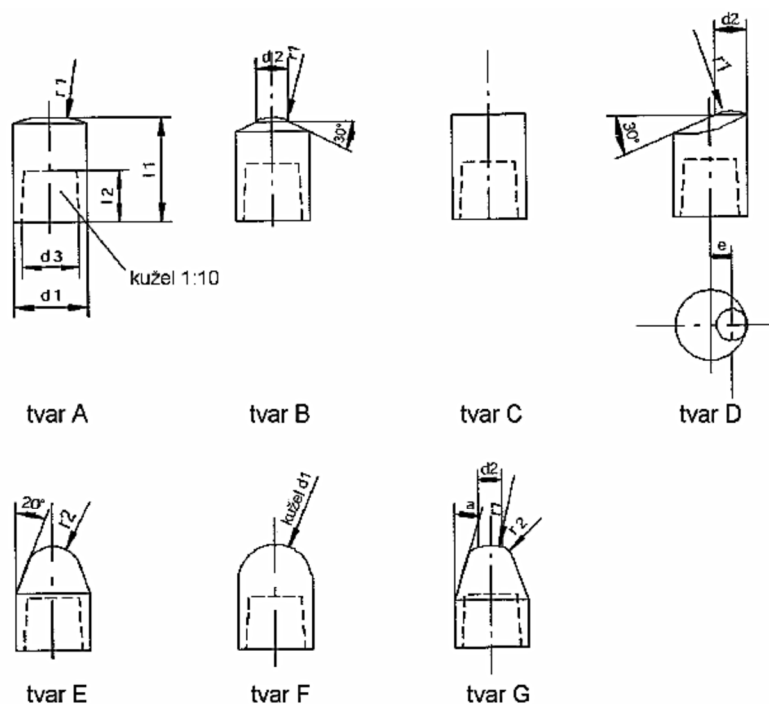
Materiály pro svařovací elektrody jsou rozděleny asociací RWMA (Resistance Welders Manufacturers Association) do dvou skupin na základě mechanických a fyzikálních vlastností a do dalších podskupin:

- A – Slitiny mědi
  - Tepelně nezpracované slitiny mědi s vysokou elektrickou vodivostí a střední tvrdostí
  - Tepelně zpracované/tvářené za studena slitiny mědi s vyšší tvrdostí
  - Tepelně zpracované slitiny mědi s vylepšenými mechanickými vlastnosti, s menší elektrickou vodivostí než předešlé typy
  - Speciální slitiny mědi
- B – Slinuté materiály
  - Slinuté materiály mědi a wolframu
  - Slinuté materiály mědi a karbidu wolframu
  - Slinuté materiály molybdenu
  - Slinuté materiály wolframu
  - Slinuté materiály wolframu a stříbra[13][19]

Podobné rozdělení je uvedeno i v normě (ČSN EN ISO 5182).

Norma ČSN EN ISO 5821 rozděluje svařovací elektrody podle tvaru špičky A až G (obrázek 9). Elektrody, které mají tvar E, F a G se dají frézovat, to zvyšuje dobu použití elektrod.[13][20]

Obrázek 9 – Tvary vyměnitelných elektrodových čepiček dle ČSN EN ISO 5821



Zdroj: [21]

### Údržba svařovacích elektrod

Při bodovém svařování jsou elektrody opotřebovány. Je tedy potřeba u svařovacích elektrod provádět údržbu. Ta je založena hlavně v čištění povrchu elektrodové špičky, obrábění a plánování výměny svařovacích elektrod, tvar a čistota povrchu elektrodové špičky, ale i druh materiálu svařovací elektrody, druh materiálu svařovacích částí, svařovací režim, chlazení. Tím vším je ovlivněna životnost elektrod, kvalitu výsledného svarového bodu a celkový svařovací výkon. [13][12]

Je potřeba udržovat kontaktní plochu svařovací elektrody hladkou. Nesprávnou úpravou nebo nedostatečnou údržbou kontaktní plochy může být docíleno, že svařovací plocha bude drsná. Pracovní tlak není přenášen na celou pracovní plochu, ale pouze na její části. Její měrné zatížení je značně zvětšeno působením tlaku. To způsobí, že za normálních teplot nastane plastická deformace činné části elektrody, což je začátkem pozdějšího roztřepení. Roztřepení způsobuje zvětšení přechodového odporu, tím vzrůstá i množství tepla, které musí elektroda pojmout, je odváděno mnohem menším průřezem. Je díky tomu zvětšována teplota činné části elektrody,



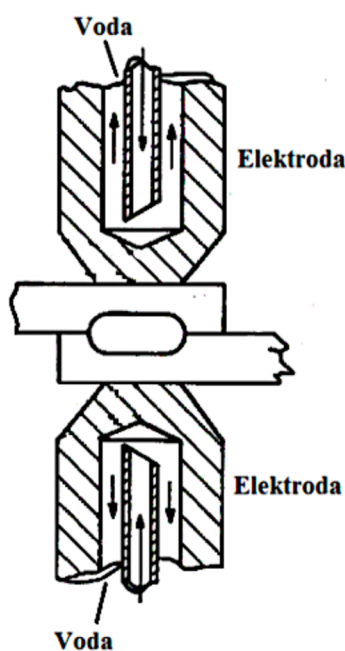
je zrychleno její třepení a také dochází k většímu sklonu k legování svařovaným materiálem. Elektrody se začínají lepit ke svařovanému materiálu.[12][13]

Činná plocha elektrody musí být hladká. Docílení hladkosti je možné úpravou povrchu jemným smirkovým plátnem. Tato jemná úprava pomáhá odstraňovat z povrchu elektrody tenkou vrstvu oxidu, ta by mohla způsobit při svařování okujených plechů vznik oxidu železa. Odstraňováním oxidované vrstvy a zbytků okují zůstane povrch elektrod hladký. Velmi napěchované a roztřepené špičky elektrod se nejlépe upravují na soustruhu. Elektrody, které jsou využívány pro bodové svařovací stroje pro kusovou a malovýrobu se mohou špičky elektrod upravovat na daný tvar přímo ve stroji za pomoci speciálních ručních nástrojů nebo i automatickou frézku. Pro sériovou a hromadnou výrobu jsou na svařovací elektrody používány svařovací čepičky. Ty jsou nasazovány na svařovací elektrody, při svařování se opotřebovává pouze povrch svařovací čepičky a jednou za daný počet svarových spojů jsou upraveny frézováním a až nelze čepičky frézovat, tak jsou čepičky vyměněny. Tento způsob šetří čas v sériové údržbě elektrod v sériové výrobě, jsou zkracovány odstávky strojů a také jsou ekonomicky výhodnější.[12][13]

### **Chlazení svařovacích elektrod**

Pro zajištění stále tepelné a elektrické vodivosti, zachování mechanických vlastností i za vyšších teplot, je potřeba svařovací elektrody chladit. Je tím snížena i deformace elektrod, a i snížení sklonu k legování svařovaným materiálem. Pokud to je konstrukčně možné, nejlepší volbou je využít vnitřní chlazení pomocí vodního chlazení (obrázek 10), to je tvořeno vodou, či vodní emulzí, která cirkuluje uvnitř elektrody. Chladicí kapalinu je potřeba přivádět, co nejbližší k svařovací špičce, tedy k pracovní svařovací ploše, aby byl zajištěn maximální účinek odvádění tepla. Nelze-li z konstrukčního hlediska aplikovat vnitřní chlazení pomocí vodního chlazení, je možné využít vnější chlazení. Nejlepší možností pro maximální odvádění tepla z elektrod je využití kombinace vnitřního a vnějšího chlazení. Z pravidla se používá chlazení vzduchem pro malé svařovací zařízení. Chlazení vodou se využívá u velkých svařovacích zařízení, kde je možné chlazení kapalinou využít vzhledem ke konstrukčnímu řešení svařovacího zařízení, jak je zmíněno výše.[12][13]

Obrázek 10 – Vodní chlazení elektrod



Zdroj: [22]

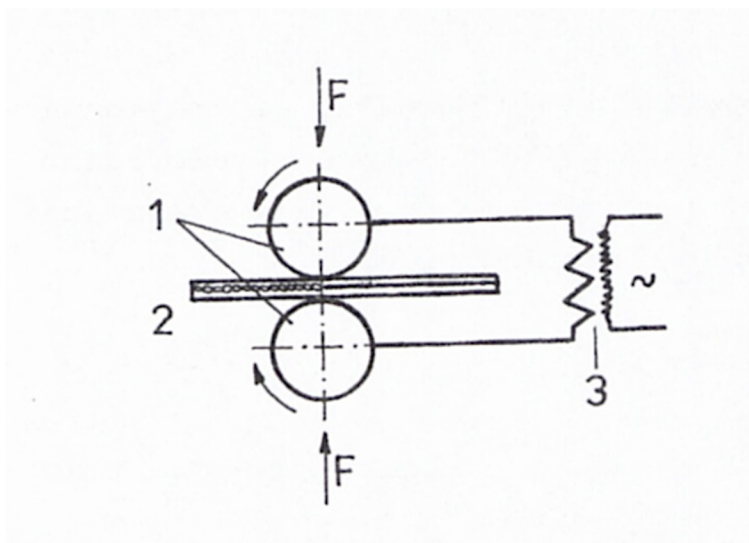
## 4.2 Švové svařování

Švové svařování je podobné bodovému svařování. Jejich podoba spočívá v tom, že tyčové elektrody jsou nahrazeny kotoučovými elektrodami, které jsou otáčeny. Kotoučové elektrody stlačují svařované přeplátované dílce a přivádí do materiálu proud (obrázek 11). Tato svařovací metoda je využívána pro plechy od nejmenších tloušťek až po tloušťku 3 mm. Pomocí švového svařování jsou vyrobeny plechové radiátory, nádrže pro automobily či motocykly, vědra na vodu, sudy na benzín apod. Švové svařovačky jsou děleny podle jejich použití na podélné nebo příčné svařování a jsou buď univerzální nebo speciální. Uvedená varianta švového svařování je nejvíce používanou, ale existuje více variant švového svařování. [1][12][9]

### 4.2.1 Charakteristika švového svařování

Pokud je zapnut proud, když nejsou stlačené kotouče otáčeny, vznikne bodový svar. Když jsou kotouče otáčeny, protéká jimi proud, buď plynule (při velkých rychlostech svařování) nebo častěji přerušované (aplikuje se při malých rychlostech, neboť nedochází k přehřívání materiálu). Přerušování je krátkodobé, vzniká přitom souvislý a těsný svar, který je tvořen řadou bodových svarů, každý následující bod je nataven na předchozí bod. Nastavením času přerušování je ovlivněna rozteč jednotlivých bodových svarů, díky tomu je možný vznik řady bodových svarů nebo vodotěsný svar. [12][1]

Obrázek 11 – Švové svařování



Zdroj:[1]

- 1- Elektrody
- 2- Svařované dílce
- 3- Zdroj proudu

Svařovacími parametry pro švové svařování jsou:

- Svařovací proud – pro stejnou tloušťku svařovacího plechu u švového svařování je nastaven vyšší proud než u bodového svařování.
- Svařovací rychlost – ta odpovídá obvodové rychlosti svařovacích kotoučů.
- Modulace proudu – jedná se o dobu přerušování proudu a jeho průchodu
- Přítlačný tlak[1]

Výsledek svařování je závislý na tloušťce plechu, materiálu plechu, na svařovacích parametrech, na jejich kombinaci, tvaru, šířce a průměru svařovacích kotoučů.[23]

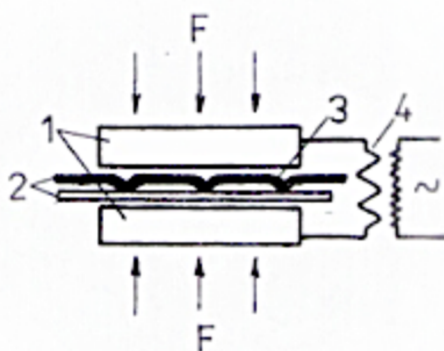
### 4.3 Výstupkové svařování

Výstupkové, dříve nazývané jako bradavkové, svařování, které je jinak označováno svařování na lisu (obrázek 12), jsou svařeny k sobě součásti o rozdílných průřezech, tvarech či materiálu s rozdílnými fyzikálními vlastnostmi, jako je např. tepelná vodivost. Metoda je využívána hojně v sériové a hromadné výrobě. Pomocí svařování na lisu jsou spojovány převážně drobnější součásti tzv. na hotovo, dále nejsou prováděny další technologické operace. Jsou používány pro svařování výlisků závěsů na vědra, součástí lešení pro stavebnictví, polotovarů pro výrobu ozubených kol, součástek pro zemědělské stroje atd.[3][1]

#### 4.3.1 Charakteristika výstupkového svařování

Svařování při metodě na lisu je prováděn pomocí výstupků. Tlak a proud je směřován do nich, dochází k ohřevu a vznikne svar. Svařování je prováděno pomocí plechových deskových elektrod, ty jsou vyráběny z mědi. Elektrody jsou umístěny na svařovacích čelistech. Při svařování a průchodu proudu jsou nataveny výstupky, ale také jejich protilehlá rovná část plechu.[3][1]

Obrázek 12 – Svařování na lisu



Zdroj: [1]

- 1- Elektrody
- 2- Svařované části
- 3- Výstupek
- 4- Zdroj proudu

Při této technologii je možné okamžitě po svaření provést tepelné zpracování žiháním, aby bylo sníženo vnitřní pnutí.

Svařování na lisech je nejčastěji používáno při svařování součástí o jiných tvarech, dbá se na úpravu svařovacích ploch. Plochy svařovaných dílů na sebe musí dosedat, možná co nejmenší plochou. Díky tomu je docíleno velké koncentrace svařovacího proudu a tlaku. Svařovací díly jsou k sobě zajištěny pomocí svařovacích přípravků, aby nedocházelo k jejím posunutí.[9]

Svařovací parametry pro svařování na lisu jsou:

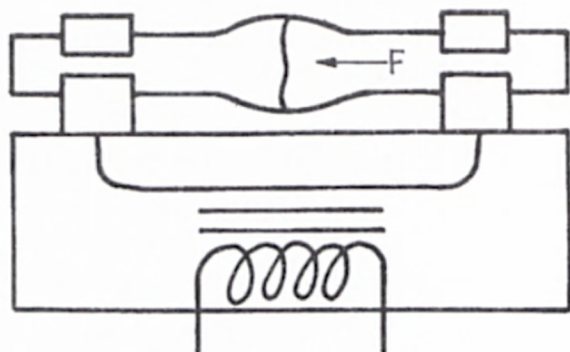
- Svařovací proud
- Doba svařování – např. 0,2 s pro plechy z nízkouhlíkové oceli do tloušťky 1 mm.
- Přitlačný tlak – 50 až 150 MPa.

Svařovací parametry jsou ovlivňovány při svařování tloušťkou svařovacích plechů, materiálem plechů, celkovou svařovací plochou a tvarem výstupků. Výstupky musí být vyhotoveny tak, aby i při vyšších teplotách byly stále tuhé a pevné, aby mohly koncentrovat tlak i proud v průběhu svařování co nejdéle. Jsou-li svařovány plechy různých materiálů, výstupky jsou vytvořeny na plechu, který má menší elektrický odpor.[9][1][12]

#### 4.4 Svařování stykové stlačením

Nejméně ze všech odporových svařování je využívána metoda stykového svařování stlačením. Svařovány jsou dráty nebo tyče do průměru přibližně 10 mm. Ty jsou sevřeny do čelistí svářečky, tyče či dráty se vzájemně přitlačí a poté se zapne proud. Schéma stykového svařování stlačením je znázorněno na obrázku 13. Metoda je využívána např. pro spojování betonářské oceli, nastavování drátů, prodlužování vrtáků a svařování řetězů.[12][1]

Obrázek 13 – Svařování stykové stlačením



Zdroj: [1]

##### 4.4.1 Charakteristika svařování stykové stlačením

Při svařování stykovým stlačením je ohříván celý materiál mezi oběma čelistmi, nejvyšší teplota je v místě styku, tam je vyšší přechodový odpor. Při dosažení svařovací teploty jsou spojovány pomocí působení tlaku oba materiály. V oblasti styku je materiál napěchován a teplem vyboulen, toto nastane v oblasti ovlivněné teplem. Čelní plochy musí být před svařováním opracovány, aby byly čisté, vzájemně rovnoběžné a kolmé k ose upnutí. Kvalita svaru není nijak vysoká, oxidy, které při svařování vznikají, zůstávají ve svarovém kovu.[12][1]

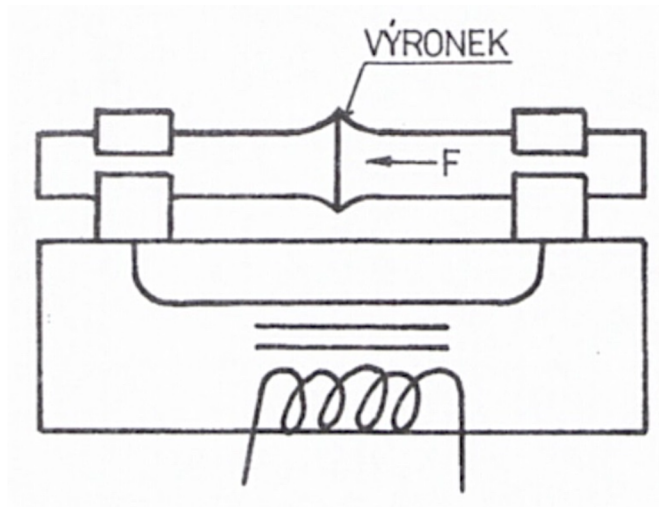
Svařovací parametry pro svařování stykové stlačením jsou:

- Svařovací proud
- Doba svařování
- Přítlačný tlak[1]

#### 4.5 Svařování stykové odtavením

Metoda svařování stykové odtavením je odlišná od všech metod odporového svařování. Svařovací proud při této metodě prochází při nedokonalém kontaktu dílů. Když je jejich stlačení malé. Při svařování stykovém odtavením je důležité, aby stykové průřezy byly stejné do tvaru i velikosti. Princip svařovací metody je znázorněn na obrázku 14. Svařují se pomocí této metody trubky pro výrobu parních generátorů, ráfky a rámy motocyklů, velké nástroje ze dvou různých materiálů, kolejnice, rámy dveří apod. Trubky pro generátory mají průměry od 25 mm až po 60 mm a tloušťku stěny 3 až 6 mm, jsou většinou z nízkoalokovaných ocelí nebo žárupevných vysokolegovaných ocelí.[12][11][1]

Obrázek 14 – Svařování stykové odtavením



Zdroj: [1]

##### 4.5.1 Charakteristika svařování stykové odtavením

Při stykovém svařování odtavením je možné svařovat pomocí dvou způsobů.

- **Přímé stykové svařování odtavením** – to je děleno do dvou fází. První je nazývána odtavování, při té se svařované díly k sobě přibližují. Ze začátku je mezi svařovanými díly mezera, proud jimi neprochází, protože jsou svařovány při malém svařovacím proudu (např. 3 V), a proto nemůže vzniknout oblouk. Díly jsou k sobě stále přibližovány a v určitý moment nastane v některém místě nedokonalý kontakt. Materiál

je okamžitě ohřán, roztaven a vystříkne ze spoje. Ohřev se stále opakuje v dalších částech průřezu. Odtavovací fáze je ukončena tím, že na čelech svařovaných dílů vznikne vrstva roztaveného kovu. Druhou fází je stlačování, to je prudké a s malým zpožděním se vypne proud. Vznikne výronek (obrázek 14), ten vznikl vytlačěním roztaveného kovu z místa spoje.[1]

- **Stykové svařování odtavením s předeřevem** – jsou používány pro svařování větších průřezů a u legovaných ocelí. Před fází odtavení a stlačení je přidána fáze předeřevání. Ta je provedena pomocí indukčního ohřevu, ale častěji je využíván samotný svařovací transformátor, který pomocí reverzačních pohybů zkratuje a rozpojí svařované díly.[1]

Vznikne kvalitní svar, při svařování se odstříknou nečistoty a zoxidovaný kov. Z roztaveného kovu vznikají páry, které jsou vytvořeny svařováním v ochranné atmosféře, která zabraňuje ovlivnění svaru dusíkem a kyslíkem ze vzduchu. [11][1]

Parametry pro svařování stykovém odtavením jsou:

- Svařovací proud – nastavuje se na hodnotu okolo  $20 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$ , což je zhruba 10krát méně než u ostatních způsobů odporového svařování.
- Rychlost odtavování – nastavuje se na hodnotu od 1 až  $5 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ .
- Přítlačný tlak[1]

Parametry jsou ovlivňovány řadou veličin, např. průměrem svařované plochy, materiálem dílů, způsobem ohřevu. [1]

#### 4.6 Kontrola svarových spojů

Kontrola svarových spojů je dělena do dvou základních skupin – destruktivní a nedestruktivní. Vhodnost využití konkrétní kontroly je volena podle typu konstrukce, požadované bezpečnosti a životnosti konstrukce. Naměřené výsledky jsou porovnávány a reprodukovány jednotným principem přezkušování, které jsou stanoveny danou normou. Všechny metody kontroly svarových spojů jsou prováděny proškoleným pracovníkem.[12][24][4]

Zkoušky se dále dělí do čtyř skupin:

- Mechanické
- Technologické
- Metalografické
- Nedestruktivní[1][4]

#### 4.6.1 Mechanické kontroly

Pomocí mechanických zkoušek jsou získávány údaje, které jsou použity jako podklady pro pevnostní výpočty svařovaných součástí (o svařitelnosti a kvalitě svarových spojů). Jsou používány zvláštní zkušební stroje a zařízení. Při těchto zkouškách mohou být prováděny dynamické i statické zkoušky.[12][14][4]

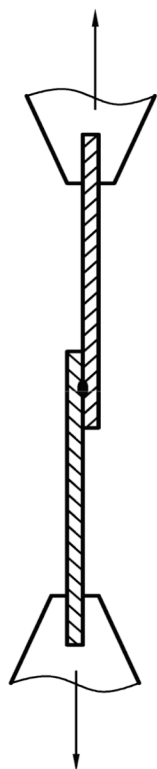
Mechanické statické zkoušky zkoumají chování zkoušeného materiálu při působení klidného rovnoměrného zatížení s pomalu rostoucí intenzitou bez rázů. Zkoušený svarový spoj je zatěžován pouze jednou, dokud nedojde k jeho porušení, přitom je neustále závislost napětí a deformace. Mezi mechanické statické zkoušky jsou řazeny tahová zkouška, stříhová zkouška, zkouška kroucením a zkouška tvrdosti.[12][14][4]

Mechanické dynamické zkoušky zkoumají vlastnosti součástí za působení dynamického namáhání. Dynamické namáhání je rozdělováno podle působení zatěžující síly na rázové a únavové zkoušky. Výsledky dynamických zkoušek hlavně rázových, jsou velmi důležité ohledně vlastností svarového spoje, a i ovlivněné zóny, především ukazují křehkost spojů. Ačkoliv jsou tyto zkoušky důležité, tak v praxi se ke kontrole bodových svarů moc nepoužívají, z důvodu jejich zdlouhavosti, a i nedostupnosti vybavení zkušebními zařízení.[12][14][4]

Pro zkoušení plechů spojených pomocí bodových svarů je nejčastěji používána **zkouška stříhem svarových spojů**. Zkouška je prováděna na univerzálním zkušebním stroji (obrázek 15), svarový spoj je namáhaný na smyk (stříh) až do doby, kdy je spoj rozpojen. Na stroji je měřena síla, která je potřebná k porušení spoje a průměr porušeného spoje. Pomocí hodnot jsou stanoveny mechanické vlastnosti bodového svaru. Stříhová zkouška může skončit dvěma způsoby, buď je součást rozpojena porušením svarové čočky, nebo je porušen základní materiál.[12][14][4]



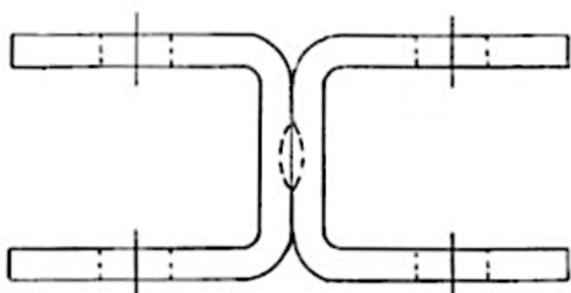
Obrázek 15 – Stříhová zkouška přeplátovaných plechů



Zdroj: [25]

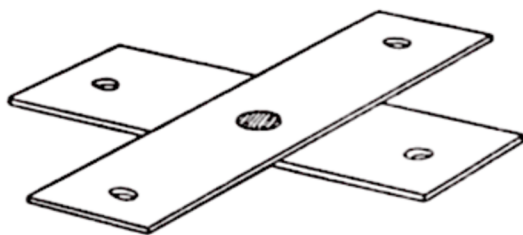
Na univerzálním zkušebním stroji je také prováděna **tahová zkouška**. Svarový spoj je namáhán při této zkoušce na vytržení. Stejně jako u zkoušky stříhové je měřena síla potřebná na přetržení svařených částí, dále je posuzován vzhled zlomu a rozměr spoje. Tahová zkouška je prováděna dvěma způsoby, jedním z nich je zkouška, kdy je zkušební tělísko do tvaru U (obrázek 16), při druhém způsobu jsou tělíska ve křížovém tvaru (obrázek 17). Nevýhodou U-zkoušky je, že při zkoušení tenkých plechů může dojít k deformaci kolem svarového spoje, tím jsou poté výsledky zkreslené. [12][13][14][4]

Obrázek 16 – Tahová zkouška ve tvaru U



Zdroj: [13]

Obrázek 17 – Tahová zkouška křížová



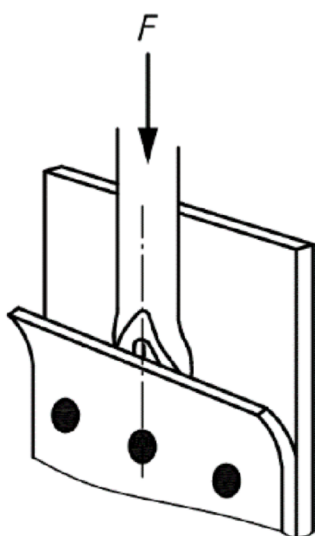
Zdroj: [13]

Poslední mechanickou zkouškou je zkouška kroucením. Není využívána tak často jako zkoušky předešlé. Jsou přitom zkoušeny bodové svary a výstupkové svary. Rozměry zkušebních těles nejsou stanovené, je však doporučeno, aby měly rozměry podobné jako při tahové zkoušce. Z této zkoušky jsou těžce získány výsledky, proto zkouška není tolik využívána. Je možné při ní orientačně zjistit podle vzhledu lomu protavení spoje, průměr svaru a také jeho houževnatost.[12][4]

#### 4.6.2 Technologické kontroly

Pomocí technologických zkoušek je zjišťována kvalita svaru a vhodnost použití materiálu pro určitý způsob svařovací technologie. Výhodou technologických zkoušek je jejich jednoduchost, nízká časová náročnost. Zkoušky je možné provádět za pomoci jednoduchých dílenských prostředků (např. svěráku a sekáče), nebo pomoci běžných zkušebních zařízení s použitím vhodných přípravků. Díky tomu je možné zkoušky provádět na výrobních linkách, ale i v laboratorních podmínkách. Hlavní využití technologických zkoušek je pro namátkové kontroly nebo pro pravidelné kontroly ve výrobě pro správné nastavení svařovacích strojů. Nejvíce používanými zkouškami jsou sekáčová zkouška a zkouška odlupovací, ty jsou upravovány podle normy ČSN EN ISO 10447.[12][26][4]

Obrázek 18 – Sekáčová zkouška svarů

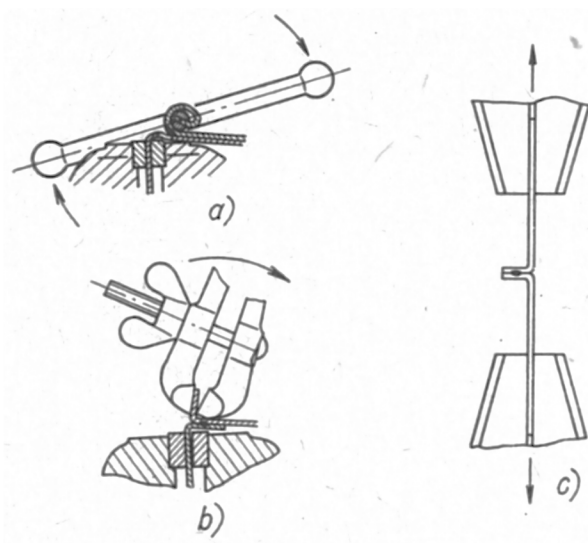


Zdroj: [26]

Kontrola svarových spojů pomocí **sekáčové zkoušky** (obrázek 18) je nejběžnější dílenskou zkouškou. Pomocí metody je možné rychle zjistit chyby svarů, např. difuzní spoje nebo křehkost spoje. Pro provádění této zkoušky je důležitá zkušená a specializovaná osoba, aby bylo možné správně interpretovat výsledky.[12][26][4]

Vylepšením zkoušky sekáčem vznikla **zkouška odlupovací**. Odlupovací zkoušku je možné provádět třemi způsoby. Prvním je možnost pomocí nástroje, který připomíná otvírač konzerv (obrázek 19a). Druhá možnost je prováděna za pomoci svěráku (obrázek 19b). Poslední možností je zkušební vzorek připevnit do univerzálního zkušebního stroje (obrázek 19c). Význam ruční odlupovací zkoušky je skoro stejný jako u zkoušky sekáčem. Při aplikaci této metody odpadá nebezpečí přeseknutí svaru, metoda je přesnější a s její pomocí je možné zkontrolovat řada bodových svarů ve značné délce. Při zkoušce v univerzálním zkušebním stroji je možné odhalit difuzní spoje, to při ruční zkoušce nelze. Pomocí strojní metody je kontrolována i křehkost ovlivněné oblasti svarového spoje. Síla, při které je porušen spoj, je možné využít (do jisté míry) jako měřítko houževnatosti spoje.[12][13][26][4]

Obrázek 19 – Odlupovací zkoušky



Zdroj: [12]

#### 4.6.3 Metalografické kontroly

Metalografická zkouška doplňuje mechanické a technologické zkoušky pro hodnocení svarových spojů. Kontroluje struktury svaru a přechodové oblasti, homogenitu, výskyt pórů, bublin, prasklin atd. Ale i tak se jedná o destruktivní kontrolu, pro provedení zkoušky je potřeba udělat výbrus. Poté je možné zjišťovat makrostrukturu i mikrostrukturu bodového svaru. Řez výbrusu je veden v rovině průměru svarové čocky. Řez je veden tímto způsobem, aby byl vidět základní materiál, svarový materiál a teplem ovlivněná oblast. [12][14][4]

Kontrola makrostruktury řezu je prováděna pouze okem nebo malým zvětšením. Mikrostruktura je zkontrolována za zvětšení od třicetinásobného až po dvoutisícinásobné zvětšení. Ke kontrole jsou používány světelné a laserové konfokální mikroskopy. Příprava, postup, průběh zkoušky a výsledky jsou řízeny podle normy ČSN EN ISO 17639.[27][28][4]

#### 4.6.4 Nedestruktivní kontrola svarových spojů

Při provádění nedestruktivních zkoušek není prováděno porušení celistvosti zkoumané součásti. Zkoumá kvalitu svaru přímo ve svařené konstrukci. Tyto metody jsou založeny na porovnávání hodnot určitého znaku vůči etalonu. Je kontrolována celistvost svarového spoje, přítomnost vnitřních a vnějších vad, a také těsnost spoje.[12][13][4]

#### Vizuální kontrola svarů

Vizuální zkouška je základní nedestruktivní zkouška zkoumající povrchové vady. Podléhá normě ČSN EN ISO 17637. Vizuální zkouška je přímá a nepřímá. U přímé vizuální kontrole není potřeba žádných optických pomůcek ke zkoumání plochy. Ke kontrole jsou používány

maximálně jednoduché pomůcky (např. lupa či zrcátko). U nepřímé vizuální kontrole jsou používány složitější optické přístroje, jako je endoskop, videoskop, periskopy atd. Vizuální kontrola je používána jako první kontrolní metoda, je to z důvodu rychlého a jednoduchého provedení za velmi nízkých nákladů.[29][13][4][30]

### **Kapilární kontrola svarů**

Kapilární zkouška bodových svarů je řízena normou ČSN EN ISO 3452-1, její vyhodnocení je zase řízeno jinou normou, a to normou ČSN EN ISO 23277. Metoda je prováděna za pomoci nanášení barevných nebo fluorescenčních látek na povrch kontrolované součásti. Z toho plyne, že metoda slouží ke kontrole povrchových vad. Zkouška funguje na vztlínání nebo prolínání detekční kapaliny. Pokud je provedena zkouška za pomoci barevné detekční kapaliny, kapalina vytvoří necelistvé obrazce, kde barva bude odlišná od barvy pozadí. Při provedení zkoušky pomocí fluorescenční detekční kapaliny, necelistvost je pozorovatelná v tmavé místnosti za pomoci ultrafialového záření. Citlivost kapilární metody je ovlivněna druhem zkoumaného materiálu, jeho drsností, druhem vad, vlastnostmi použitého zkušebního prostředku, teplotou a dobou trvání zkoušky.[31][29][13][4][32]

Při kapilární metodě je potřebné napřed věc důkladně očistit a odmastit zkoumaný povrch. Po očištění povrchu je na povrch nanesena detekční kapalina tzv. penetrant. Aby se penetrant dostal do všech povrchových vad, musí penetrace trvat minimálně 5 minut. Po uplynutí minimálně 5 minut je penetrant ze zkoušeného povrchu důkladně odstraněn. Po setření penetrantu je nutné zkoušený povrch osušit, poté je, co nejrychleji, nanesena na povrch vývojka. Vývojka je kapalina, která slouží ke vztlínání detekční kapaliny a vystoupí z trhlin. Pro provedení této metody je nejčastěji využíván červený penetrant a vývojka má z pravidla bílou barvu, aby byl co nejlépe vidět výsledný obrazec.[12][1][4]

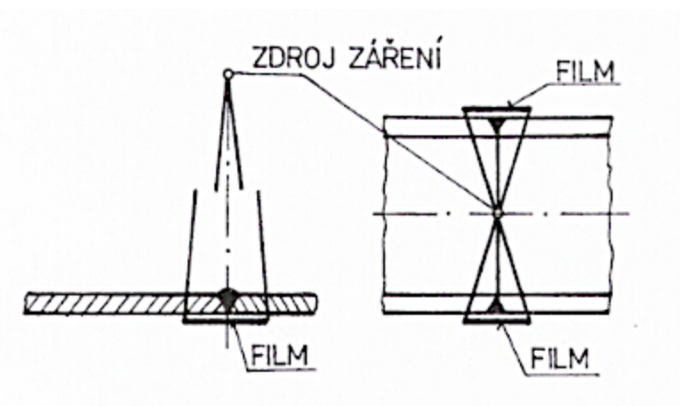
### **Kontrola pomocí prozařovací metody**

Metoda je prováděna pomocí rentgenového záření (obrázek 20). Je používáno technické zařízení rentgenu 100 až 400 kV a záření gama (Ir 192, Cs 137 a Co 60) nebo jsou dále využívány betatrony a lineárně urychlené elektrony. [1][4]

Gama záření je používáno ve vlnových délkách od  $10^{-12}$  až  $10^{-9}$  m. Gama záření je typem příčně elektromagnetického vlnění. Při kontrole bodových svarů je potřeba energii záření volit tak, aby byla dosažena, co nejlepší zjistitelnost vad spojů.[1][4]

Používání rentgenového záření je doporučeno u ocelí, které nepřekračují tloušťku 75 mm, ale záření gama je možné využívat ke kontrole až do tloušťky 120 mm. Pokud bychom kontrolovaly oceli o větších tloušťkách je za potřeby využít lineárního urychlovače nebo betatronů. Používáním rentgenové metody není možné zjistit povrchové vady, zjišťují se pomocí ní vady vnitřní. Zjišťovat lze pouze vnitřní vady, které mají velikost větší než 2 % tloušťky prozařovaného materiálu. [1][4]

Obrázek 20 - Prozáření při kontrole bodových svarů



Zdroj: [1]

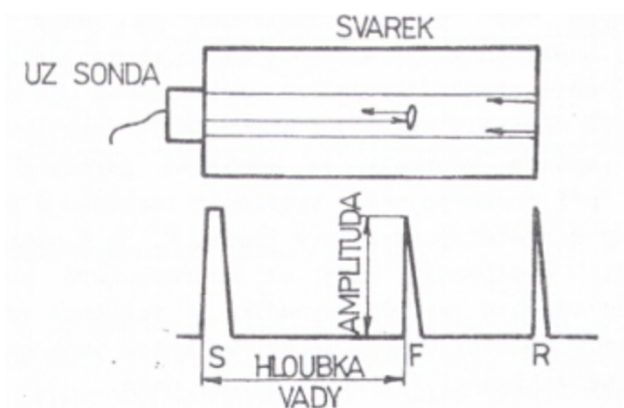
Kontrola prozářením je řízena normou ČSN EN ISO 17636-1 a normou ČSN EN ISO 17636-2. Rozdílem je, že první zmíněná norma je určena pro kontroly prováděné pomocí filmu a druhá zmíněná je pro digitální detektory.[29][4][33][34]

### Ultrazvuková kontrola svarů

Ultrazvuková metoda má veliké výhody ve své rychlosti a nižších nákladech než metoda prozařovací. Hlavní prioritou nedestruktivních metod je, že kontrolované součásti lze po zkontrolování a nenalezení vad vrátit zpět do výrobního cyklu. Ultrazvuková metoda je velmi citlivá při hledání plošných vad jako jsou např. trhliny. Nejčastěji jsou využívány metody impulzní (obrázek 21). Z obrázku vidíme, že mezi vysílacími signály S a impulzem R, ten tvoří zadní stěnu, je vidět rušivý impulz F, který značí vadu uvnitř součásti.[13][12][1][4]

Pro kontrolu svarových spojů se využívá ultrazvuk o frekvenci od 0,5 až 20 MHz, nejčastěji to bývá frekvence od 2 až 4 MHz. Pokud vada leží kolmo ke směru ultrazvukových vln, bude velmi zřetelně vidět. Ke kontrole jsou používány čelní ultrazvukové sondy (obrázek 22), ty vysílají vlny podélně. Dále je možné využít úhlové ultrazvukové sondy (35° až 80°).[13][1][4]

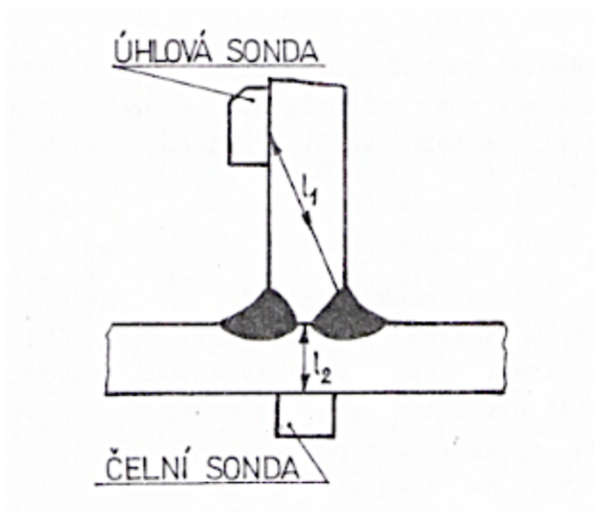
Obrázek 21 – Impulzní metoda



Zdroj: [1]

Úhlové sondy (obrázek 22) vysílají vlny příčně. Rychlost, kterou jsou vlny šířeny závisí na materiálu, kterým budou procházet. Je to konstanta pro daný materiál, pro uhlíkové oceli je rychlost šíření podélných vln v materiálu  $5850 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . [13][1][4]

Obrázek 22 – Umístění sond



Zdroj: [1]

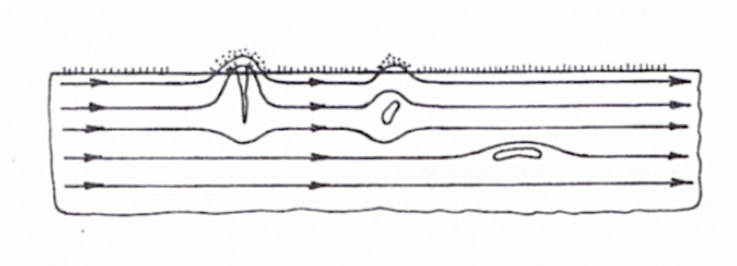
### Magnetická prášková kontrola svarů

Magnetická prášková metoda je řízena metodou ČSN EN ISO 17638 a výsledky jsou vyhodnoceny podle normy ČSN EN ISO 23278. Metoda je používána pro hledání povrchových a podpovrchových vad feromagnetických součástí. Ve zkoušené součásti je vyvoláno magnetické pole, poté je započato polévání součásti suspenzí feromagnetického prášku ve vodě, petroleji nebo parafínovém oleji. Necelistvost ve zkoušené součásti je projevena lokálním magnetickým polem kolem necelistvosti, je možné také takhle zjistit nekovové vměstky



(obrázek 23). Lokální magnetické pole deformuje vlastní magnetické pole zkoušené součásti. [29][13][4][35][36]

Obrázek 23 – Magnetická metoda



Zdroj: [1]

Necelistvost je projevena shlukem magnetických částic detekčního prášku na povrchu zkoušené součásti v místě rozptylového magnetického pole. Pomocí magnetické metody lze zjistit povrchové a podpovrchové necelistvosti a nekovové vměsky. Také lze zjistit trhliny, ale musí mít minimální šířku a hloubku 0,025 mm a minimální délku 0,5 mm. Vady podélné na směr magnetického pole nelze pomocí magnetické práškové metody zjistit. Nezáleží na drsnosti povrchu na rozdíl např. od metody kapilární. [1][4]

#### 4.7 Shrnutí předchozích experimentů

Na Katedře materiálu a strojírenské technologie byly dříve zpracovány obdobné experimenty. Diplomová práce na ně navazuje. Výsledky předchozích experimentů jsou shrnuty níže.

- Bodové svařování – Michal Miláček – 2021
  - Byly porovnávány vzorky z oceli a pozinkované oceli. Některé vzorky byly odmaštěny. Zkoušky byly prováděny ve svařovacích časech 0,30 s, 0,40 s, 0,60 s, 0,80 s, 1,00 s a 1,30 s.
  - Vzorky rozděleny do šesti skupin (ocel + ocel odmaštěná, ocel + ocel neodmaštěná, pozinkovaná ocel + pozinkovaná ocel odmaštěná, pozinkovaná ocel + pozinkovaná ocel neodmaštěná, ocel + pozinkovaná ocel odmaštěná, ocel + pozinkovaná ocel neodmaštěná)
  - Kontrola svarů pomocí stříhové zkoušky
  - V této závěrečné práci bylo zjištěno, že stříhová zkouška končila třemi způsoby – v 76 % destrukcí svařovaného materiálu, v 10 % destrukcí svarového spoje a v 14 % nedošlo k destrukci svařovaného materiálu a ani svarového spoje. U svařovacího času 0,30 s byl u vzorků č. 3, vypočítán variační koeficient 21,6 %, u vzorků č 4 byl variační koeficient 119, 4 % a u vzorků č.5 byl variační



koeficient vypočten 29,2 %. Z výsledků F – testu vyplývá, že odmaštění měla statistický vliv na rozptyl hodnot u vzorků ocel + ocel, kde došlo ke snížení rozptylu u svařovacích časů 0,30 s, 0,60 s a 1,30 s a u ocel + pozinkovaná ocel, kde nastalo snížení rozptylu naměřených dat u svařovacích časů 0,30 s, 0,80 s a 1,0s. Z výsledků t – testu bylo zjištěno, že odmaštění má statistický vliv na střední hodnotu u skupiny vzorků pozinkovaná ocel + pozinkovaná ocel. Střední hodnota síly byla u těchto vzorků zvýšena při svařovacích časech 0,30 s, to vzrostla o 105,1 %, v čase 0,40 s o 79,5 % a v čase 0,60 s o 50,9 %.[37]

- Bodové svařování ocelových plechů – Tomáš Balihar – 2018
  - Byly svařovány vzorky ocelových plechů o stejné tloušťce a to 1,5 + 1,5 mm.
  - Vzorky byly rozděleny do čtyř skupin (ocel bez přípravy, ocel odmaštěná, ocel osmirkovaná a odmaštěná, ocel otryskaná a odmaštěná)
  - Kontrola bodových svarů pomocí stříhové zkoušky
  - V závěrečné práci bylo zjištěno, že destrukce svarového spoje ve svarové čočce byla nalezena nejvíce u oceli odmaštěné a to u 32 % vzorků. U vzorků oceli s odmaštěným a osmirkovaným povrchem nastalo porušení svarového spoje v oblasti svarové čocky nejméně a to u 15 % vzorků. Nejvyšší rozptyl naměřených hodnot byl zjištěn při svařovacím čase 0,15 s u vzorků bez úpravy povrchu, u ostatních úprav (odmaštění, otryskání odmaštění, smirkování odmaštění) byl variační koeficient mezi 10–12 %. Čas 0,15 s, nebyl doporučen k používání v praxi. V souhrnném hodnocení bylo zjištěno, že u při srovnání všech vzorků v časech 0,30 s, 0,60 s a 1,30 s, nemá úprava povrchu statistický vliv na variabilitu naměřených hodnot. Při svařování v čase 0,30 s, bylo u všech svařovaných vzorků zjištěno, že jejich síla vzrostla přibližně o 13 % vůči kontrolnímu vzorku (vzorky bez úpravy povrchu). V čase 0,60 s bylo opět zjištěno, že u všech úprav povrchu nastala statisticky významná změna, a to změna síly až o 7,7 %. U svařovacího času 1,30 s bylo zjištěno, že u otryskaného a odmaštěného povrchu nenastal statistický nárůst síly potřebné na porušení spoje, ale u vzorků s odmaštěným povrchem a u vzorků se smirkovaným a odmaštěným povrchem, byl statistický nárůst síly, a to až o 7,8 %.[37]
- Bodové svařování ocelových plechů – Ota Niedermeier – 2017
  - Všechny vzorky měly povrchovou úpravu otryskáním a odmaštěním. Byly porovnávány plechy o různých rozměrech (0,8 mm, 1,5 mm, 3,0 mm).

- Vzorčky byly rozděleny do šesti skupin (0,8 mm + 0,8 mm, 1,5 mm + 1,5 mm, 3,0 mm + 3,0 mm, 0,8 mm + 1,5 mm, 0,8 mm + 3,0 mm, 1,5 mm + 3,0 mm)
- Kontrola svarů pomocí stříhové zkoušky
- V dané závěrečné práci bylo zjištěno, že destrukce vzorků může nastat dvěma způsoby – destrukce svarové čočky nebo destrukcí základního materiálu. Bylo zjištěno, že k destrukci svařovaného materiálu docházelo ve vyšších časech při svařování plechů o stejné tloušťce (0,8 mm + 0,8 mm; 1,5 mm + 1,5 mm a 3,0 mm + 3,0 mm). Při svařování plechů 0,8 mm + 1,5 mm a 0,8 mm + 3,0 mm, docházelo k porušení svařovaného materiálu při všech svařovacích časech. Ale i tak se pevnost svarového spoje zvyšovala. Při svaření plechů o tloušťce 1,5 mm + 3,0 mm, došlo při všech svařovacích časech k destrukci ve svarové čočce. Dále bylo zjištěno, že pokud byly svary vyrobeny v doporučeném svařovacím čase, vždy vznikly kvalitní spoje, které bylo možné použít v praxi. Při svařování za vyšších časů, než jsou doporučeny výrobcem, vznikly pevnější spoje. U plechů 0,8 + 0,8 mm byl nárůst o 15,3 %, u 1,5 + 1,5 mm byl nárůst o 23,1 %. U plechů 3,0 + 3,0 mm vznikly nejpevnější spoje v doporučeném čase. V případě plechů 0,8 + 1,5 mm pevnost vzrostla o 9 %, u plechů 0,8 + 3,0 mm o 3,9 % a u plechů 1,5 + 3,0 mm o 3,9 %. V porovnání s plechy 1,5 + 1,5 mm byl nárůst o 63 % u svaření plechů o tloušťce 3,0 + 3,0 mm. [38]

## 5 Praktická část práce

Praktická část popisuje návržení, přípravu, provedení a vyhodnocení stříhové zkoušky bodových svarů. Cílem experimentu bylo stanovit velikost síly, která byla potřebná k porušení svarového spoje v závislosti na úpravě svařovaných plechů v místě bodového svaru a svařovacím čase. Naměřené hodnoty únosnosti svarových spojů podle jednotlivých sérií vzorků s různými úpravami povrchu svarových ploch byly mezi sebou porovnány. Byl zhodnocen vliv úpravy povrchu na celkové vlastnosti bodového svaru. Všechny přípravy a laboratorní zkoušky byly prováděny v laboratořích Katedry materiálu a strojírenské technologie na České zemědělské univerzitě v Praze.

### 5.1 Příprava vzorků

Jak je uvedeno výše, cílem experimentu bylo získání velikosti síly potřebné k porušení bodové svarového spoje. Pro získání hodnot síly byla zvolena zkouška stříhová bodových svarů. Stříhová zkouška je vázaná normou ČSN EN ISO 14273, ta stanovuje tvar a rozměry vzorků v závislosti na tloušťce použitých ocelových plechů. Z časových a ekonomických důvodů byla většina rozměrů vzorků použita ze vzorků, které se dlouhodobě využívají na Katedře materiálu a strojírenské technologie ke zkoumání zkoušek lepených a pájených spojů.[25]

#### 5.1.1 Materiál a rozměry vzorků

Pro experiment byla vybrána nízkouhlíková ocel a pozinkovaná ocel. Vzorky byly nastříhány na rozměry 100 x 25 mm a tloušťka plechu byla 1,5 mm. Vzorky byly vystříhány pomocí tabulových nůžek z tabule plechu o rozměrech 2000 x 1000 mm o tloušťce 1,5 mm. Celkem bylo vyrobeno 480 kusů plechů daného rozměru. Plechy byly rozděleny do pěti skupin. První tři skupiny jsou tvořeny vzorky o stejné povrchové úpravě. Zbylé dvě skupiny byly tvořeny kombinací dvou povrchových úprav. Skupiny jsou rozděleny:

- Skupina 1 – příprava povrchu oceli odmaštěním
- Skupina 2 – příprava povrchu oceli otryskáním a odmaštěním
- Skupina 3 – pozinkovaná ocel, příprava povrchu odmaštěním
- Skupina 4 – kombinace odmaštěné pozinkované oceli a odmaštěné oceli
- Skupina 5 – kombinace odmaštěné pozinkované oceli odmaštěná a otryskané odmaštěné oceli

### 5.1.2 Příprava svařovaného povrchu

Úprava svařovacího povrchu před svařováním je důležitým faktorem, který ovlivňuje pevnost svarového spoje. Úpravou jsou odstraněny nežádoucí nečistoty ze svařovaného povrchu, tím je zaručeno menší ovlivnění svarové lázně nežádoucími částicemi.

#### **Odmaštění**

Nejjednodušší povrchovou úpravou svařovaného povrchu je odmaštění. Pomocí této úpravy byl povrch očištěn od nečistot, které ulpívají na povrchu, a odmaštěn. Očištění a odmaštění povrchu bylo provedeno pomocí organického rozpouštědla, tím byl aceton. Do misky byl nalit aceton, do něho byly potom jednotlivě vkládány plechy a pomocí štětce byl povrch očištěn a odmaštěn. Následně byly jednotlivé plechy poskládány vedle sebe na plátno, kde postupně oschnuly. Po oschnutí povrchu plechu, následovalo okamžitě svaření. Vzhled upraveného povrchu je zobrazen na obrázku 27.

#### **Otryskání**

Další úprava povrchu byla provedena otryskáním. Povrch plechů byl otryskán v tryskacím zařízení ITB 65 (obrázek 24). Tryskací zařízení je určeno pro otryskání předmětů spíše o menších rozměrech. Ovládání stroje je prováděno pneumaticky. Povrch plechů byl otryskán z obou stran v místě svarové plochy přibližně ze vzdálenosti 50 mm a abrazivo bylo priváděno pod úhlem 90°. Rozdíl mezi otryskaným a neotryskaným povrchem je zobrazen na obrázku 27. Po otryskání byly všechny povrchy odmaštěny a čištěny pomocí acetonu. Očištění povrchu bylo provedeno z důvodu, že po otryskání na povrchu zůstanou prachové částice a zbytky abraziva. Tyto části by ovlivnily povrch svařovaných ploch a tím pádem by byla ovlivněna svarová lázeň a následný svar, to by ovlivnilo mechanické vlastnosti především únosnost svarového spoje.

Tryskací kabina ITB 65 je určena pro používání v malých prostorách laboratoří a v dílnách. Kabina je vybavena recirkulačním okruhem, abrazivo přiváděné pomocí tryskací pistole se při otryskávání materiálu odráží a dopadá na dno kabiny, kde je shlukován, odtud se poté dostává zpět do oběhu. Výhodou tohoto tryskacího zařízení je jeho variabilita ohledně výběru tryskacího materiálu, ten lze měnit i během provozu. Tryskací pistole je osazena pracovní a vzduchovou tryskou.[39]

Obrázek 24 – Tryskací zařízení ITB 65



Zdroj: Vlastní

Vzhledem k tomu, že zařízení je pneumatické, tak je k němu potřeba přivádět stlačený vzduch. V laboratořích školy je zdrojem stlačeného vzduchu kompresor. Ten je pomocí hadice připojen k nožnímu pedálu, ten slouží k ovládání spouštění tryskací pistole. Při otryskávání vznikají prachové částice, které je potřeba z kabiny odsávat, aby v ní bylo vidět. Odsávání je prováděno pomocí externí odsávací jednotky, ta je připojena ke kabině v zadní části přes nátrubek. Jako odsávací jednotka je použit v laboratořích vysavač, ten má v odsávací soustavě zabudovaný cyklonový odlučovač prachových částic. Odlučovač je použit k odstraňování prachových částic, díky tomu je zvýšena životnost vzduchových filtrů v odsávání.[40][39]

Vnitřní prostor tryskacího boxu je 650 x 500 x 500 mm, který je celý upraven práškovým nátěrem kvůli zvýšení životnosti boxu a dále na zadní straně je pryž, která snižuje hlučnost. Vnitřní prostor je osvětlen párem zářivek o výkonu 20 W a ty jsou chráněny otěruvzdorným krytem. Box je vybaven oknem, které je složeno ze dvou skel. Vnější sklo je pevně uloženo v pryžovém těsnění. Vnitřní sklo má funkci ochrannou, aby vnější sklo nebylo zmléčněno odlétajícími částicemi tryskacího materiálu. Vnitřní část skla je možné vyměnit, jeho uchycení je pomocí čtyř „pacek“ a výměna zabere pár vteřin.[40][39]

Pro experiment byl jako tryskací materiál vybrán granát MESH 80. Jedná se o minerální tryskací materiál, který má ostrohranné zrno. MESH 80 je ekologické abrazivo, které má střední

hodnoty tvrdosti, vysokou pevnost a vysokou odolnost, díky níž má nízkou drobitost. Dále je vodou nerozpustný, zdravotně nezávadný a neabsorbuje vlhkost. Vzhledem k ostrohranné struktuře krystalů je vhodný pro odstraňování okují, barev, povlaků, korozních povlaků, nečistot a jiných nežádoucích prvků. Zejména se využívá k otryskání kovových materiálů, u kterých dále následuje úprava povrchu, jako např. chromování, zinkování a metalizace. V poslední době je granát využíván jako vhodné abrazivo k otryskání kamene, betonu a dalších stavebních materiálů, ale i fasád a obkladů. Dalším využitím je použití abraziva pro řezání vodním paprskem, pro filtraci kapalin a také jako brusný nástroj. Vlastnosti MESH 80 jsou shrnuty v tabulce 6.[41]

Tabulka 6 – Vlastnosti granátu MESH 80

Tvar zrna	Ostrohranný
Typ	Inertní
Tvrdost	7,5 Mosh
Měrná hmotnost	4,10 Kg.dm <sup>-3</sup>
Velikost zrn	0,1 - 1,2 mm
Barva	červeno-hnědá

Zdroj: [41]

### 5.1.3 Měření drsnosti povrchu

Měření drsnosti povrchů bylo provedeno na zařízení drsnosti Mitutoyo SurfTest SJ – 301 a proběhlo podle normy ČSN EN ISO 21920–2. Zařízení měří drsnost povrchu pomocí dotyku, povrch je snímán hrotem vyrobeným z diamantu. Hrotem je pohybováno konstantní rychlostí po měřeném povrchu a jsou zaznamenávány hodnoty drsnosti podle dané normy. Pomocí přístroje jsou sledovány dva parametry:

- Ra – střední hodnota úchylky posuzovaného povrchu, tzn. aritmetický průměr absolutních hodnot všech změřených úchylek daného povrchu ve zvolené délce.
- Rz – největší výšku nerovnosti povrchu, tzn. součet největších výstupků a prohlubní daného povrchu.

Drsnost povrchů plechů byla provedena u všech tří druhů úprav, tj. odmaštěný povrch, otryskaný a odmaštěný povrch a odmaštěný pozinkovaný povrch. Povrchy byly měřeny ve dvou směrech, ve směru podélném a ve směru příčném. Pro každý směr a úpravu povrchu bylo provedeno měření na deseti vzorcích a na každé ploše bylo měřeno pětkrát.[42]

Výsledky drsnosti povrchu jsou rozděleny do dvou tabulek podle směru měření. Z tabulek 7 a 8 je vidět, že největší hodnoty drsnosti byly naměřeny u povrchu upraveném otryskáním a nejnižší hodnoty drsnosti byly naměřeny u povrchu ošetřeném pouze odmaštěním.

Tabulka 7 – Naměřené hodnoty drsnosti-podélné

Drsnost – podélná		
	Ra	Rz
Drsnost otryskaných plechů	2,23 ± 0,15μm	20,08 ± 2,71μm
Drsnost odmaštěných plechů	1,12 ± 0,16μm	7,64 ± 1,05μm
Drsnost pozinkovaných plechů	1,41 ± 0,16μm	9,32 ± 1,51μm

Zdroj: Vlastní

Tabulka 8 – Naměřené hodnoty-napříč

Drsnost – napříč		
	Ra	Rz
Drsnost otryskaných plechů	1,95 ± 0,30μm	16,24 ± 1,82μm
Drsnost odmaštěných plechů	1,23 ± 0,11μm	9,63 ± 1,41μm
Drsnost pozinkovaných plechů	1,31 ± 0,10μm	8,87 ± 1,49μm

Zdroj: Vlastní

## 5.2 Svařování ocelových plechů

Pro svařování zkušebních vzorků byly použity svařovací kleště BV 2.5.21 a svařovací jednotka QX 12.1. (obrázek 25). Obě části vyrobil výrobce Danubius Elektrik Bratislava. Vzorky svarových spojů byly vyrobeny v měkkém svařovacím režimu. Tato svařovací jednotka umí svařovat pouze v měkkém režimu. Pomocí svařovacích kleští BV 2.5.21 je možné svařovat ocelové plechy až do tloušťky 2,5 + 2,5 mm. Svařovací zařízení je mobilní zařízení složené z transformátoru, pákového mechanismu s rameny přizpůsobenými pro uchycení elektrod, které jsou vzduchem chlazené a vyrobeny z legované slitiny mědi, chromu a zirkonia. Stlačením ovládací páky je vyvolána přítlačná síla, tu je možné regulovat předepnutím pružiny prostřednictvím pohybové matice. Ovládací páka svařovacích kleští je opatřena dorazem, po dotknutí pákou dorazu je spuštěn průchod svařovacího proudu. Použité svařovací zařízení není vybavena možností regulovat svařovací proud. Aby bylo možné provést svarový spoje, je potřeba pro průchod svařovacího proudu stlačit ovladač páky až na doraz.



Obrázek 25 – Svařovací kleště BV 2.5.21 a svařovací jednotka QX 12.1.



Zdroj: Vlastní

Při svařování na svařovací jednotce QX 12.1. je možné nastavovat svařovací čas. Ten lze nastavit ve 12 úrovní svařovacího času, hodnoty svařovacích časů jsou vyobrazeny na obrázku 26.

Obrázek 26 – Svařovací časy

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
T1(s)	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,3	1,6	2,0

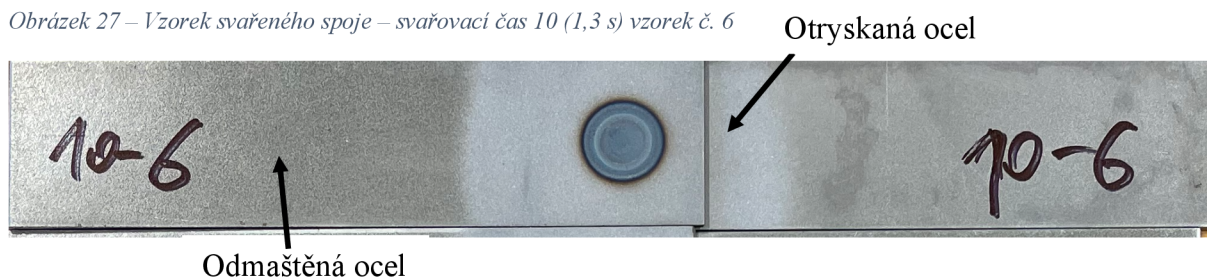
Zdroj: Vlastní

Plechý byly nejdříve přeplátovány, poté svařeny pomocí bodového svařování a tím vznikly svařené vzorky. Nejdříve byly svařeny ocelové plechy, u nichž byla provedena povrchová úprava pouze odmaštěním, dále se byly svařeny ocelové plechy upravené otryskáním a odmaštěním, poté plechy odmaštěné pozinkované a jen odmaštěné ocelové plechy. Dále bylo pokračováno ve svařování kombinace plechů, nejdříve byly svařeny odmaštěné pozinkované plechy s odmaštěným ocelovým plechem a jako poslední byly svařeny odmaštěné pozinkované plechy s ocelovými plechy upravenými otryskáním a odmaštěním. Plechy byly přeplátovány plochou  $35 \pm 1$  mm jak je uvedeno v normě ČSN EN ISO 14273. Přítlačná síla byla nastavena



podle doporučení výrobce svařovacího zařízení a to na 1,5 kN. Po celou dobu svařování byla přítlačná síla konstantní. Jak bylo zmíněno výše svařovací proud nelze u tohoto zařízení měnit, a tak jeho nastavení je konstantní na hodnotu 6,4 kA. Svařované plechy byly přeplátovány a vloženy mezi elektrody. Pomocí ručního ovládání pákového mechanismu byly elektrody stlačeny nastavenou přítlačnou silou. Při dotyku ovládací páky dorazu je zpuštěn průchod svařovacího proudu. Po dosažení daného svařovacího času, byl průchod svařovacího proudu přerušen. Poté je povolen tlak na ovládací páku a kleště je možné rozevřít a vyjmout hotový svařený vzorek. Vzorek svarového spoje je označen příslušným svařovacím časem a je uvedeno kolikátý vzorek daného času to je. Po svaření všech vzorků dané úpravy byla provedena stříhová zkouška, která cílem stříhové zkoušky bylo stanovit velikost síly potřebné k porušení svarového spoje pro danou úpravu povrchu a daný svařovací čas. Vzorek svarového spoje zhotoven během experimentu je zobrazen na obrázku 27, je zobrazen vzorek s povrchovou úpravou otryskáním, svar byl zhotoven za svařovací času deset (1,3 s) a je to 6. pokus.[25]

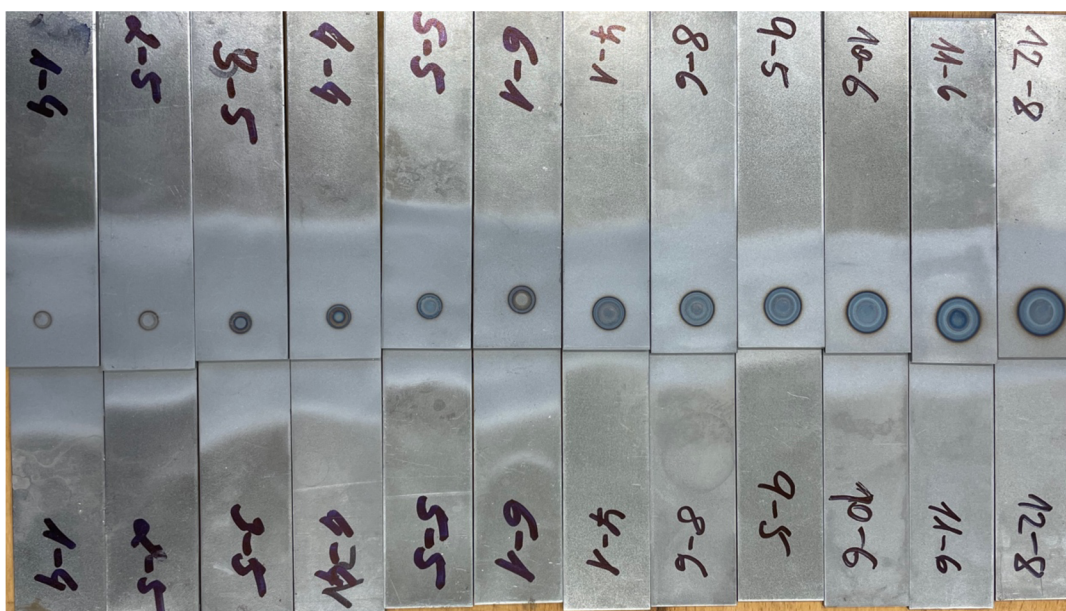
Obrázek 27 – Vzorek svařeného spoje – svařovací čas 10 (1,3 s) vzorek č. 6



Zdroj: Vlastní

Pro každý z dvanácti svařovacích časů bylo vytvořeno osm vzorků svarových spojů, rozděleny podle úpravy povrchů a jejich kombinací. Pro každou kategorii bylo vyrobeno 96 kusů vzorků bodových svarů. Celkem tedy bylo vyrobeno 480 kusů vzorků svarových spojů. Na obrázku 28 je zobrazeno dvanáct vzorků podle dvanácti svařovacích časů, z obrázku lze vidět, jaká je změna velikosti svarové čočky, ale i změna velikosti tepelně ovlivněné oblasti. Výrobce uvedl, že pro ocelové plechy o tloušťce 1,5 + 1,5 mm je doporučený svařovací čas o hodnotě 0,60 s, to je svařovací čas označen číslem 7.

Obrázek 28 – Velikost svarové čočky a tepelně ovlivněné oblasti v závislosti na čase



Zdroj: Vlastní

### 5.3 Stříhová zkouška

Pro provedení smykové zkoušky byl vybrán univerzální zkušební stroj ZDM 5/51 (obrázek 29). Univerzální zkušební stroj je umístěn v laboratořích Katedry materiálu a strojírenské technologie České zemědělské univerzity v Praze. Jak už bylo uvedeno je to univerzální zkušební stroj, to znamená, že je na něm možné provádět několik různých mechanických zkoušek. Zařízení je složeno z rámu, zatěžovacího a měřicího zařízení. Je vhodný pro provádění tahových, stříhových a ohybových zkoušek.

Zařízení je vybaveno pákovým mechanismem, na které je potřeba umístit závaží a pomocí toho je možné odečítat ze stupnice hodnotu zatížení. Stupnice je rozdělena do tří stupňů podle rozsahu a velikosti maximální působící síly. ZDM 5/51 je vybaveno motorem, který vytváří rotační pohyb, ten je pomocí převodovky přenášen na pohybový šroub, tím je rotační pohyb přenesen na pohyb translační. Pomocí pohybového šroubu se posouvají upínací čelisti. Rychlost posunu čelistí se dá regulovat.

Na začátku zkoušky bylo potřeba nastavit zatěžovací rychlost, ta byla nastavena na rychlost 20 mm.min<sup>-1</sup>. Poté bylo potřeba vybrat vhodnou stupnici pro odečítání hodnot, podle toho je na pákový mechanismus přidáno závaží pro danou stupnici. Pro měření byla vybrána stupnice 2, ta má rozsah od 0 do 25000 N. Dále bylo důležité nastavit vzdálenost upínacích čelistí univerzálního zkušebního stroje tak, aby nebylo možné vzorek svarového spoje po upnutí

v čelistech uvolnit během zkoušky. Uchycení vzorku svarového spoje je zobrazen na obrázku 30.

*Obrázek 29 – Univerzální zkušební stroj ZDM 5/51*



*Zdroj: Vlastní*

Po upnutí vzorku je spuštěn proces stříhové zkoušky. Vzorek je zatěžován pomocí pohybu čelistí, které jsou pohybovány díky pohybovému šroubu. Zkouška je ukončena porušením vzorku svarového spoje. Hodnota potřebné síly je poté odečtena ze stupnice.

*Obrázek 30 – Upnutí vzorku svarového spoje v upínacích čelistech*



*Zdroj: Vlastní*

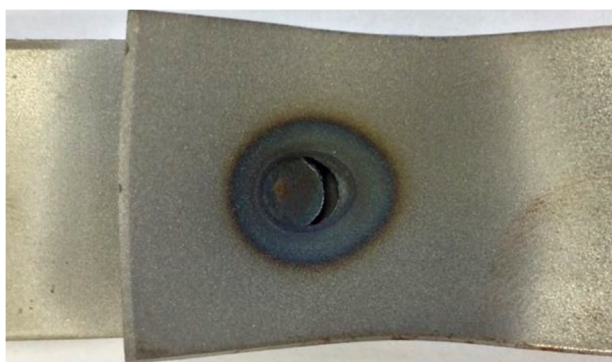
Při stříhové zkoušce mohou nastat dva způsoby porušení celistvosti vzorku. Prvním způsobem je porušení spoje ve svarové čočce (obrázek 31). Druhý způsob, jakým může zkouška skončit, je porušení základního materiálu v oblasti, která byla tepelně ovlivněna při vzniku svarové čočky (obrázek 32), ale porušení vzorku může vzniknout i porušením základního materiálu mimo tepelně ovlivněnou oblast.

*Obrázek 31 – Porušení svarové čočky*



*Zdroj: Vlastní*

*Obrázek 32 – Porušení vzorku v místě tepelně ovlivněné oblasti*



*Zdroj: Vlastní*

Cílem stříhové zkoušky bylo získat výstupní data maximální síly potřebné k porušení svarového spoje a způsob, kterým byl vzorek svaru porušen. V další části byly zpracovány a vyhodnoceny naměřené výsledky pro jednotlivé skupiny vzorků.



## 6 Vyhodnocení výsledků

Naměřené výsledky byly vyhodnocovány ve dvou částech. V první části byly vyhodnoceny a zpracovány naměřené hodnoty v závislosti na každé svařované skupině zvlášť. Cílem bylo zjistit vliv úpravy povrchu a svařovacího času na velikost síly, která byla potřeba na porušení svaru. V každé skupině vzorků byly vypočteny statistické charakteristiky polohy a variabilita naměřených hodnot.

Statistická charakteristika polohy vyjadřuje velikost proměnných ve statistickém souboru. Vytyčuje polohu dat, tudíž jejich střední hodnotu nebo krajní hodnoty. Pro účel zhodnocení výsledků je potřeba vypočítat střední hodnotu. Na výpočet střední hodnoty byl použit jednoduchý a nejvíce používaný ukazatel statistické charakteristiky, a to aritmetický průměr. Ten je počítán pomocí výpočetního vztahu:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3)$$

Ve vztahu  $\bar{x}$  je aritmetický průměr,  $x_i$  jsou jednotlivé naměřené hodnoty ve statistickém souboru a  $n$  je celkový počet naměřených hodnot. Slovně by byl matematický vztah vyjádřen jako podíl součtu všech naměřených hodnot ku celkovému počtu daných hodnot.[43]

Statistická charakteristika variability vyjadřuje rozptýlenost jednotlivých naměřených hodnot kolem její střední hodnoty. Pokud je míra variabilita vysoká, tak tím je nižší schopnost charakterizovat pomocí této střední hodnoty danou proměnnou, vzniká větší pravděpodobnost výskytu odlehlých hodnot. Pokud bude míra variability nízká, tak tím je vyšší schopnost charakterizovat pomocí této střední hodnoty danou proměnnou, hodnoty jsou seskupeny blíže ke střední hodnotě. Pro účel zhodnocení výsledků je potřeba vypočítat variabilitu naměřených hodnot. Pro tyto účely byly zvoleny výběrová směrodatná odchylka a variační koeficient. Výběrová směrodatná odchylka je definována výpočetním vztahem:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (4)$$

Ve vztahu  $\bar{x}$  je aritmetický průměr,  $x_i$  jsou jednotlivé naměřené hodnoty ve statistickém souboru a  $n$  je celkový počet naměřených hodnot. Slovně by byla výběrová směrodatná odchylka vyjádřena jako druhá odmocnina rozptylu.[44][43]

Variační koeficient se používá k srovnání směrodatné odchylky naměřených hodnot se střední hodnotou. Variační koeficient je zahrnut do skupiny relativní míry variability. Je stanovena matematickým vztahem jako podíl směrodatné odchylky a aritmetického průměru:

$$V = \frac{s}{\bar{x}} \quad (5)$$

Ve vztahu  $V$  je variační koeficient,  $s$  je výběrová směrodatná odchylka a  $\bar{x}$  je aritmetický průměr. Výsledkem variačního koeficientu je bezrozměrné číslo. Výsledek je možné vyjádřit i procentech, to je provedeno vynásobením výsledku hodnotou. V procentech variační koeficient vyjadřuje z jak velké části se směrodatná odchylka podílí na aritmetickém průměru. Jestliže hodnota překročí 50 %, jedná se o vysokou nesourodost hodnot v daných naměřených hodnotách.[44][43]

V druhé části byly vyhodnoceny výsledky vzájemným porovnáním naměřených hodnot ve všech skupinách vzorků za daný svařovací čas. Kontrolní skupinou byla zvolena skupina ocelových vzorků, která měla povrch upravený pouze odmaštěním. K této skupině byly porovnávány ostatní skupiny vzorků. Cílem v této části bylo zjistit, jestli mají jednotlivé úpravy povrchu před svařováním statistický vliv na velikost síly, která byla potřeba k porušení svaru. K těmto účelům byly vybrány test významnosti rozdílu dvou rozptylů, tzv. F – test, a také test významnosti rozdílu dvou výběrových průměrů, tzv. t – test.

F – test byl použit ke zjištění, jestli má daná úprava svařovaného povrchu před svařováním významný vliv na proměnlivost naměřených hodnot. Je vypočítán jako podíl dvou rozptylů, většího rozptylu ku menšímu rozptylu. Byla brána nulová hypotéza o rovnosti dvou rozptylů. Vypočtena hodnota testovacího kritéria je porovnávána s tabulkovou kritickou hodnotou, z toho je stanoveno, jestli je možné nulovou hypotézu zamítnout nebo nikoliv.

Zvolení odpovídajícího testovacího kritéria pro nepárový t – test pro shodné a různé rozptyly, bylo stanoveno z výsledků F – testu. Testovaná je opět nulová hypotéza o rovnosti středních hodnot měření u ocelových vzorků s odmaštěným povrchem svařovacích ploch a středních hodnot měřených u vzorků s danou úpravou povrchu svarových ploch. Výsledkem testování je objasnění, jestli konkrétní úprava povrchu svařovaných plechů před svařovacím procesem má statisticky významný vliv na velikost střední hodnoty síly potřebné k porušení svarového spoje nebo nikoliv.[44]

Matematický vztah pro testovací kritérium nepárového t – testu pro shodné rozptyly vypadá takto:

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1) * s_1^2 + (n_2 - 1) * s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} * \frac{n_1 + n_2}{n_1 * n_2}}} \quad (6)$$

Ve vztahu  $\bar{x}_1$ ,  $\bar{x}_2$  znázorňují aritmetické průměry výběrů,  $n_1$  a  $n_2$  označují velikost výběru,  $s_1^2$  a  $s_2^2$  znázorňují výběrový rozptyl. Matematický vztah pro testovací kritérium nepárového t – testu pro různé rozptyly vypadá:

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (7)$$

Ve vztahu  $\bar{x}_1$ ,  $\bar{x}_2$  znázorňují aritmetický průměr výběrů,  $n_1$  a  $n_2$  jsou velikost výběru,  $s_1^2$  a  $s_2^2$  znázorňují výběrový rozptyl. Vypočítané testovací kritérium je porovnáno s kritickou hodnotou, je stanoveno, jestli je možné nulovou hypotézu zamítnout nebo nikoliv. Pro oba testy byla zvolena hladina významnosti 0,05. V programu Microsoft Excel za pomoci doplňku Analýza dat byly vyhotoveny testy významnosti rozdílu dvou rozptylů a testy významnosti rozdílu dvou výběrových průměrů.[44]

## 6.1 Jednotlivé zhodnocení

Jednotlivé zhodnocení zahrnuje zpracování a vyhodnocení naměřených dat pro danou skupinu vzorků zvlášť. Na základě zpracovaných dat byly vytvořeny grafy závislosti síly potřebné k porušení svaru na svařovacím čase. V grafech jsou vyneseny aritmetické průměry s 95 % intervalem spolehlivosti naměřených dat pro jednotlivý z dvanácti svařovacích časů. Směrodatné odchylky jsou u všech hodnot a ve všech grafech znázorněny pomocí úseček. V grafech je i znázorněna pomocí přímkou hodnota doporučeného svařovacího času výrobcem.

Ještě před samotným vyhodnocením svarových spojů byly provedeny tahové zkoušky vzorků materiálu. Byly testovány vzorky oceli a vzorky pozinkované oceli. Zkušební vzorky měly rozměry 25 mm a šířku 1,5 mm. Zkouška pevnosti materiálu byla provedena na zkušebním univerzálním stroji ZDM 5/51. Výsledky tahové zkoušky obou materiálů jsou uvedeny v tabulce č. 9.

Tabulka 9 – Výsledky tahové zkoušky

Ocel			Pozinkovaná ocel		
N	Rozměr	FH [N]	N	Rozměr	FH [N]
1	25,03x1,50	11750	1	25,08x1,50	14250
2	25,10x1,50	11900	2	25,03x1,50	14250
3	25,09x1,50	11800	3	25,08x1,50	14300
4	25,10x1,50	12000	4	25,09x1,50	14200

Zdroj: Vlastní

Z tabulky je vidět, že povrchová úprava zinkováním zvyšuje mechanické vlastnosti ocelového plechu, především jeho únosnost. Díky tomuhle poznatku bylo předpokládáno, že porušení svarových spojů u vzorků z odmaštěné pozinkované oceli nastane ve svarové čočce.

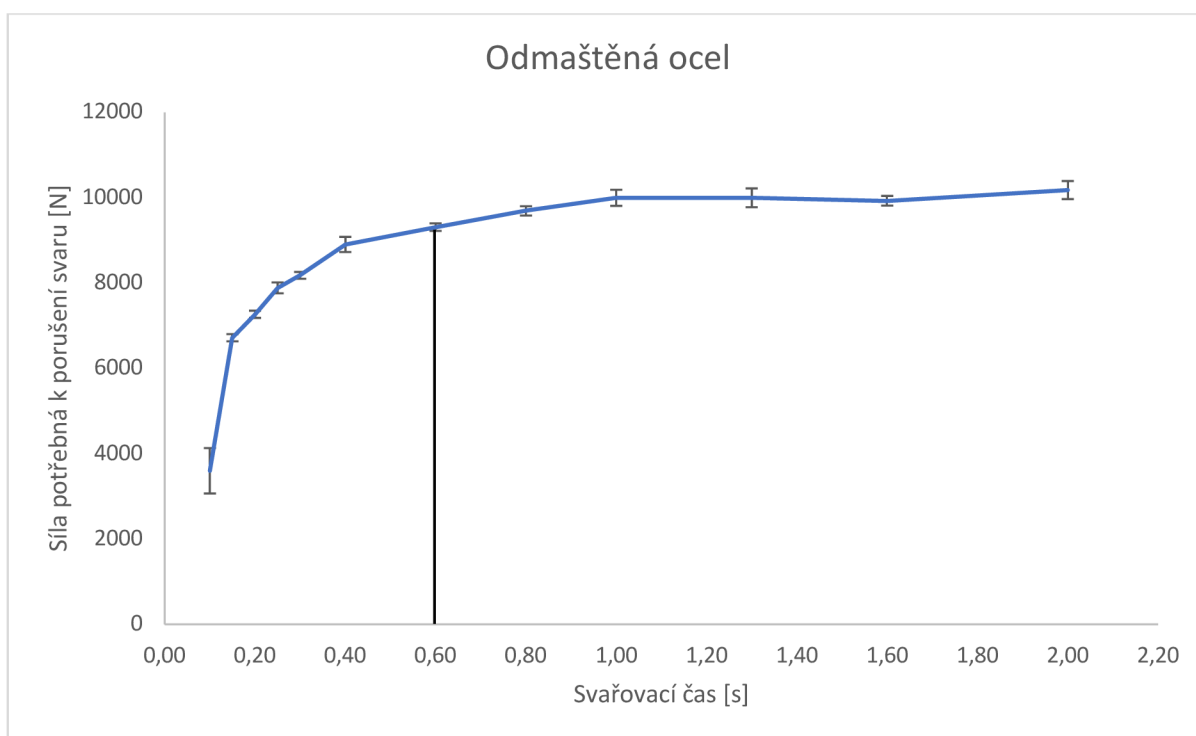
#### 6.1.1 Skupina č. 1 – vzorky oceli s odmaštěným povrchem

Na obrázku 33 je znázorněn graf závislosti velikosti síly potřebné na porušení svaru na svařovacím čase pro vzorky oceli s odmaštěným povrchem svařovacích ploch. V rozmezí svařovacích časů 0,10 s a 0,15 s nastává významný nárůst síly potřebné k porušení svarového spoje. Od svařovacího času 0,15 s do svařovacího času 1,00 s síla potřebná k porušení svaru postupně vzrůstá. Při svařovacím čase 1,00 s a 1,30 s vidíme z grafu, že průměrná síla vzrostla na hodnotu 10000 N. Od času 1,30 s do času 1,60 s nastává zanedbatelný pokles síly. Maximální potřebná průměrná síla na porušení svarového spoje nastává při svařovacím čase 2,00 s a nabývá hodnoty 10181 N. Výrobce svařovacího zařízení udává jako optimální hodnotu svařovacího času 0,60 s pro svařování plechů o tloušťce 1,5 + 1,5 mm. V tomto svařovacím čase byla naměřena průměrná síla potřebná na porušení svaru 9313 N při směrodatné odchylce 88 N a variační koeficient 0,94 %.

Porušení svarového spoje nastala v 9 % v místě svarové čočky, zbytek vzorků tedy 91 % bylo porušeno v místě tepelně ovlivněné oblasti. Porušení v místě svarové čočky bylo sledováno do svařovacího času 0,15 s, zde nastalo porušení svarového spoje v místě svarové čočky pouze v jednom případě. Od svařovacího času 0,20 s nastalo porušení svaru pouze v místech teplem ovlivněné oblasti. Z grafu je možné vidět, že nárůst síly potřebné k porušení svarového spoje, již není od času 0,20 s tak výrazné a pozvolně se navyšuje.



Obrázek 33 – Graf závislosti síly potřebné k porušení svaru na svařovacím čase pro odmaštěnou ocel



Zdroj: Vlastní

Veškeré vypočítané statistické charakteristiky polohy a variability naměřených hodnot jsou uvedeny v tabulce 10. Z tabulky lze vidět, že vypočtené hodnoty směrodatné odchylky a variačního koeficientu prokazují, že schopnost aritmetického průměru reprezentovat úroveň naměřených hodnot sledované síly pro jednotlivé svařovací časy je velmi dobrá. Pouze svařovací čas 0,10 s tvoří výjimku, kde variační koeficient byl 14,77 %. Svařovací čas 0,10 s není doporučován k využití v praxi z důvodu nízké únosnosti svaru a vysokého variačního koeficientu.

Z výsledků hodnot pro odmaštěný povrch oceli vidíme, že nevznikají veliké směrodatné odchylky a důsledkem toho je nízký variační koeficient. Jediným případem, kdy je variační koeficient vysoký je první svařovací čas, jak je uvedeno výše. Jinak lze vidět, že pouze odmaštěný povrch je schopný zaručit pro stejnou jakost materiálu a za stejný svařovací čas stejnou jakost svarových spojů.

Tabulka 10 – Výsledky experimentu pro vzorky s odmaštěným povrchem

Svařovací čas [s]	Aritmetický průměr [N]	Výběrová směrodatná odchylka [N]	Variační koeficient [%]	Svařeno	Porušení ve svarové čočce	Porušení základního materiálu
0,10	3600	532	14,77	8	8	0
0,15	6719	84	1,25	8	1	7
0,20	7269	84	1,16	8	0	8
0,25	7888	127	1,62	8	0	8
0,30	8181	80	0,98	8	0	8
0,40	8906	178	2,00	8	0	8
<b>0,60</b>	<b>9313</b>	<b>88</b>	<b>0,94</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>8</b>
0,80	9694	108	1,12	8	0	8
1,00	10000	189	1,89	8	0	8
1,30	10000	220	2,20	8	0	8
1,60	9931	113	1,14	8	0	8
2,00	10181	212	2,08	8	0	8

Zdroj: Vlastní

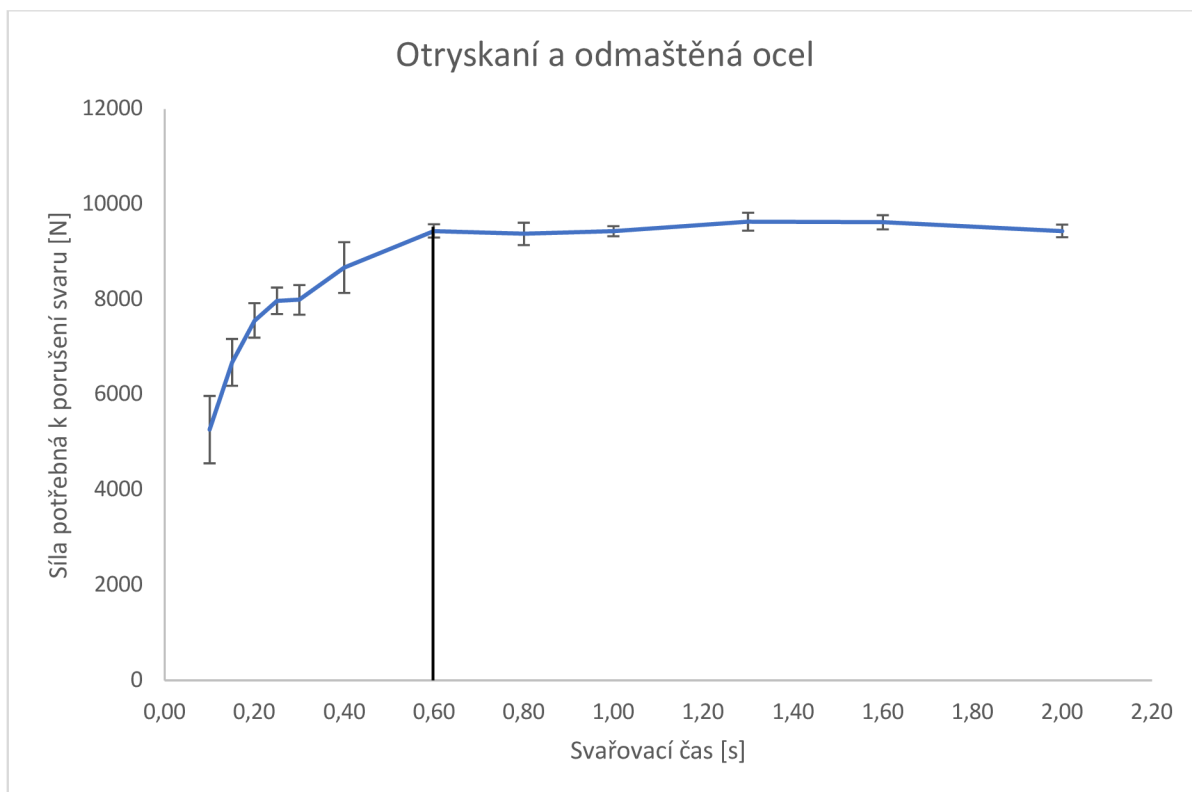
### 6.1.2 Skupina č. 2 – vzorky oceli s odmaštěným otryskaným povrchem

Na obrázku 34 je znázorněn graf závislosti síly potřebné k porušení svarového spoje na svařovacím čase. Z grafu lze vyčíst, že od svařovacího času 0,10 s do svařovacího času 0,15 s nastává k významný nárůstu síly potřebné pro porušení svarového spoje. U svařovacích časů v rozmezí 0,15 s až po svařovací čas 0,25 s stále potřebná síla pro porušení svarového spoje stále roste, sice už ne s tak strmým nárůstem jako v předchozím případě, ale stále roste. V čase 0,25 s a 0,30 s síla potřebná k porušení svaru v aritmetickém průměru má minimální rozdíl hodnoty. V rozmezí svařovacích časů 0,30 s a 1,30 s opět potřebná síla začíná postupně vzrůstat. Od času 1,30 s do času 2,00 s začala síla potřebná na porušení se podstatně nemění. Podle výrobce svařovacího zařízení je optimální svařovací čas 0,60 s, při tomto čase nastalo porušení svaru při průměrné síle 9444 N, výběrová směrodatná odchylka měla hodnotu 140 N a variační koeficient měl hodnotu 1,48 %.

Ze všech 96 vzorků nastalo v 70 % k porušení svarového spoje v místě tepelně ovlivněné oblasti základního materiálu. Ve zbylých 30 % nastalo porušení ve svarové čočce. K porušení svarového spoje v místě svarové čočky nastávala až do svařovacího času 0,40 s. Při tomto čase

nastalo porušení v místě svarové čocky u poloviny vzorků, tedy u čtyř vzorků. Pro zbylé svařovací časy docházelo k poškození vzorků výhradně v tepelně ovlivněné oblasti.

Obrázek 34 – Graf závislosti síly potřebné k porušení svaru na svařovacím čase pro otryskanou a odmaštěnou ocel



Zdroj: Vlastní

V tabulce 11 jsou zmíněny všechny statistické charakteristiky polohy a variability. Vypočtené hodnoty směrodatné odchylky a variačního koeficientu dokládají nízkou rozptýlenost naměřených hodnot kolem jejich aritmetického průměru. Pouze svařovací časy 0,10 s, 0,15 s a 0,40 s jsou výjimkou, jejich variační koeficienty jsou přes 5 %, přesněji pro čas 0,10 s je variační koeficient 13,44 %, pro 0,15 s je variační koeficient 7,36 % a pro čas 0,40 s je variační koeficient 6,15 %. Svařovací čas 0,10 s není opět doporučován k využití v praxi, jelikož velikost variačního koeficientu je vysoká.

Z výsledků hodnot dané skupiny vidíme, že ani u této skupiny nejsou velké směrodatné odchylky ani variační koeficient, až tedy na dva případy, kdy u času 0,10 s je směrodatná odchylka 708 N a směrodatná odchylka 13,44 % a dále u času 0,40 s je směrodatná odchylka 534 N a variační koeficient je 6,15 %, což není tak daleko od hodnoty 5 %. U zbylých hodnot jsou variační koeficienty nižší než 5 %. Úprava svařovaného povrchu otryskáním a následným očištěním a odmaštěním také zaručuje velmi dobrou únosnost svarových spojů pro stejnou jakost materiálu a stejný svařovací čas.

Tabulka 11 – Výsledky experimentu pro vzorky s otryskaným a odmaštěným povrchem

Svařovací čas [s]	Aritmetický průměr [N]	Výběrová směrodatná odchylka [N]	Variační koeficient [%]	Svařeno	Porušení ve svarové čočce	Porušení základního materiálu
0,10	5269	708	13,44	8	8	0
0,15	6681	492	7,36	8	4	4
0,20	7563	362	4,79	8	3	5
0,25	7975	278	3,48	8	3	5
0,30	7994	311	3,89	8	7	1
0,40	8674	534	6,15	8	4	4
<b>0,60</b>	<b>9444</b>	<b>140</b>	<b>1,48</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>8</b>
0,80	9381	234	2,50	8	0	8
1,00	9438	106	1,12	8	0	8
1,30	9638	189	1,96	8	0	8
1,60	9625	149	1,55	8	0	8
2,00	9444	132	1,40	8	0	8

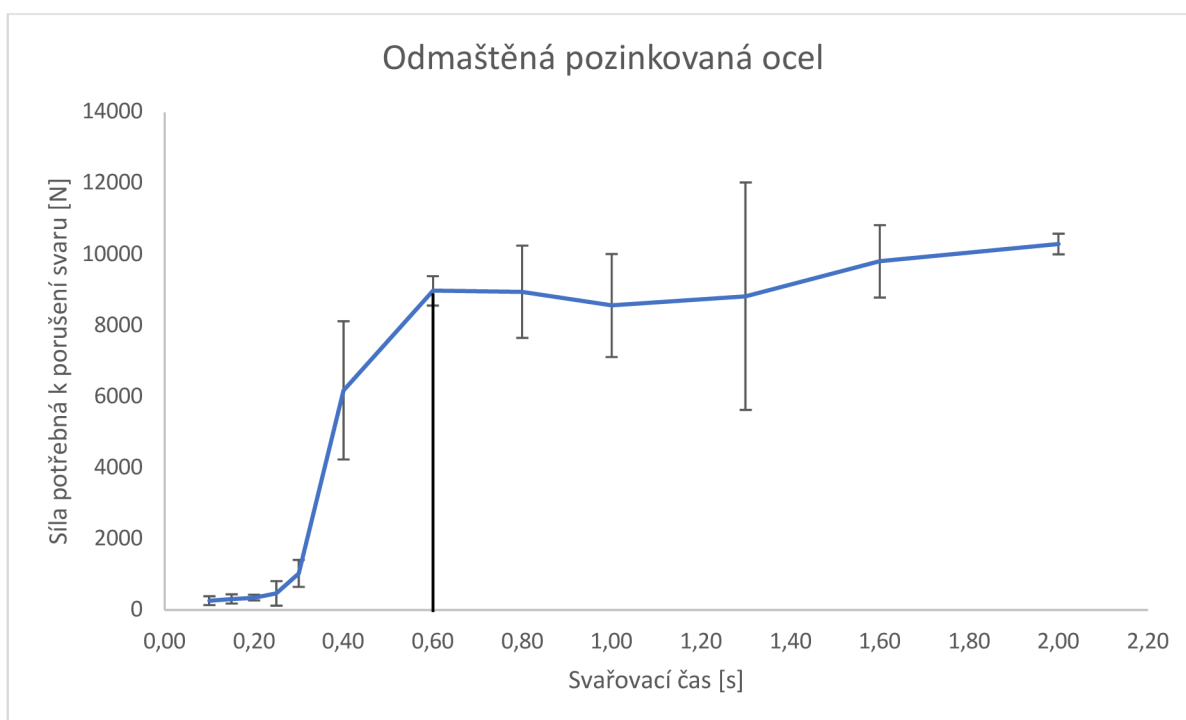
Zdroj: Vlastní

### 6.1.3 Skupina č. 3 – vzorky oceli s pozinkovaným odmaštěným povrchem

Graf znázorňující závislost síly potřebné k destrukci svarového spoje na svařovacím čase pro odmaštěnou pozinkovanou ocel je znázorněn na obrázku 35. Z grafu lze vidět, že síla potřebná na destrukci svarového spoje je velmi nízká až do svařovacího času 0,30 s. Od času 0,30 s do času 0,40 s lze vidět, že nastal významný nárůst síly. Další významný nárůst velikosti síly je od svařovacího času 0,40 s do času 0,60 s. Pro další časy, což jsou časy 0,60 s až 2,00 s lze vidět, že síla potřebná na porušení svaru stoupá pozvolna. Pro optimální čas, který udává výrobce zařízení, tedy čas 0,60 má síla hodnotu 8981 N, směrodatná odchylka nabývá hodnoty 413 N a variační koeficient je 4,60 %.

K destrukci základního materiálu v místě tepelně ovlivněné oblasti došlo ve 27 %. Naopak v 73 % došlo k rozpojení plechů ve svarové čočce. První porušení v místě tepelně ovlivněné oblasti se objevuje u svařovacího času 0,80 s, kdy tento stav nastal u jednoho vzorku z osmi. Do té doby docházelo výhradně k porušení ve svarové čočce. Při svařovacím čase 1,60 s se naposledy objevuje porušení vzorku ve svaru, to vzniklo pouze u jednoho vzorku z osmi.

Obrázek 35 – Graf závislosti síly potřebné k porušení svaru na svařovacím čase pro pozinkovanou ocel



Zdroj: Vlastní

Tabulka 12 uvádí hodnoty statistické charakteristiky polohy a variability pro vzorky s pozinkovaným povrchem. Zde lze vidět, že u těchto vzorků jsou hodnoty směrodatné odchylky velmi vysoké. Tím pádem je i velká hodnota variačního koeficientu. Značí to veliký rozptyl hodnot kolem aritmetického průměru. Výjimku tvoří dva svařovací časy, čas 0,60 s a 2,00 v oba tyto časy mají variační koeficient pod 5 %. Při svařovacím čase 0,60 s je variační koeficient 4,60 %. Pro čas 2,00 s je variační koeficient 2,82 %.

Z výsledků vidíme, že zinek nanesený na povrchu svarových ploch velmi ovlivňuje proces svařování a celkovou únosnost svarové čochky. Důsledkem toho jsou při nízkých svařovacích časech nízké síly potřebné na destrukci svaru, dále vidíme, že kvůli pozinkovanému povrchu je vysoká směrodatná odchylka a následně vysoký variační koeficient. To značí, že při stejné jakosti materiálu a stejném svařovacím čase vznikne různá únosnost svarového spoje a tím pádem i různá únosnost svarového spoje. Důvodem, proč vzniklo více destrukcí ve svarové čochce je, že pozinkovaná ocel má mnohem vyšší pevnost než běžná ocel.

Tabulka 12 – Výsledky experimentu pro odmaštěné pozinkované vzorky

Svařovací čas [s]	Aritmetický průměr [N]	Výběrová směrodatná odchylka [N]	Variační koeficient [%]	Svařeno	Porušení ve svarové čočce	Porušení základního materiálu
0,10	263	125	47,48	8	8	0
0,15	313	130	41,68	8	8	0
0,20	350	80	22,91	8	8	0
0,25	469	345	73,67	8	8	0
0,30	1031	380	36,83	8	8	0
0,40	6181	1944	31,46	8	8	0
<b>0,60</b>	<b>8981</b>	<b>413</b>	<b>4,60</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>0</b>
0,80	8956	1298	14,49	8	4	4
1,00	8569	1449	16,91	8	6	2
1,30	8831	3200	36,23	8	2	6
1,60	9813	1020	10,39	8	2	6
2,00	10300	290	2,82	8	0	8

Zdroj: Vlastní

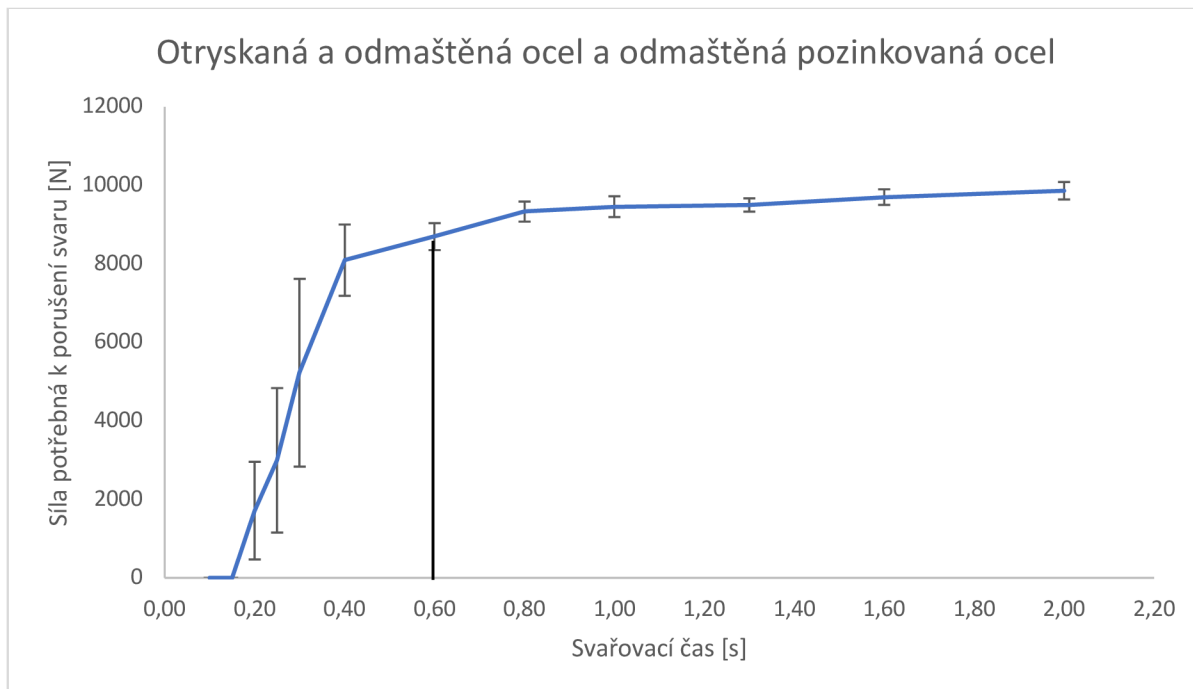
#### 6.1.4 Skupina č. 4 – vzorky oceli s odmaštěným otryskaným povrchem a vzorky oceli s pozinkovaným odmaštěným povrchem

Z obrázku 36, na kterém je znázorněn graf závislosti síly potřebné na porušení svarového spoje na svařovacím čase pro odmaštěnou otryskanou ocel a odmaštěnou pozinkovanou ocel, lze vidět progres síly potřebné na porušení svarového spoje. V časech 0,10 s a 0,15 s vidíme, že svařované vzorky nebylo možné ani svařit. Od času 0,20 s po čas 0,40 s výrazně narůstá síla potřebná na destrukci svaru. Mezi časy 0,40 s a 0,80 s stále síla roste, ale už ne tak výrazným způsobem. Od času 0,80 s až do času 2,00 s síla stále roste, ale její nárůst je již pozvolný. Ve svařovacím čase doporučeným výrobcem svařovacího zařízení dosahuje síla průměrné hodnoty 8694 N, směrodatná odchylka má hodnotu 344 N a variační koeficient je 3,95 %.

V 18 % nebylo možné vzorky svařit. U 40 % nastalo porušení vzorků ve svarové čočce. Destrukce ve svarové čočce nastávala do svařovacího času 0,80 s, kdy tato situace nastala u jednoho vzorku z osmi. Do času 0,80 s nastávala porušení především v místě svarové čočky. V dalších svařovacích časech nastávalo porušení základního materiálu v místě tepelně ovlivněné oblasti, v procentech tato situace nastala v 43 %. Poprvé byla zaznamenána u času

0,40 s, kdy tato situace nastala u jednoho vzorku z osmi. Od svařovacího času 0,80 s nastává pokaždé porušení základního materiálu v místě tepelně ovlivněné oblasti.

Obrázek 36 – Graf závislosti síly potřebné k porušení svaru na svařovacím čase pro otryskanou a odmaštěnou ocel a odmaštěnou pozinkovanou ocel



Zdroj: Vlastní

V tabulce 13 jsou zaneseny statistické charakteristiky polohy a variability naměřených hodnot. V tabulce vidíme, že pro svařovací časy 0,10 s a 0,15 s jsou veškeré hodnoty rovny nule z důvodu nesvařitelnosti vzorků. Dále vidíme, že ve čtyřech případech variační koeficient velmi překračuje hodnotu 5 %. Rozptýl hodnot kolem aritmetického průměru je dost veliký. Jedná se o časy 0,20 s, 0,25 s, 0,30 s a 0,40 s. V daných časech jdou hodnoty variačního koeficientu 72,66 % pro čas 0,20 s, 61,45 % pro čas 0,20 s, 45,78 % pro čas 0,25 s a 11,23 % pro čas 11,23 %. Ve zbylých případech vychází variační koeficient do 5 %.

Podle vyhodnocených výsledků vidíme, že vzorky v prvních dvou časech nebylo možné svařit. Lze vidět, že zinek i v tomto případě ovlivňuje jakost svarového spoje. Až do svařovacího času 0,40 s zinek významně ovlivňuje jakost svarového spoje i v kombinaci s otryskaným povrchem. Směrodatná odchylka byla vysoká, a to opět vykazuje o tom, že pro stejnou jakost materiálu a stejný svařovací čas je jakost svarových spojů je odlišná. Od svařovacího času 0,60 s se směrodatná odchylka snížila a variační koeficient byl hodnotou pod 5 %. Značí to vyšší únosnost svarových spojů pro stejné svařovací časy. Svařovací časy 0,10 s až 0,40 s nelze



doporučit pro využití v praxi. Při těchto časech je vysoký variační koeficient, což značí rozdílnou únosnost svarového spoje v daném čase.

Tabulka 13 – Výsledky experimentu pro otryskané a odmaštěné vzorky a odmaštěné pozinkované vzorky

Svařovací čas [s]	Aritmetický průměr [N]	Výběrová směrodatná odchylka [N]	Variační koeficient [%]	Svařeno	Porušení ve svarové čočce	Porušení základního materiálu
0,10	0	0	0	0	0	0
0,15	0	0	0	0	0	0
0,20	1713	1244	72,66	7	7	0
0,25	2994	1840	61,45	8	8	0
0,30	5225	2392	45,78	8	8	0
0,40	8094	909	11,23	8	6	2
<b>0,60</b>	<b>8694</b>	<b>344</b>	<b>3,95</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>0</b>
0,80	9331	256	2,75	8	1	7
1,00	9456	265	2,80	8	0	8
1,30	9500	169	1,78	8	0	8
1,60	9700	198	2,04	8	0	8
2,00	9863	223	2,26	8	0	8

Zdroj: Vlastní

#### 6.1.5 Skupina č. 5 – vzorky oceli s odmaštěným povrchem a vzorky s odmaštěným pozinkovaným povrchem

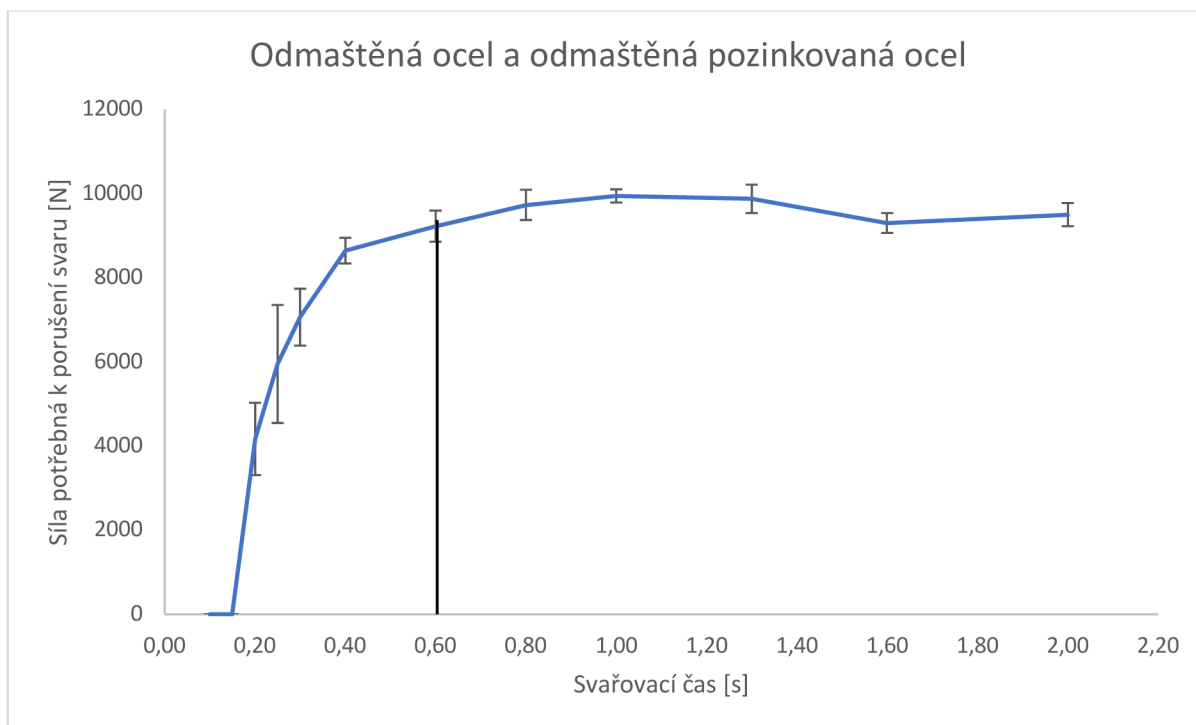
Na obrázku 37 je graf závislosti síly potřebné k porušení svarového spoje na svařovacím čase pro odmaštěnou ocel a odmaštěnou pozinkovanou ocel. Z grafu je možné vyčíst, že v časech 0,10 s a 0,15 s je hodnota síly 0 N. To je způsobeno opět nemožností svařit vzorky. Od času 0,15 s do času 0,40 s průměrná hodnota síly strmě stoupá. Mezi časy 0,40 s a 1,00 s průměrná síla pozvolně stoupá. Ovšem od času 1,00 s do času 1,60 s průměrná síla nepatrně klesla. Ale v následujícím svařovacím čase opět průměrná síla vzrostla. Pro optimální hodnotu svařovacího času, kterou udává sám výrobce a stanovil ji na hodnotu 0,60 s, tak průměrná síla má hodnotu 9225 N při směrodatné odchylce 369 N a variačním koeficientu 4 %.

Opět nastal problém nesvařitelnosti vzorků za nízkých svařovacích časů, a to v čase 0,10 s a 0,15 s, tyto vzorky tvoří 17 % ze všech vzorků pro danou skupinu. V 33 % nastalo porušení vzorků v místě svarové čočky. Tento trend byl zaznamenán výhradně u svařovacích časů do hodnoty 0,30 s. Avšak porušení ve svarové čočce se objevovalo až do svařovacího času 0,60 s.



s, kde byl rozpad ve svarové čočce objeven u tří vzorků z osmi. Od svařovacího 0,80 s nastalo výhradně porušení svarových spojů v místech tepelně ovlivněné oblasti poškozením základního materiálu. Celkem se objevilo dané porušení u 50 % vzorků. Poprvé se objevilo porušení základního materiálu v místě tepelně ovlivněné oblasti při svařovacím čase 0,40 s a bylo objeveno u třech vzorků z osmi.

Obrázek 37 – Graf závislosti síly potřebné k porušení svaru na svařovacím čase pro odmaštěnou ocel a odmaštěnou pozinkovanou ocel



Zdroj: Vlastní

Tabulka 14 obsahuje statistické charakteristiky polohy a variability naměřených hodnot pro skupinu odmaštěné oceli a pozinkované oceli. Z tabulky je možné vyčíst, že pro první dva svařovací časy se veškeré hodnoty rovnají nule. To je způsobeno nemožností za daných časů vzorky svařit. V čase 0,20 s je variační koeficient 20,62 %, v čase 0,25 s je variační koeficient 23,59 %, což není úplně dobrá situace a ani čas 0,30 s na tom není nejlépe, ale tam je zaznamenána hodnota variačního koeficientu 9,56 %. Pro zbytek svařovacích časů je variační koeficient nižší než 5 %, což ukazuje velmi dobrou reprezentaci pomocí aritmetického průměru.

Z uvedených výsledků vidíme, že chování svarových spojů v případě kombinace odmaštěné oceli a odmaštěné pozinkované oceli má podobný průběh a charakter jako u předchozí skupiny vzorků. Vidíme, že od určitého svařovacího času se zlepšuje únosnost svaru.

Tabulka 14 – Výsledky experimentu pro odmaštěné vzorky a odmaštěné pozinkované vzorky

Svařovací čas [s]	Aritmetický průměr [N]	Výběrová směrodatná odchylka [N]	Variační koeficient [%]	Svařeno	Porušení ve svarové čočce	Porušení základního materiálu
0,10	0	0	0	0	0	0
0,15	0	0	0	0	0	0
0,20	4169	860	20,62	8	8	0
0,25	5950	1403	23,59	8	8	0
0,30	7063	675	9,56	8	8	0
0,40	8644	304	3,52	8	5	3
<b>0,60</b>	<b>9225</b>	<b>369</b>	<b>4,00</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>5</b>
0,80	9731	360	3,70	8	0	8
1,00	9944	157	1,58	8	0	8
1,30	9875	339	3,43	8	0	8
1,60	9300	236	2,54	8	0	8
2,00	9500	276	2,91	8	0	8

Zdroj: Vlastní

## 6.2 Celkové zhodnocení

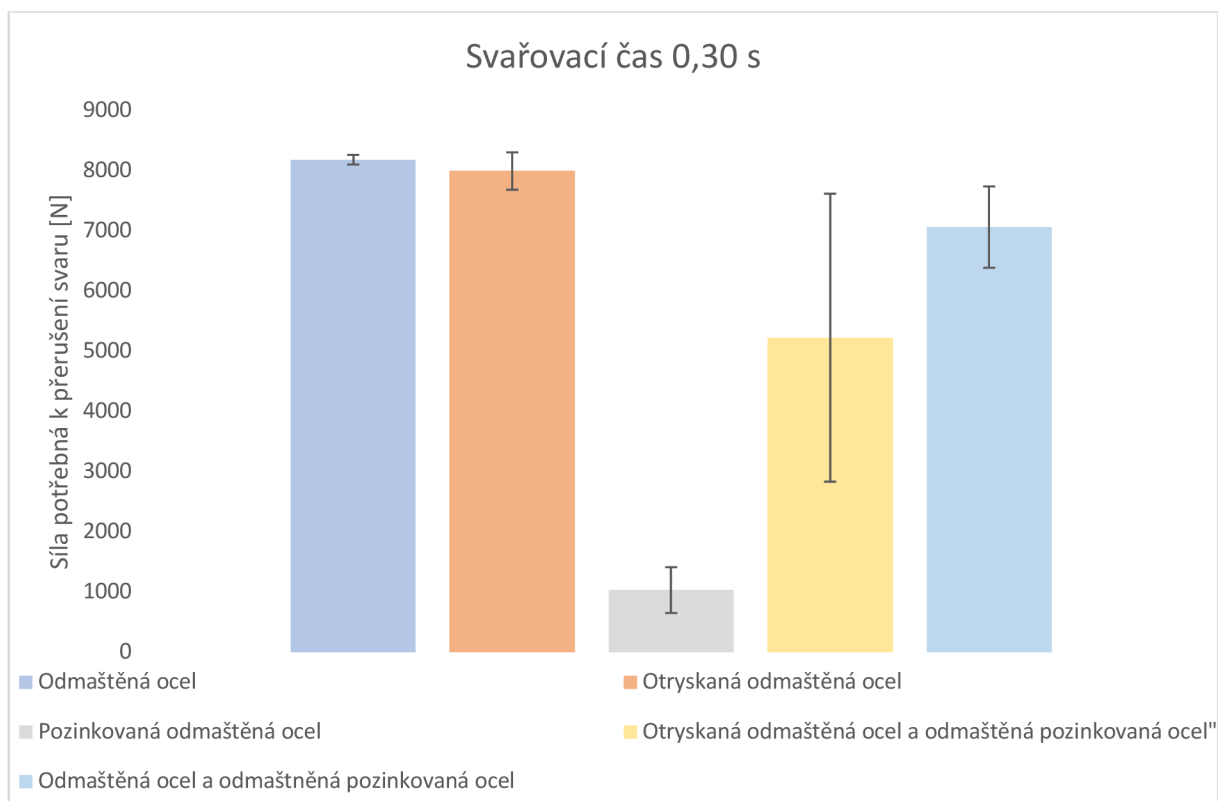
V této části bylo provedeno testování za účelem vyjádřit, jestli mají dané způsoby úpravy povrchu před svařováním statistický vliv na velikost síly, která je potřebná k porušení svarového spoje. Testování bylo provedeno pro svařovací časy 0,30 s, 0,60 s a 1,30 s. Tyto časy byly vybrány z důvodu, že 0,60 s je doporučený svařovací čas od výrobce, 0,30 s je polovina doporučeného svařovacího času a svařovací čas 1,30 s je dvojnásobek doporučeného svařovacího času. Naměřené hodnoty byly vyneseny do grafu souhrnného porovnání hodnot pro vybrané svařovací časy. V grafu je vyjádřen aritmetický průměr a 95 % interval spolehlivosti naměřených hodnot pro danou skupinu vzorků. I v této části jsou směrodatné odchylky znázorněny u všech hodnot ve všech grafech pomocí úseček. Jako kontrolní skupina vzorků byly zvoleny vzorky s odmaštěným povrchem

### 6.2.1 Srovnání hodnot pro svařovací čas 0,30 s

Na obrázku 38 je znázorněný graf souhrnného porovnání naměřených hodnot pro dané skupiny vzorků v čase 0,30 s. Z porovnávání naměřených hodnot skupin vzorků oceli s odmaštěným povrchem svarových ploch a vzorky oceli s odmaštěným otryskaným povrchem svarových ploch, je možné na základě výsledku testu významnosti rozdílu dvou výběrových rozptylů

zamítnout nulovou hypotézu. Z výsledků, které vyšly z testu významnosti rozdílů dvou výběrových průměrů, bylo zjištěno, že otryskaný povrch svarových ploch nevedl ke statisticky významnému snížení střední hodnoty síly potřebné k porušení svaru. Síla se snížila o 2,3 %.

Obrázek 38 – Graf souhrnného porovnání naměřených hodnot pro svařovací čas 0,30 s



Zdroj: Vlastní

Při porovnávání skupin vzorků s odmaštěným pozinkovaným povrchem svarových ploch s kontrolními vzorky, byla zjištěna statisticky významná změna výběrových směrodatných odchylek, a tudíž může být zamítnuta nulová hypotéza. Výsledky testu rozdílu dvou výběrových středních hodnot říkají, že bylo nalezeno statisticky významné snížení střední hodnoty síly o 87,4 %.

Kombinace svařením vzorků oceli s odmaštěným otryskaným povrchem a odmaštěným pozinkovaným povrchem svarových ploch vede k vzhledem ke kontrolní skupině vzorků k statisticky významnému zvýšení rozptylu, ale i k významnému snížení střední hodnoty síly potřebné k porušení svarových spojů o 36,1 %.

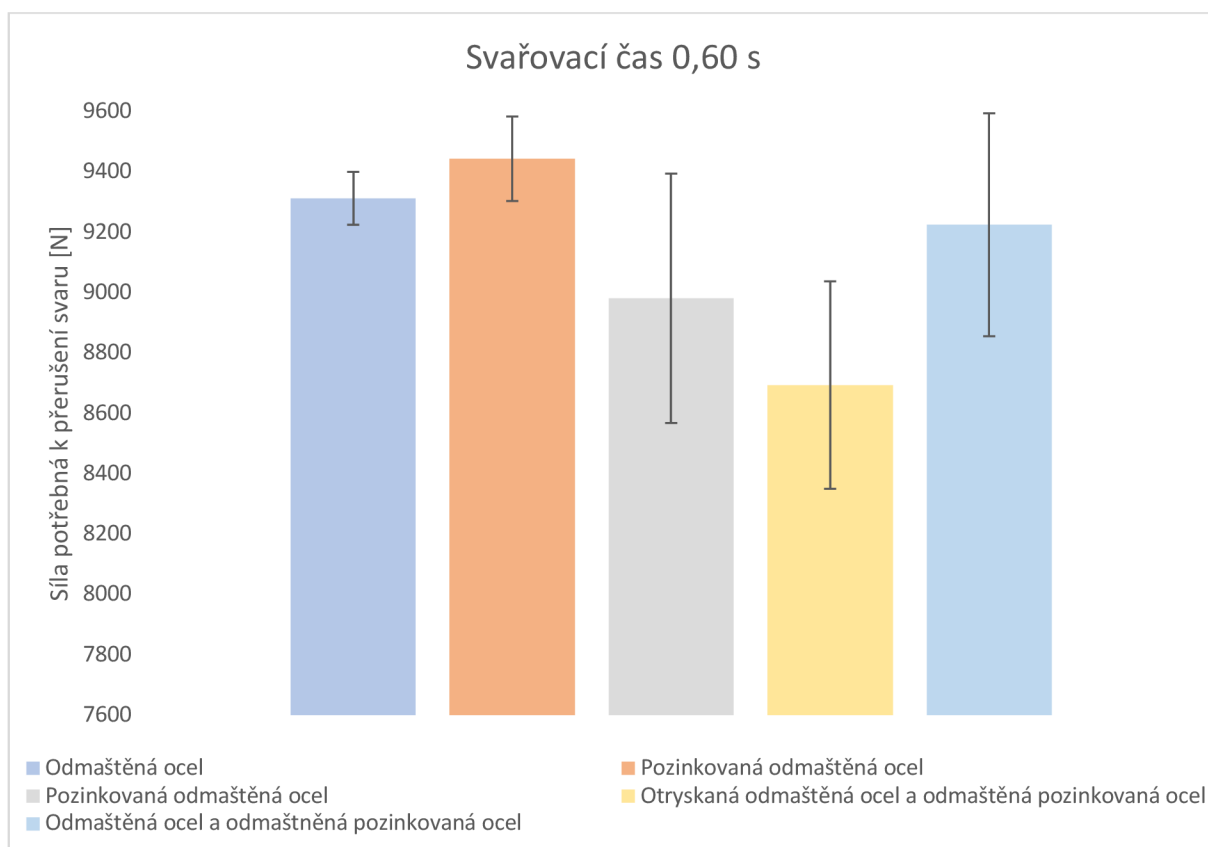
Porovnáváním výsledků měření u vzorků, kde jsou plochy pozinkovány a odmaštěny s kontrolními vzorky, lze na základě výsledků testů významnosti rozdílů dvou výběrových rozptylů říci, že je možné zamítnout nulovou hypotézu. Následným testem významnosti rozdílů

dvou výběrových průměrů, že úprava povrchů má statisticky významný vliv na snížení průměru síly potřebné k porušení svaru o 13,7 %.

#### 6.2.2 Srovnání hodnot pro svařovací čas 0,60 s

Obrázek 39 znázorňuje, jak byla změněna průměrná síla potřebná k porušení svarového spoje podle způsobu úpravy svařovaného povrchu před samotným svařovacím procesem při svařovacím čase 0,60 s. Při porovnávání výsledků měření u vzorků oceli s otryskaným odmaštěným povrchem svařovacích ploch s kontrolními vzorky, není možné na základě výsledků testu významnosti rozdílu dvou výběrových směrodatných odchylek zamítnout nulovou hypotézu. Mezi hodnotami směrodatných odchylek není statisticky významný rozdíl. Pomocí testu rozdílu dvou výběrových středních hodnot bylo zjištěno, že úprava svařovaných ploch otryskáním má statistický významný vliv na zvýšení hodnoty síly potřebné k porušení svaru. Střední hodnota se zvýšila o 1,4 %.

Obrázek 39 – Graf souhrnného porovnání naměřených hodnot pro svařovací čas 0,60 s



Zdroj: Vlastní

V případě skupiny vzorků oceli s pozinkovaným odmaštěným povrchem porovnávaných s kontrolní skupinou vzorků, bylo z výsledků vyčteno, že zinková úprava povrchu má statisticky významný vliv na variabilitu naměřených hodnot. Z výsledků testu významnosti

dvou výběrových průměrů, je možné zamítnout nulovou hypotézu. Tato úprava svařovaného povrchu má statistický vliv na snížení hodnoty průměru síly o 3,56 %.

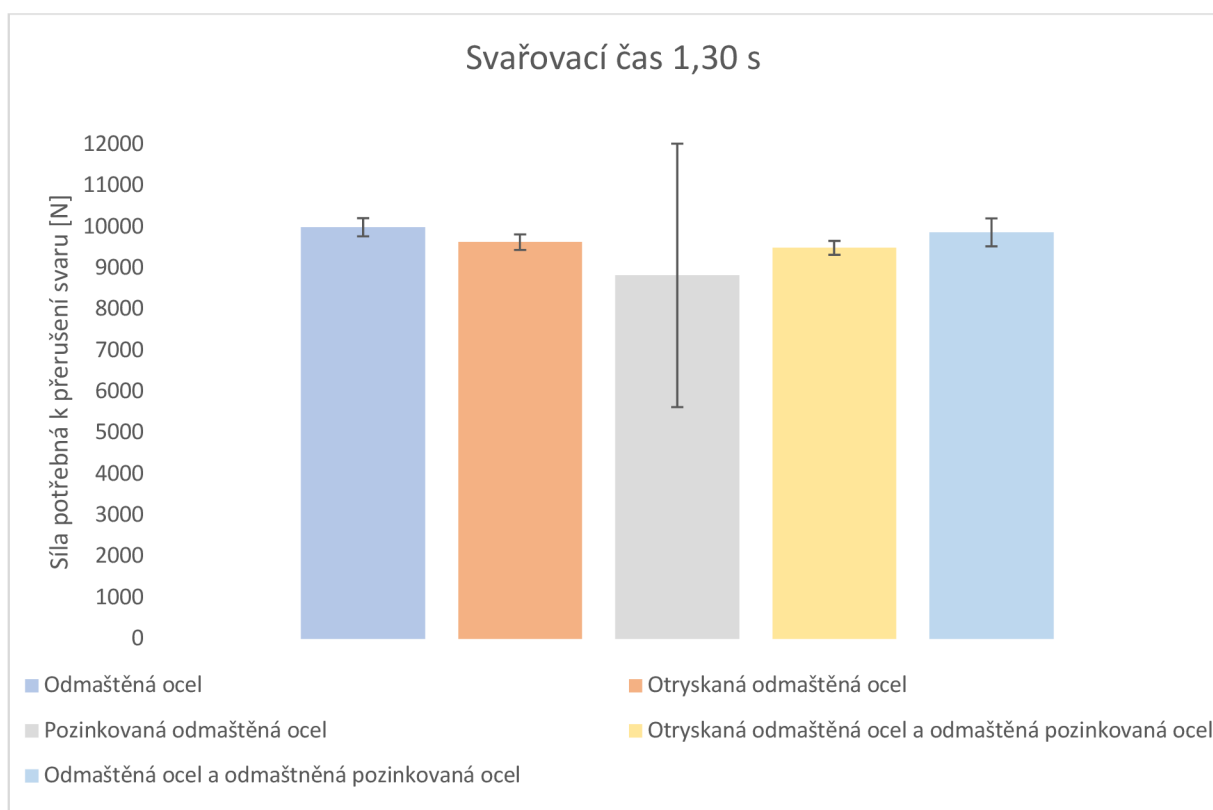
Otestováním skupiny vzorků oceli s otryskaným odmaštěným povrchem a pozinkovaným odmaštěným povrchem se skupinou kontrolních vzorků, že tato kombinace úpravy povrchů nezpůsobuje statisticky významné změny rozptylu naměřených dat. Z výsledků z testu významnosti rozdílu dvou výběrových středních hodnot, lze zamítnout nulovou hypotézu. Tato kombinace úpravy svařovaných povrchů má významný statistický vliv na snížení střední hodnoty síly potřebné k porušení svarového spoje o 6,6 %.

U poslední skupiny porovnávané s kontrolní skupinou vzorků byl zjištěn statisticky významný vliv z výsledků testu významnosti rozdílu dvou výběrových variabilit. I zde byl proveden test významnosti dvou výběrových průměrů. Podle výsledků nemá statisticky významný vliv daná úprava na snížení velikosti síly o 0,9 %.

#### 6.2.3 Srovnání hodnot pro svařovací čas 1,30 s

Obrázek 40 ilustruje změnu střední hodnoty síly potřebné k porušení svaru podle úpravy svařovaného povrchu před svařovacím procesem pro svařovací čas 1,30 s. Příprava povrchu otryskáním a odmaštěním nepřinesla vzhledem ke kontrolní skupině vzorků statisticky významný vliv na změnu hodnot směrodatné odchylky. Ovšem způsobila statisticky významnou změnu u hodnot střední hodnoty síly potřebné k porušení svarového spoje. Síla byla snížena o 3,6 %.

Obrázek 40 – Graf souhrnného porovnání naměřených hodnot pro svařovací čas 1,30 s



Zdroj: Vlastní

Vzorky s povrchem upraveným pomocí zinku vykázaly oproti kontrolním vzorkům opak oproti předešlé skupině vzorků. Zde byl statisticky významný vliv úpravy povrchu na změnu variability naměřených hodnot, ale nebyl zde statisticky významný vliv na změnu velikosti průměru síly potřebné k porušení svaru. Síla se opět snížila, teď o 11,7 %.

Skupina předposledních vzorků přinesla statisticky významnou změnu ohledně velikosti střední hodnoty síly s kontrolní skupinou. Hodnota síly klesla o 5 %. Změna nastala u směrodatné odchylky, kde se nejednalo o statisticky významný vliv a nulovou hypotézu z tohoto důvodu nebylo možné zamítnout.

Poslední skupina vzorků při stejném svařovacím čase nepřinesla v porovnání s kontrolní skupinou vzorků statisticky významný rozdíl rozptylu naměřených hodnot a ani průměru síly požadované k porušení svarového spoje.

### 6.3 Porovnání s předchozími experimenty

Porovnání výsledků bylo provedeno pouze se závěrečnou prací Bodové svařování odporových plechů, kterou vytvořil Tomáš Balihar. V ostatních pracích byly prováděny experimenty odlišnými způsoby. V závěrečné práci Tomáše Balihara byly také zkoušeny vzorky oceli

s odmaštěným povrchem a dále vzorky oceli s odmaštěným a otryskaným povrchem. Balihar prováděl stříhovou zkoušku na univerzálním zkušebním stroji LabTest 5.50ST od výrobce LaborTech s.r.o.

Při porovnávání výsledků bylo zjištěno, že mezi experimenty není statisticky významný rozdíl. U doporučeného času výrobcem svařovacího zařízení byla zjištěna pouze nižší hodnota variačního koeficientu, která byla způsobena větším počtem svařovaných vzorků v daném svařovacím čase. Dále se hodnoty experimentů statisticky významně neliší.

Dále byly porovnány výsledky vzorků plechů s otryskaným a odmaštěným povrchem. Při porovnávání vzorků nebyla zjištěna statisticky významná změna. V čase doporučeném výrobcem svařovacího zařízení je nevýznamný rozdíl střední hodnoty síly potřebné k porušení svarového spoje, to samé platí i pro variační koeficient.

Je tedy možné sdělit, že nově získané výsledky stříhové zkoušky pro porovnávané úpravy povrchu jsou v souladu s výsledky předchozími.

## 7 Závěr

Diplomová práce byla rozdělena do dvou částí. První část byla teoretická a popisovala pomocí literární rešerše způsoby odporového svařování, které jsou využívány. Detailněji byla prozkoumána metoda odporového bodového svařování, u které byly popsány druhy bodového svařování, jeho svařovací parametry a svařovací režimy. Pomocí rešerše byly i zmíněny výhody a nevýhody bodového svařování. Výhodou je jeho velká efektivita a vysoká jakost svarových spojů, dále se dá velmi dobře nechat automatizovat. Důkazem jsou výrobní linky automobilových karoserií. Nevýhodou bodového svařování je vysoká ekonomická náročnost při pořizování a je spíše vhodné pro hromadné a sériové výroby. Dále byly popsány metody destruktivních a nedestruktivních zkoušek svarových spojů.

V druhé části diplomové práce bylo cílem stanovit velikost síly, při které dojde k porušení svarového spoje v závislosti na úpravě povrchu svařovaných ocelových plechů v místě vzniku svarového spoje a na svařovacím čase. Naměřené výsledky byly dále statisticky vyhodnocovány. Cílem bylo zjistit, zda dané úpravy povrchu svařovacích ploch před svařováním mají statistický význam na změnu rozptylu naměřených hodnot síly potřebné k porušení svarového spoje.

K účelu laboratorních zkoušek bylo vyrobeno 480 ocelových plechů o rozměrech 100 x 25 mm z ocelové tabule plechu o tloušťce 1,5 mm. Ze 480 plechů, bylo 194 ocelových plechů vystřiženo z tabule pozinkovaného plechu. Plechy byly následně rozděleny do pěti skupin. Tři skupiny byly rozděleny podle úpravy povrchu svarových ploch a další dvě byly kombinací odmaštěného pozinkovaného plechu s ocelovým plechem, který má povrchovou úpravu odmaštěním a povrchovou úpravu otryskáním a odmaštěním. Poslední dvě skupiny byly vytvořeny pro získání poznatků o chování svarových spojů pro studijní předmět Strojírenská technologie.

Dva ocelové plechy se přeplátovaly a za pomoci svařovacího zařízení, které svařovalo v měkkém režimu, vznikly vzorky svarových spojů. Svařování proběhlo ve všech 12 svařovacích časech, svařovací proud byl 6,4 kA a přitlačná síla byla nastavena přibližně na hodnotu 1,5 kN.

Svarové spoje byly zkoušeny pomocí stříhové zkoušky. Pomocí této zkoušky byla sledována hodnota síly potřebné k porušení svarového spoje a dále byly sledovány způsoby porušení. Nastávaly pouze dva typy porušení, a to porušení ve svarové čočce nebo porušení základního materiálu v místě tepelně ovlivněné oblasti. Porušení svarového spoje ve svarové čočce nastalo



v nejvíce případech u vzorků s pozinkovaným povrchem, a to až v 73 %. Naopak nejméně případů rozpadu vzorku ve svarové čočce bylo zaznamenáno u vzorků s povrchovou úpravou odmaštěním, a to pouze v 9 %.

V rámci jednotlivých skupin byly naměřené hodnoty zpracovány pomocí statistické charakteristiky variability. U skupiny č. 1 byl nejvyšší rozptyl vypočítán u svařovacího času 0,10 s, kde variační koeficient dosáhl hodnoty 14,77 %. Tento čas nebyl doporučen pro použití v praxi. Pro zbytek svařovacích časů byl variační koeficient pod 5 %. U skupiny č. 2 byl opět nejvyšší variační koeficient u svařovacího času 0,10 s, nabýval hodnoty 13,44 %. Zbytek variačních koeficientů byl kolem 5 %. Skupina č. 3 byla tvořena vzorky z odmaštěné pozinkované oceli, zde byl variační koeficient vyšší než 30 % u svařovacích časů 0,10 s, 0,15 s, 0,25 s, 0,30 s, 0,40 s a 1,30 s. U skupiny č. 4 nebylo možné u prvních dvou svařovacích časů svařit zkušební vzorky. V časech 0,20 s, 0,25 s a 0,30 s byl variační koeficient větší než 45 %. Tyto časy nebylo doporučeno využívat v praxi. U skupiny č. 5 opět nebylo možné svařit vzorky v prvních dvou svařovacích časech. Ve svařovacích časech 0,20 s a 0,25 s byl variační koeficient větší než 20 %, dále se koeficient pohyboval pod 5 %. Je možné hovořit o velmi dobré prezentaci síly potřebné k porušení svarového spoje za pomoci aritmetického průměru. Nejvyšší variabilita naměřených hodnot byla nalezena u vzorků s odmaštěným pozinkovaným povrchem, a to ve svařovacím čase 0,25 s, kdy variabilita naměřených hodnot dosáhla 73 %. Z toho vyplývá, že svařování odmaštěné pozinkované oceli v měkkém režimu není vhodné. Ve všech svařovacích časech byl rozptyl vysoký.

Celkové zhodnocení vlivu úpravy povrchu svarových ploch na velikost síly potřebné k porušení svaru bylo provedeno pro svařovací časy 0,30 s, 0,60 s a 1,30 s. Byl použit test významnosti rozdílu dvou výběrových rozptylů, tzv. F – test. Jeho výsledky zjistily, že ve svařovacích časech 0,30 s a 0,60 s byl statisticky významný vliv na variabilitu naměřených dat. V čase 1,30 s nebyl statisticky významný vliv na rozptyl naměřených dat. Průměry byly testovány pomocí testování rozdílu dvou výběrových průměrů, tzv. t – test. Jeho výsledky zjistili, že při svařovacím čase 0,30 s mají všechny úpravy statisticky významný vliv na snížení aritmetického průměru síly potřebné k porušení svaru oproti kontrolním vzorkům. Síla kontrolního vzorku měla hodnotu 8181 N. Pouze při svařovacím čase 0,60 s nastane statisticky významný nárůst střední hodnoty síly potřebné k porušení svarového spoje, a to u úpravy svařovaného povrchu pomocí otryskání a odmaštění oceli vůči kontrolní skupině vzorků. Síla dosáhla průměrné hodnoty 9444 N, to byl nárůst o 1,41 %. Při svařovacím čase 1,30 s byla opět nejvyšší síla naměřena u kontrolního vzorku, zde síla nabývala hodnoty 10000 N.

Dále byly první dvě skupiny vzorků porovnány s výsledky předchozího experimentu Tomáše Balihara. Nově získané výsledky jsou v souladu s výsledky v předešlém experimentu. Výsledky zbylých vzorků obohacují znalosti o vlivu úpravy povrchu před svařováním a kombinaci různých úprav povrchů při svařování.

## 8 Citovaná literatura

- [1] KOVAŘÍK, Rudolf a František ČERNÝ. *Technologie svařování*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-708-2697-5.
- [2] TMĚJ, Jaroslav, Heinz NEUMANN a Stanislav JENŠÍ. *Teorie svařování*. Liberec: Vysoká škola strojní a textilní Liberec, 1990. ISBN 978-80-7494-171-9.
- [3] KUNCIPÁL, Josef. *Teorie svařování: celostátní vysokoškolská učebnice pro strojní fakulty vysokých škol technických*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986.
- [4] STRÍHAVKA, Daniel. *Odporové svařování využívané v automobilovém průmyslu*. Praha, 2021. Bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita v Praze.
- [5] TICHÝ, Jiří. Svařování v automobilovém průmyslu 1. část. *Svět svaru*. 2007, **11**(2), 1.
- [6] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [7] CRUIKSHANK, Gordon. *Auta*. Vydání 2. Martin: Osveta, [2000]. Okna do světa. ISBN 80-806-3000-3.
- [8] BROŽEK, Milan. *Strojírenská technologie I: (návody ke cvičením)*. Vyd. 2., přeprac., rozš. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, katedra materiálu a strojírenské technologie, 2008. ISBN 978-80-213-1780-2.
- [9] WEMAN, Klas. *Welding processes handbook*. 2nd ed. Oxford: Woodhead Publishing, 2012. Woodhead Publishing in materials. ISBN 978-0-85709-510-7.
- [10] ZHOU, Kang a Ping YAO. Overview of recent advances of process analysis and quality control in resistance spot welding. *Mechanical Systems and Signal Processing* [online]. 2019, 29 [cit. 2020-12-20]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0888327019300573>
- [11] MESSLER, Robert W. *Principles of Welding: Processes, Physics, Chemistry, and Metallurgy*. New York: John Wiley, 1999. ISBN 0-471-25376-6.

- [12] PLÍVA, Ladislav. *Odporové svařování*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1975. Řada strojírenské literatury.
- [13] O'BRIEN, Annette. *Welding handbook: welding processes*. 2. Miami: American Welding Society, 2007. ISBN 978-087-1710-536.
- [14] ZHANG, Hongyan a Jacek SENKARA. *Resistance welding: fundamentals and applications*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, c2012. ISBN 978-143-9853-719.
- [15] JANOTA, Martin. Odporové svařování: Základní technologické informace. *Svět svaru*. 2008, **12**(2), 2.
- [16] NEUMANN a HEINZ. *Odporové svařování, podklady pro kurz IWE*. Praha, 2006. Podklady pro kurz IWE. ČVUT.
- [17] AMBROŽ, Oldřich, Bohumil KANDUS a Jaroslav KUBÍČEK. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 2001. Svařování. ISBN 80-85771-81-0.
- [18] BROŽEK, Milan. Resistance Spot Welding of Steel Sheets. *Manufacturing Technology: Journal for Science, Research and Production*. 2016, **16**(4), 662-666. ISSN 1213-2489.
- [19] ČSN EN ISO 5182. *Odporové svařování - Materiály pro elektrody a pomocné vybavení*. 2/17. 2017.
- [20] ČSN EN ISO 5821. *Odporové svařování - Elektrodové čepičky pro bodové odporové svařování*. 6/10. 2010.
- [21] *Příslušenství odporového svařování (elektrody, čepičky, držáky, kabely)* [online]. [cit. 2024-03-11]. Dostupné z: [https://zmrzlik.cz/pdfzel/katalog\\_svar.pdf](https://zmrzlik.cz/pdfzel/katalog_svar.pdf)
- [22] Cross section of electrical spot welding configuration/process. *Diagrams.org: the world of diagrams* [online]. 2004, 1 [cit. 2024-03-11]. Dostupné z: <http://diagrams.org/figpages/f00010.html>
- [23] KUNCIPÁL, Josef, Václav PILOUS a František PYTLÍK. *Svařování pro konstruktéry a technology*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980.

- [24] DILLINGER, Josef. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Praha: Europa-Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.
- [25] ČSN EN ISO 14273. *Odporové svařování - Destruktivní zkoušky svarů - Rozměry vzorku a postup pro zkoušení stříhem odporových bodových, švových a výstupkových svarů*. 10/16. 2016.
- [26] ČSN EN ISO 10447. *Odporové svařování - Zkoušení svarů - Odlupovací a sekáčové zkoušení odporových bodových a výstupkových svarů*. 10/23. 2023.
- [27] ČSN EN ISO 17639. *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů - Makroskopická a mikroskopická kontrola svarů*. 11/22. 2022.
- [28] ŠTORKÁN, Zdeněk. Problematika hodnocení svarových spojů. *Konstrukce* [online]. 2014, 1 [cit. 2024-03-11]. Dostupné z: <http://old.konstrukce.cz/clanek/problematika-hodnoceni-svarovych-spoju/>
- [29] KOPEC, Bernard. *Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí: (nauka o materiálu IV)*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. ISBN 978-80-7204-591-4.
- [30] ČSN EN ISO 17637. *Nedestruktivní zkoušení svarů - Vizuální kontrola tavných svarů*. 10/18. 2018.
- [31] ČSN EN ISO 3452-1. *Nedestruktivní zkoušení - Zkoušení kapilární metodou - Část 1: Obecné zásady*. 12/21. 2021.
- [32] ČSN EN ISO 23277. *Nedestruktivní zkoušení svarů - Zkoušení kapilární metodou - Stupně přípustnosti*. 3/16. 2016.
- [33] ČSN EN ISO 17636-2. *Nedestruktivní zkoušení svarů - Radiografické zkoušení - Část 2: Metody rentgenového a gama záření využívající digitální detektory*. 8/23. 2023.
- [34] ČSN EN ISO 17636-1. *Nedestruktivní zkoušení svarů - Radiografické zkoušení - Část 1: Metody rentgenového a gama záření využívající film*. 6/10. 2010.
- [35] ČSN EN ISO 17638. *Nedestruktivní zkoušení svarů - Zkoušení magnetickou metodou práškovou*. 5/17. 2017.

- [36] ČSN EN ISO 23278. *Nedestruktivní zkoušení svarů - Zkoušení magnetickou práškovou metodou - Stupně přípustnosti*. 3/16. 2016.
- [37] BALIHAR, Tomáš. *Bodové svařování ocelových plechů*. Praha, 2018. Diplomová práce. Česká zemědělská univerzita v Praze.
- [38] NIEDERMEIER, Ota. *Bodové svařování ocelových plechů*. Praha, 2017. Diplomová práce. Česká zemědělská univerzita v Praze.
- [39] Pneumatická tryskací zařízení. *Toušeňská s.r.o* [online]. [cit. 2024-03-11]. Dostupné z: <https://www.1tousenska.cz/vyroba.php?sub=1&podr=1>
- [40] Návod k použití tryskací kabiny. *Tryskání a pískování* [online]. [cit. 2024-03-11]. Dostupné z: [http://tryskani-piskovani.gds.cz/public/default/userfiles/file/gds\\_profiboxy\\_navod.pdf](http://tryskani-piskovani.gds.cz/public/default/userfiles/file/gds_profiboxy_navod.pdf)
- [41] Přírodní granát 80 Mesh - tryskací materiál. *Abrasiv* [online]. [cit. 2024-03-11]. Dostupné z: <https://eshop.abrasiv.cz/prirodni-granat-80-mesh---tryskaci-material>
- [42] ČSN EN ISO 21920-2. *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Textura povrchu: Profil - Část 2: Termíny, definice a parametry textury povrchu*. 6/23. 2023.
- [43] BÍLKOVÁ, Diana, Petr BUDINSKÝ a Václav VOHÁNKA. *Pravděpodobnost a statistika*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2009. ISBN 978-80-7380-224-0.
- [44] ANDĚL, Jiří. *Základy matematické statistiky*. 2., opr. vyd. Praha: Matfyzpress, 2007. ISBN 80-737-8001-1.

## 9 Seznam obrázků

Obrázek 1 – Princip odporového svařování .....	5
Obrázek 2 – Normální pracovní cyklus bodové svářečky .....	7
Obrázek 3 – Základní druhy bodového svařování .....	7
Obrázek 4 – Zvláštní způsoby bodového svařování .....	8
Obrázek 5 – Schéma odporů při bodovém svařování .....	9
Obrázek 6 – Složky odporu při bodovém svařování .....	10
Obrázek 7 – Závislost velikosti odporu na svařovacím čase pro plech z nelegované oceli .....	11
Obrázek 8 – Řešení tepelné rovnováhy bodového svařování .....	12
Obrázek 9 – Tvary vyměnitelných elektrodových čepiček dle ČSN EN ISO 5821 .....	17
Obrázek 10 – Vodní chlazení elektrod .....	19
Obrázek 11 – Švové svařování .....	20
Obrázek 12 – Svařování na lisu .....	21
Obrázek 13 – Svařování stykové stlačením .....	22
Obrázek 14 – Svařování stykové odtavením .....	23
Obrázek 15 – Stříhová zkouška přeplátovaných plechů .....	26
Obrázek 16 – Tahová zkouška ve tvaru U .....	26
Obrázek 17 – Tahová zkouška křížová .....	27
Obrázek 18 – Sekáčová zkouška svarů .....	28
Obrázek 19 – Odlupovací zkoušky .....	29
Obrázek 20 - Prozáření při kontrole bodových svarů .....	31
Obrázek 21 – Impulzní metoda .....	32
Obrázek 22 – Umístění sond .....	32
Obrázek 23 – Magnetická metoda .....	33
Obrázek 24 – Tryskací zařízení ITB 65 .....	38
Obrázek 25 – Svařovací kleště BV 2.5.21 a svařovací jednotka QX 12.1 .....	41
Obrázek 26 – Svařovací časy .....	41
Obrázek 27 – Vzorek svařeného spoje – svařovací čas 10 (1,3 s) vzorek č. 6 .....	42
Obrázek 28 – Velikost svarové čocky a tepelně ovlivněné oblasti v závislosti na čase .....	43
Obrázek 29 – Univerzální zkušební stroj ZDM 5/51 .....	44
Obrázek 30 – Upnutí vzorku svarového spoje v upínacích čelistech .....	44
Obrázek 31 – Porušení svarové čocky .....	45
Obrázek 32 – Porušení vzorku v místě tepelně ovlivněné oblasti .....	45

Obrázek 33 – Graf závislosti síly potřebné k porušení svaru na svařovacím čase pro odmaštěnou ocel.....	50
Obrázek 34 – Graf závislosti síly potřebné k porušení svaru na svařovacím čase pro otryskanou a odmaštěnou ocel .....	52
Obrázek 35 – Graf závislosti síly potřebné k porušení svaru na svařovacím čase pro pozinkovanou ocel .....	54
Obrázek 36 – Graf závislosti síly potřebné k porušení svaru na svařovacím čase pro otryskanou a odmaštěnou ocel a odmaštěnou pozinkovanou ocel .....	56
Obrázek 37 – Graf závislosti síly potřebné k porušení svaru na svařovacím čase pro odmaštěnou ocel a odmaštěnou pozinkovanou ocel .....	58
Obrázek 38 – Graf souhrnného porovnání naměřených hodnot pro svařovací čas 0,30 s .....	60
Obrázek 39 – Graf souhrnného porovnání naměřených hodnot pro svařovací čas 0,60 s .....	61
Obrázek 40 – Graf souhrnného porovnání naměřených hodnot pro svařovací čas 1,30 s .....	63



## 10 Seznam tabulek

Tabulka 1 – Vhodné svařovací parametry pro bodové svařování .....	9
Tabulka 2 – Doporučené svařovací parametry pro bodové svařování nízkouhíkových ocelových plechů .....	13
Tabulka 3 – Doporučené svařovací parametry pro ocelové plechy se zinkovou vrstvou .....	13
Tabulka 4 – Parametry bodového svařování .....	14
Tabulka 5 – Porovnání svařovacích parametrů .....	14
Tabulka 6 – Vlastnosti granátu MESH 80 .....	39
Tabulka 7 – Naměřené hodnoty drsnosti-podélné .....	40
Tabulka 8 – Naměřené hodnoty-napříč .....	40
Tabulka 9 – Výsledky tahové zkoušky .....	49
Tabulka 10 – Výsledky experimentu pro vzorky s odmaštěným povrchem .....	51
Tabulka 11 – Výsledky experimentu pro vzorky s otryskaným a odmaštěným povrchem.....	53
Tabulka 12 – Výsledky experimentu pro odmaštěné pozinkované vzorky .....	55
Tabulka 13 – Výsledky experimentu pro otryskané a odmaštěné vzorky a odmaštěné pozinkované vzorky .....	57
Tabulka 14 – Výsledky experimentu pro odmaštěné vzorky a odmaštěné pozinkované vzorky .....	59