



České vysoké učení technické v Praze

Fakulta strojní

Ústav strojírenské technologie

Vliv hmotnostního podílu vrstvy na bázi síranu zinečnatého na svařovací parametry a opotřebení elektrod při odporovém svařování

Diplomová práce

Autor: Bc. Vojtěch Haala

Vedoucí práce: doc. Ing. Marie Kolaříková, Ph.D., IWE

Studijní program: Výrobní inženýrství

Specializace: Bez specializace

Praha 2021

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Haala** Jméno: **Vojtěch** Osobní číslo: **461718**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**
Studijní program: **Výrobní inženýrství**
Specializace: **Bez specializace**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Vliv hmotnostního podílu vrstvy na bázi síranu zinečnatého na svařovací parametry a opotřebení elektrod při odporovém svařování

Název diplomové práce anglicky:

Influence of the weight fraction of the zinc sulphate layer on the welding parameters and wear of the electrodes during resistance welding

Pokyny pro vypracování:

- Popis technologie svařování elektrickým odporem se zaměřením na výrobu automobilových karosérií
- Přehled povlaků a vrstev používaných v automobilovém průmyslu, nové trendy
- Návrh experimentu pro ověření vlivu podílu vrstvy na bázi síranu zinečnatého na svařovací parametry, opotřebení elektrod a kvalitu spoje
- Svaření zkušebních vzorků a vyhodnocení experimentu
- Závěr

Seznam doporučené literatury:

- [1] Plíva, L.: Odporové svařování. SNTL, Praha, 1975
- [2] Zhang, H., Senkara, J.: Resistance Welding: Fundamentals and Applications, CRC Press, 2nd. Edition, 2011
- [3] HU, X., G. ZOU, S. J. DONG, M. Y. LEE, J. P. JUNG a Y. ZHOU. Effects of Steel Coatings on Electrode Life in Resistance Spot Welding of Galvannealed Steel Sheets. MATERIALS TRANSACTIONS [online]. 2010, 51(12), 2236-2242
- [4] databáze WoS a Scopus

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

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

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

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

Datum zadání diplomové práce: **15.04.2021** Termín odevzdání diplomové práce: **06.08.2021**

Platnost zadání diplomové práce: **31.12.2021**

doc. Ing. Marie Kolaříková, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

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

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Tímto prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Marie Kolaříkové, Ph.D., IWE, a to pouze pomocí podkladů uvedených v seznamu použité literatury v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

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

V Praze dne:

.....

Haala Vojtěch

Poděkování

Děkuji paní doc. Ing. Marii Kolaříkové, Ph.D., IWE za odborné vedení diplomové práce, podporu a trpělivost, ale především hlavní poděkování patří mé rodině, která mě během celého studia podporovala.

Anotace

Název diplomové práce: Vliv hmotnostního podílu vrstvy na bázi síranu zinečnatého na svařovací parametry a opotřebení elektrod při odporovém svařování

Autor práce: Vojtěch Haala

Vedoucí práce: doc. Ing. Marie Kolaříková, Ph.D., IWE

Akademický rok: 2020/2021

Vysoká škola: ČVUT v Praze, Fakulta strojní

Ústav: 12133 - Ústav strojírenské technologie

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

Abstrakt: Diplomová práce se skládá ze dvou částí. V první části se zaměřuje na popis problematiky odporového bodového svařování v automobilovém průmyslu a popisem povrchových úprav, které jsou v dnešní době používány na výrobu karoserie automobilu. V druhé části se diplomová práce zaměřuje na experimentální část. Experimentální část práce se zaměřuje na to, zda speciální vrstva na bázi síranu zinečnatého ocelových pozinkovaných plechů ovlivňuje svařovací proces a zda se s rostoucím obsahem S v povlaku mění naměřené parametry. Příprava materiálů a svaření všech vzorků proběhlo v laboratoři odporového bodového svařování ČVUT v Praze. Následné provedené zkoušky proběhly na fakultě strojní ČVUT v Praze.

Počet stran: 88

Počet obrázků: 44

Počet tabulek: 17

Počet grafů: 10

Počet příloh: 7

Klíčová slova: odporové bodové svařování, automobilový průmysl, Zn povlak, síran zinečnatý, opotřebení elektrod

Annotation

Title of work: Influence of the weight fraction of the zinc sulphate layer on the welding parameters and wear of the electrodes during resistance welding

Author: Vojtěch Haala

Supervisor: doc. Ing. Marie Kolaříková, Ph.D., IWE

Academic year: 2020/2021

University: CTU in Prague, Faculty of Mechanical Engineering

Department: 12133 - Department of Manufacturing Technology

Head of department: doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE

Abstract: This diploma thesis has been completed from two parts. In the first part the thesis is dedicated to resistance spot welding at automotive industry and description of surface treatments that are used for the production of the bodywork in the automotive industry nowadays. In the second part the diploma thesis focuses on the experimental part. The experimental part of the work focuses on whether the special layer based on the zinc sulphate layer galvanized steel sheets affects the welding process and whether the measured parameters change with increasing S content in the coating. The preparation of materials and welding of all samples took place in the laboratory of resistance spot welding at CTU in Prague. Other tests took place at the Faculty of Mechanical Engineering CTU in Prague.

Number of pages: 88

Number of pictures: 44

Number of tables: 17

Number of charts: 10

Number of attachments: 7

Keywords: resistance spot welding, automotive industry, Zn coating, zinc sulphate, electrode wear

Obsah

1	Úvod.....	12
2	Cíle práce	13
3	Odporové svařování.....	13
3.1	Princip odporového svařování	14
3.2	Odporové svařování v automobilovém průmyslu	14
3.3	Děje při vzniku odporového svaru.....	15
3.3.1	Elektrický děj	15
3.3.2	Metalurgický děj	16
3.3.3	Mechanický děj	17
3.4	Metody odporového svařování	18
3.4.1	Švové.....	18
3.4.2	Výstupkové.....	19
3.4.3	Stykové.....	20
4	Odporové bodové svařování.....	21
4.1	Metody bodového svařování	21
4.1.1	Přímé bodové svařování	21
4.1.2	Nepřímé bodové svařování.....	21
4.2	Režimy svařování	22
4.2.1	Tvrký režim	22
4.2.2	Měkký režim	22
4.3	Svařovací parametry	23
4.3.1	Svařovací čas.....	23
4.3.2	Svařovací síla	23
4.3.3	Svařovací proud.....	23
4.4	Vady bodových svarů	24

4.5	Elektrody pro odporové bodové svařování.....	26
4.6	Životnost bodových svařovacích elektrod.....	28
4.7	Stroje pro odporové bodové svařování.....	29
5	Povrchové úpravy karoserie automobilu	31
5.1	Povlaky a povrchy povlaků	32
5.1.1	Ochranná funkce povlaku.....	32
5.1.2	Geometrické vlastnosti povrchů.....	33
5.1.3	Metody vytváření povrchů	33
5.2	Sled povrchových úprav karoserie automobilu	37
5.2.1	Odmašťování	37
5.2.2	Fosfátování	38
5.2.3	Kataforické lakování	39
5.2.4	Galvanické zinkování.....	40
5.2.5	Žárové zinkování.....	42
5.2.6	Utěsnění spojů.....	45
5.2.7	Aplikace plniče.....	45
5.2.8	Lakování.....	46
5.2.9	Konzervace dutin a spojů	46
5.3	Speciální vrstva na bázi síranu zinečnatého	47
5.4	Povlak na bázi siluminu (Al-Si)	48
6	Experimentální část	49
6.1	Použitý materiál.....	49
6.2	Návrh experimentu	51
6.3	Svařovací zařízení.....	52
6.4	Svařovací parametry	54
7	Výsledky a jejich diskuze.....	56
7.1	Vliv míry opotřebení elektrodové čepičky na velikost svařovacího proudu	56
7.2	Statická zkouška stříhem	60

7.3	Měření průměrů svarových čoček	65
7.4	Metalografická zkouška.....	69
8	Závěr.....	74
	Seznam použité literatury.....	76
	Seznam tabulek.....	81
	Seznam obrázků	81
	Seznam grafů	83
	Seznam příloh	84
	Přílohy	85

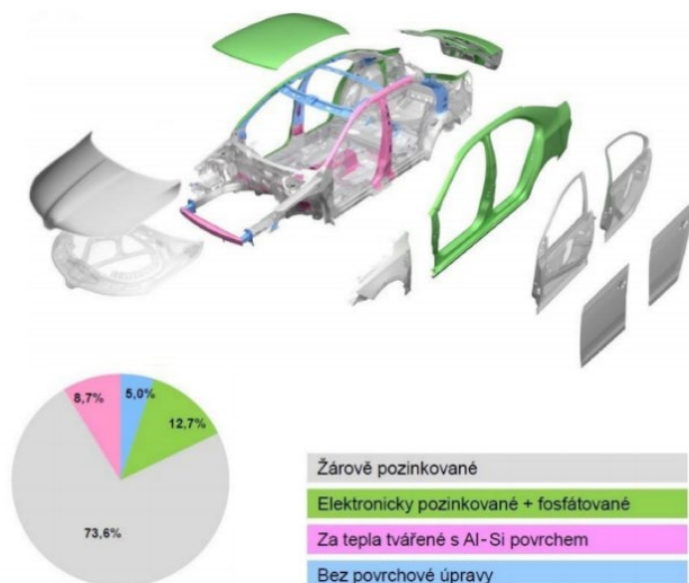
Seznam použitých veličin zkratek

Q [J]	množství tepla [Joule]
t [mm]	tloušťka plechu [milimetr]
I [A]	elektrický proud [ampér]
R [Ω]	elektrický odpor [ohm]
R_d [Ω]	přechodový odpor mezi svařovanými materiály a elektrodami [ohm]
R_k [Ω]	přechodový odpor mezi svařovanými materiály [ohm]
R_o [Ω]	vnitřní odpor svařovaného materiálu [ohm]
R_m [MPa]	mez pevnosti [megapascal]
R_{p0,2} [MPa]	mez kluzu [megapascal]
A_{80 mm min} [%]	tažnost [procento]
E₁	horní elektroda
E₂	dolní elektroda
t [ms]	svařovací čas [milisekunda]
I_s [kA]	svařovací proud [kiloampér]
P_s [kN]	svařovací síla [kilonewton]
P [V]	příkon [volt]
T [°C]	teplota [stupně celsia]
[μm]	tloušťka povlaku [mikrometr]
AC	střídavý proud
DC	stejnoseměrný proud
S	Síra
C	Uhlík
Si	Křemík

Mn	Mangan
P	Fosfor
Ti	Titan
Cu	měď
Cr	chrom
ZnSO₄	Síran zinečnatý
Zn	Zinek
Zr	zirkonium
Al-Si	Povrchová vrsta
22MnB5	manganbórová ocel
CuCr1Zr	slitina mědi
DX56D + Z100MC	označení použitého materiálu
HDG	ocelové plechy s žárově zinkovaným povlakem
EG	ocelové plechy s galvanicky nanášením povlaku
EG + PH	ocelové plechy s galvanicky zinkovaným a fosfátovým povlakem
Metoda SBT	Mechanické otryskávání jemnozrnným granulátem (Shot Blast Texturing)
Metoda EDT	Matování prostřednictvím elektrojiskrového výboje (Electric Discharge Texturing)
Metoda LT	Matování prostřednictvím laserového paprsku (Laser Texturing)
Metoda EBT	Matování prostřednictvím elektronového paprsku (Electron Beam Texturing)
Metoda Pretex	Matování prostřednictvím chromování válců (Preussag Texturing)

1 Úvod

Automobily se staly nepostradatelnou součástí našeho života. Technologie odporového svařování patří mezi hlavní spojovací metody a do dnešních dnů se jedná o nejpoužívanější spojovací technologii v automobilové výrobě. Odporové bodové svařování umožňuje do určité míry kompenzovat některé nepřesnosti při výrobě dílů. Metodou odporového bodového svařování se na vnější části automobilu vytvoří 5 až 10 tisíc bodových svarů. Konkrétní počet bodových svarů se odlišuje podle značky, typu a modelu auta. Kvalita odporových bodových svarů je mimo jiné významně ovlivňována povrchovými úpravami. V automobilovém průmyslu se většinou používají povlaky na bázi Zn. V dnešní době je zinku nedostatek a stále se hledají možnosti, jak zlepšit jeho mechanické vlastnosti. Jedna z mnoha variant je použití speciálních tenkých vrstev. Tyto vrstvy jsou tak tenké, že se neměří v mm ani v μm , ale měří se v g/m^2 . Tenké vrstvy mají za úkol zlepšovat tvařitelnost materiálů, třecí podmínky, ale také ovlivňují svařitelnost materiálů. Povlaky a vrstvy jsou stále zdokonalovány a vyvíjeny. Právě na nové povlaky a vrstvy musí reagovat konkrétní svařovací proces. Součástí této diplomové práce je návrh experimentu pro ověření vlivu podílu speciální povrchové vrstvy na bázi síranu zinečnatého na svařovací parametry. Speciální povrchová úprava na bázi síranu zinečnatého byla zavedena do výroby v roce 2005. [1]



Obrázek 1 Povrchové úpravy díly karoserie modelu Škoda Octavia III [2]

2 Cíle práce

Ze zkušeností je dokázáno, že kvalita odporových bodových spojů je ovlivňována také povrchovými úpravami, které ovlivňují svařovací proces. Cílem této diplomové práce je posoudit, zda různý obsah síry ve speciální povrchové vrstvě na bázi síranu zinečnatého má vliv na svařovací proces ocelových pozinkovaných plechů. Dílčím cílem byla příprava, nástřih materiálů a svaření několika sad plechů s různým obsahem S v povlaku pomocí odporového bodového svařování vždy stejnými nastavenými svařovacími parametry. Svařovací parametry byly převzaty z předchozích experimentů. Všechny svary byly testovány destruktivními i nedestruktivními metodami. Na závěr byly všechny analýzy vyhodnoceny a byla porovnávána životnost svařovacích elektrod.

3 Odporové svařování

Technologie odporového svařování patří v dnešní době k vysoce produktivním metodám. Patří mezi metody tlakového svařování. Jedná se o technologický proces, při kterém se produkuje svar bez přídavného materiálu krátkodobým průchodem proudu o vysoké intenzitě přes místo svaru při současném působení tlaku. Svařovací proces je charakterizován tím, že pro dosažení svařovací teploty spojovaných dílů se využívá Jouleovo teplo vyvinuté svařovacím proudem při spolupůsobení odporů vyskytujících se v oblasti svarů. Proud se do místa svaru dostává pomocí elektrod, které jsou ve většině případů vyrobeny z mědi. Využívá se pro svařování součástí z plechů. Používá se především pro svařování tenkých plechů, většinou cca od 0,4 do 4 mm. Průběh svařování může být ojediněle ovlivněn vstupními parametry, jako je svařovací proud, svařovací síla a čas. [3, 4, 5]

Používá se v mnoha průmyslových odvětvích: [5]

- V automobilovém průmyslu při výrobě karoserií: nejvýznamnějším využitím odporového svařování v automobilovém průmyslu je při svařování karoserií.
- V letectví, stavebnictví, k výrobě bílého zboží, ...
- V hromadné výrobě (např. automatizovaná svařovací zařízení).
- V oblasti vzduchotechniky, krytování strojních zařízení, ...

Mezi hlavní výhody odporového svařování patří: [6, 7]

- Velmi krátký čas svařování (0,04 až 2 sekundy, záleží na typu režimu svařování) a tím i nižší spotřeba energie.
- Velký přínos pro malosériovou a velkosériovou výrobu, díky vysoké produktivitě.
- Svařování spojů bez využití přídavných materiálů.
- Lze svařovat i materiály s rozdílným chemickým složením: jedná se o heterogenní spoj.
- Hygienické hledisko: svářeč využívá pouze ochranných pomůcek jako jsou brýle, rukavice a vhodný pracovní oděv.

3.1 Princip odporového svařování

Spoj se tvoří při přechodu elektrického proudu přes stlačené svařované části. Při vzniku svarového spoje se využívá fyzikální jev, během kterého při průchodu elektrického proudu vodičem vzniká teplo. Prostřednictvím tohoto tepla se dosáhne zvýšené teploty spojovaných materiálů na požadované hodnoty. Průchodem elektrického proudu svařovaným místem se materiál spojovaných součástí ohřeje odporovým teplem, stane se tvárným, nebo se roztaví, při čem se svařované materiály stlačí, a tím se metalurgicky spojí. Zdrojem tepla je elektrický přechodový odpor v místě styku svařovaných materiálů. [4]

3.2 Odporové svařování v automobilovém průmyslu

Odporové svařování je v automobilovém průmyslu bohatě využíváno. Největší zástupce odporového svařování je tzv. bodové svařování. Konkrétní počet bodových svarů je určen hlavně podle typu karoserie automobilu a velikostí karoserie. Dokáže dobře vyloučit nepřesnosti svařovaných výlisků, proto patří v automobilovém průmyslu k těm nejpoužívanějším metodám. Mezi další výhody patří, že lze tuto metodu dobře automatizovat a samotný svařovací proces je velmi rychlý (desítky a stovky milisekund). Všechna tato hlediska hojně přispívají ke zvýšení produktivity práce a ke snížení nákladů na výrobu. Existuje hodně dílů karoserií a podvozků, které je nutné za každou cenu spojit rozebíratelně. Konstrukce karoserií i jednotlivých podvozkových skupin zaručuje možnost využití šroubových spojů tak, že na určitých místech jsou již z předchozí operace připraveny matice. Jednotlivé matice se přivařují opět pomocí odporového svařování, kde je potřeba výkonného svařovacího zdroje s výkonem nad 10 kA. Mezi další využití této metody v automobilovém průmyslu patří odporové přivařování svorníků. [8]



Obrázek 2 Robotizované pracoviště ve svařovně ŠKODA AUTO [8]

3.3 Děje při vzniku odporového svaru

3.3.1 Elektrický děj

Mezi nejčastější případy svařování je svařování dvou přeplátovaných plechů mezi dvěma svařovacími elektrodami. Do svařovacích elektrod je přiváděn elektrický proud, který je nutný pro ohřev plechů na svařovací teplotu. Elektrody vyvíjejí svařovací sílu na plechy. V průběhu svařování se mění elektrický odpor mezi svařovacími elektrodami, a proto je odpor R a proud I funkcí času. Z Joule – Lenzova zákona vychází z **rovnice 1** pro celkové teplo vzniklé mezi elektrodami za čas t . [9]

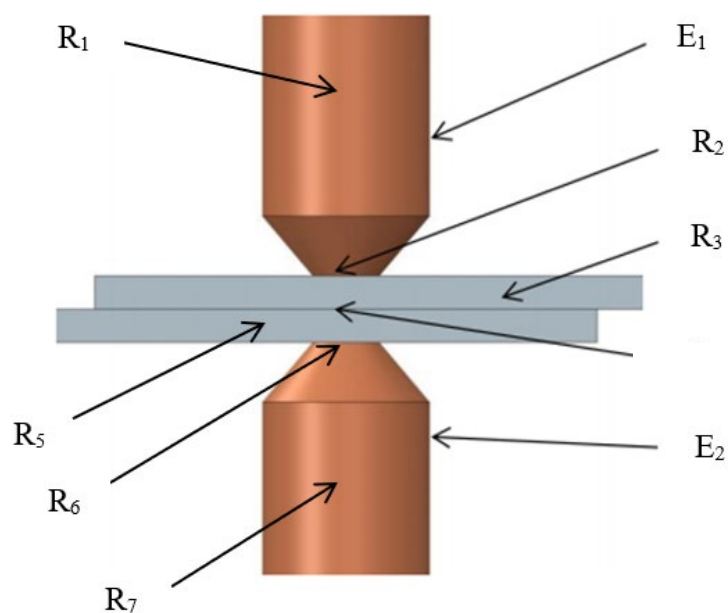
$$Q = R \cdot I^2 \cdot t [J] \quad \text{Rovnice 1}$$

Kde: Q – množství tepla [J]

I – elektrický proud [A]

R – celkový elektrický odpor [Ω]

t – doba průchodu proudu [ms] [13]



Obrázek 3 Odpory při odporovém svařování [11]

Kde: $R_{2,6}$ – kontaktní odpor mezi elektrodami a svařovanými materiály: snahou je tento odpor co nejvíce omezit (např. zvýšením svařovacího tlaku, volbou materiálu elektrod, ale zejména intenzivním chlazením elektrod).

$R_{3,5}$ – vnitřní odpor svařovaného materiálu

R_4 – přechodový odpor mezi svařovanými materiály: tento odpor je podřízený velikosti svařovací síly, tloušťce vrstvy oxidů a na nerovnosti povrchu. Je ze všech největší a je zde dosaženo největší teploty.

R_1, R_7 – odpory elektrod

E_1 – horní elektroda

E_2 – dolní elektroda

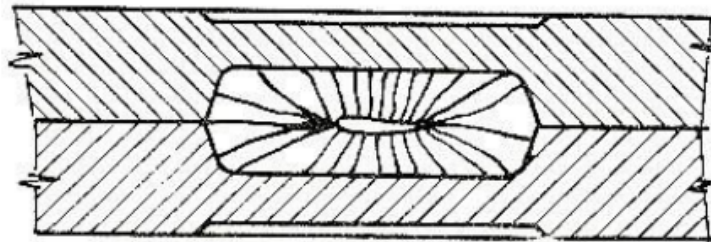
Výsledný elektrický odpor vychází z **rovnice 2**. [8, 9, 11]

$$R = R_1 + R_3 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7 \quad \text{Rovnice 2}$$

3.3.2 Metalurgický děj

Odporovým svařováním se produkují tavné svary. Tyto svary se vyznačují velmi vysokou kvalitou. Při odporovém svařování přichází vlivem dodaného tepla pomocí elektrického proudu a odporu k natavení obou svařených dílců v místě svaru. Vedení a produkce tepla je závislé na

dostatečně velké proudové hustotě. Tato proudová hustota zajistí rychlý ohřev svařovaného materiálu tak, aby výkon tepla převyšoval schopnost odvodu tepla. Svar vzniká velmi intenzivním ohřevem nad teplotou tavení a následným rychlým ochlazením ve vymezené oblasti. Nejvyšší teploty se dosahuje v jádru svarové čočky. Svarová čočka má menší tloušťku, než je tloušťka svařovaných jednotlivých dílců. Elektrody přivádějící elektrický proud do svaru současně stlačují dílce a omezují vystříknutí roztaveného kovu a plynů ven ze svaru. [8, 9]



Obrázek 4 Průřez bodového svaru [9]

3.3.3 Mechanický děj

Mechanický děj je při odporovém svařování představován působením tlaku po celou dobu svařování a řadí se mezi základní činitele. [9]

Působení tlaku lze rozdělit do tří následujících období: [9]

- **Přítlačení:** přítlačná (svařovací) síla má za úkol zlepšit přilnutí svařovaných dílců k sobě. Tato potřeba je nesmírně důležitá při svařování lisovaných plechů. Tyto plechy jsou z důvodů pružení a nerovnosti výlisků těžce svařitelné bez působení svařovací síly. Elektrody dosedající na povrch výlisků přizpůsobí výlisek svařovanému protikusu a vytvoří podmínky pro vznik přechodového odporu, a tím i svaru, v místě styku materiálů. Svařovací elektrody protlačí tenkou vrstvu oxidů nebo jiných nečistot, které zůstaly po očištění na povrchu materiálu.
- **Svaření:** svařovací tlak udržuje tavící se kov v uzavřené dutině a omezuje jeho vystříknutí. Funkce tlaku stále trvá z předchozího přítlačení.
- **Kování (zpracování svaru):** konečný tlak má za úkol vylepšit strukturu svaru. Ve vytvořeném svaru se produkuje hrubozrnná struktura litého kovu. Tuto strukturu je možno zjemnit působením zvýšeného tlaku. Kovací tlak působí v ojedinělých případech pozitivně na odstranění staženin, které se vyskytují hlavně při svařování materiálů s hrubší strukturou.

3.4 Metody odporového svařování

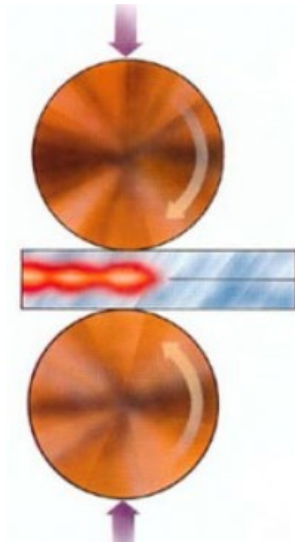
Bodové svařování je nejčastější svařovací metodou odporového svařování, které se nejvíce aplikuje právě v automobilovém průmyslu. Svařují se plechy o tloušťce cca od 0,4 do 4 mm. Jedná se o metodu pro spojování plechů. Svařované plechy se přeplátují a sevrou se mezi dvě elektrody. Použité elektrody jsou většinou z mědi a jsou vodou chlazené. Po zapnutí elektrického proudu v pozici komprese v důsledku vysokého elektrického přechodového odporu materiál nataví a vytvoří požadovaný svar. Digitalizace a robotizace výrobního procesu umožňuje zejména u bodového svařování karoserií vysokou efektivitu. [12]

3.4.1 Švové

Jedná se o plynulý proces, který využívá otáčejících se elektrod na překrývajících se plochách. Nevyužívá se tak často jako bodové svařování, které je nejvýznamnější z jednotlivých metod odporového svařování. V současné době je švové svařování nezastupitelné ve výrobě určitých typů radiátorů ústředního topení, nebo plechových obalů (například sudy, nádrže motorek, kuchyňské dřezy) a v dalších odvětvích průmyslu, kde je potřeba dosáhnout naprosté nepropustnosti. Švový svar může být buď souvislý nebo přerušovaný. Schéma švového svařování je na **obrázku 5**. [12]

Mimo klasického švového svařování dvěma kotoučovými elektrodami se často využívají způsoby: [12]

- Švové svařování na podložce: jednu z elektrod nahradí podložka či trn.
- Švové svařování s pohyblivou podložkou: elektroda se pouze otáčí, podložka je posuvná.
- Švové svařování s putujícím kotoučem: materiály jsou upnuté mezi neotáčející se pevnou podložkou a otáčející se kotoučovou elektrodou.



Obrázek 5 Schéma odporového švového svařování [12]

3.4.2 Výstupkové

Výstupkové svařování je velmi produktivní metoda odporového svařování. Jedná se o několikanásobné svařování, při kterém je rozložení bodů určeno výstupky. Na plechu se nejprve vylisují v místě svaru výstupky vhodného tvaru (existují i výstupky přirozené, například v rozích matic). Svařovací proud je koncentrován do míst dotyku svařovaných plechů (tedy výstupků), kde se odporovým teplem materiál zahřívá, měkne a tím se bortí pod tlakem svařovací síly elektrod. Aby se elektrický proud a tlak stejně rozdělily mezi všechny svařované výstupky, je nutno, aby svařované součásti přesně lícovaly hned na začátku celého procesu svařování. Elektrody mají tvar desek, desky jsou to hlavně v případech současného svařování několika svarů (výstupků) na ploše. V případě výstupkového svařování matic se jedná o trn a elektrodu. Stroje pro výstupkové svařování jsou tzv. svařovací lisy. Deskové elektrody stisknou svařované části tak, aby výstupky dolehly na sebe, po zapnutí svařovacího proudu se na výstupcích materiál zahřívá, měkne a tím se výstupek bortí pod tlakem svařovací síly elektrod, tím vznikne požadovaný svar. Všechny svařované dílce musí být vylisovány z hlubokotažných, kovově čistých a měkkých ocelových plechů. Schéma výstupkového svařování je na **obrázku 6**. [13, 14]



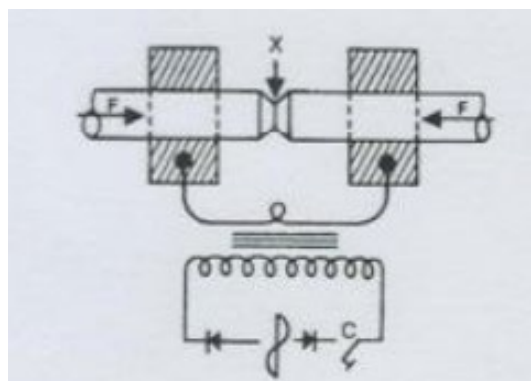
Obrázek 6 Schéma výstupkového odporového svařování [14]

3.4.3 Stykové

Svar se vytváří po celé styčné ploše dílů. Stykové plochy musí být hladké a kovově čisté. Svařované dílce jsou přitisknuty styčnými plochami k sobě a průchodem proudu jsou ve styčných místech svařeny. Schéma stykového svařování je na **obrázku 7**. [13]

Stykové svařování je rozděleno na dva typy: [10, 13]

- Proces s odtavením: reverzní mechanismu stroje po přivedení elektrického proudu do součástí vyvozuje opakující se přiblížení a oddálení stykových ploch. Tímto procesem na stykových plochách dochází k opakovaným zkratům. Tyto zkraty mají za důsledek vysoký nárůst teploty na stykových plochách, čímž dojde k jejich natavení. Po stlačení přítlačným mechanismem vznikne svar.
- Proces bez odtavení: během tohoto procesu nedochází k natavení stykových ploch svařovaných částí. Elektrický proud nahřeje plochy na teplotu cca 1200 °C a přítlačný mechanismus svářečky spěchuje stykové plochy obou částí k sobě, čímž se produkuje svar.



Obrázek 7 Schéma stykového odporového svařování [15]

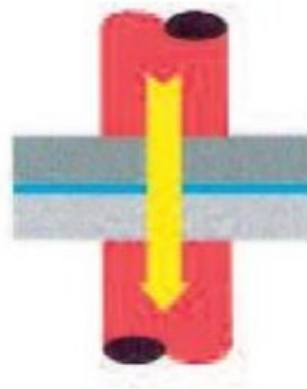
4 Odporové bodové svařování

4.1 Metody bodového svařování

Podle způsobu vzniku svaru a podle uspořádání svařovacích elektrod rozlišujeme dva druhy odporového bodového svařování.

4.1.1 Přímé bodové svařování

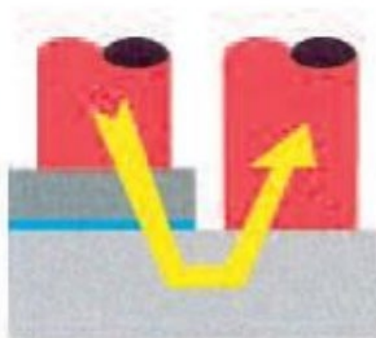
Mezi svařovacími elektrodami vzniká svarová čoučka. Svařovací elektrody jsou během svařování postaveny proti sobě v jedné ose. Mezi dvěma elektrodami vzniká pouze jeden svar. Schéma přímého bodového svařování je na **obrázku 8**. [16]



Obrázek 8 Přímé bodové svařování [3]

4.1.2 Nepřímé bodové svařování

Svarová čoučka nevzniká přímo v prostoru mezi dvěma svařovacími elektrodami. Svařovací elektrody jsou postaveny souběžně. Elektrický proud při přechodu z jedné elektrody na druhou prochází ještě přes vodivou podložku nebo můstek. Schéma nepřímého bodového svařování je na **obrázku 9**. [16]



Obrázek 9 Nepřímé bodové svařování [3]

4.2 Režimy svařování

Režimem je nazývána kombinace velikosti svařovacích parametrů během svařovacího procesu. Parametry obou režimů jsou v **tabulce 1**. Režimy svařování lze rozdělit dle svařovacích parametrů.

4.2.1 Tvrdý režim

Výhody tvrdého svařovacího režimu: [5]

- Vyžaduje krátké strojní časy.
- Dává minimální napětí a deformace.
- Způsobuje minimální napětí a deformaci svařovaného materiálu, zároveň snižuje spotřebu elektrické energie a opotřebení elektrod.
- Krátkodobé působení svařovací teploty (rychlé chladnutí svaru) vede k jemnozrnné struktuře svarového kovu.

Nevýhody tvrdého svařování: [5]

- Vyžaduje stroje velkých příkonů a silnějších konstrukcí (např. závěsné odporové stroje musí obsahovat vyvažovače).
- Je nutnost přítomnosti dobré energetické situace v podniku.

4.2.2 Měkký režim

Výhody měkkého režimu: [5]

- Nevyžaduje stroje velkého příkonu.
- Lze využívat menší průřezy elektrických vodičů.
- Je méně citlivý na odchylky odporové svařitelnosti svařovaných materiálů.

Nevýhody měkkého režimu: [5]

- Vyžaduje delší strojové časy (menší produktivita).
- Produkce větší deformace a napětí ve svarových spojích.
- Je doprovázen hrubozrnnou strukturou, která je méně pevná.

Tabulka 1 Svařovací parametry tvrdého a měkkého režimu [17]

	Tvrký režim	Měkký režim
Svařovací síla	~ 2000 N	Do 1000 N
Svařovací tlak	~ 1000 N.mm ⁻²	Do 50 N.mm ⁻²
Svařovací proud	~ 10000 A	Do 5000 A.mm ⁻²
Proudová hustota	~ 500 A.mm ⁻²	Do 250 A.mm ⁻²
Svařovací čas	~ 0,16 s	Nad 0,5 s
Čas v periodách	~ 8 per	Nad 25 per

4.3 Svařovací parametry

4.3.1 Svařovací čas

Jedná se o časový úsek průchodu elektrického proudu svařovaným materiálem. Během technologie pulsního svařování je tento čas započítáván od prvního pulsu až po ukončení celého procesu, tedy při ukončení posledního pulsu, včetně doby přerušení mezi určitými pulsy. Lze konstatovat, že se jedná o časový úsek, který je potřebný k vytvoření úplného svaru. Svařovací čas musí být volen pečlivě, aby došlo k vytvoření správného svaru, který odpovídá pevnosti bez nadměrného ohřevu (přehřátí). Ve svarovém spoji mohou vznikat různé vady, např. póry, vměstky. Také dochází ke ztrátám tepla, zejména u slitin, které mají vyšší tepelnou vodivost, např. hliník. Její velikost roste v závislosti na delším svařovacím čase. [4, 18]

4.3.2 Svařovací síla

Během celého procesu svařování ovlivňuje svařovací síla a přidržovací síla elektrod styk mezi kontaktní plochou nebo čelem elektrody a svařovaným materiálem. Tímto zajišťuje rovnoměrný průchod svařovacího proudu. Během tvorby svaru udržuje tlak svařovací síly roztavený svarový kov v uzavřené dutině a omezuje jeho vystříknutí. Dále má vliv na zjemnění struktury svarového spoje a ve výsledku dochází k navýšení jeho mechanických vlastností. Při špatné volbě svařovací síly může dojít k jiskření a k rychlejšímu opotřebení používaných elektrod. [4, 19]

4.3.3 Svařovací proud

Ze všech parametrů svařovací proud nejvíce ovlivňuje proces tvorby odporového tepla během celého procesu svařování. Při zvýšení velikosti svařovacího proudu dochází k rychlému zvětšení svarové čočky, ale také k průniku kořenu a v závislosti na tom dochází ke zvětšení

pevnosti svaru. V případě zvolení většího svařovacího proudu, dochází k vypuzení roztaveného kovu, to má za následek vznik vnitřních vad, nižší pevnost nebo možné praskání svaru. Pokud je zvolena nízká velikost svařovacího proudu sniží se velikost svaru a není generováno takové množství tepla, které je potřeba pro překonání jeho ztrát. [4, 18]

Tabulka 2 Základní svařovací parametry bodového svařování [5]

Svařovací síla P_s [kN]	Svařovací proud I_s [kA]	Svařovací čas t_s [ms]
0,5–10	1–100	40-2000

4.4 Vady bodových svarů

Během odporového svařování může dojít ke vzniku vad bodových svarů. Tyto vady ovlivňují kvalitu svaru a jeho další využití vzhledem k požadovanému přenosu namáhání. Přehled nejběžnějších vad je na **obrázku 11**. [5]

Mezi nejzákladnější příčiny vzniku vad patří: [20, 21]

- Vadná funkce stroje.
- Nastavení svařovacích parametrů.
- Kvalita povrchu plechů.
- Kvalita elektrických kontaktů.
- Nesprávná příprava plechů pro svařování.
- Nedostatečné chlazení elektrod pro svařování.
- Opotřebením povrchu elektrod.

Vady bodových svarů lze rozdělit na: [21]

- Vnitřní vady:
 - Neprůvary (studené spoje): vznikají v důsledku neúplného natavení základních materiálů. Mezi příčiny vzniku studených spojů patří: nízký svařovací proud, nízká svařovací síla, defekty nebo nevhodná příprava svařovaných dílů. Jedná se o velmi závažnou vadu z hlediska pevnosti a kvality výsledného spoje. Tutu vadu lze rozpoznat při nedestruktivním zkoušení (NDT).
 - Rozstříky
 - Vnitřní trhliny nebo dutiny

- Povrchové vady:
 - Povrchové trhliny
 - Vady tvarů a rozměrů

Oba typy se vyskytují ve větší míře společně. [20]

Klasifikace geometrických vad kovových materiálů upravuje norma ČSN EN ISO 6520-2: *Svařování a příbuzné procesy – Klasifikace geometrických vad kovových materiálů – Část 2: Tlakové svařování*. Podle této normy rozdělujeme typy vad, které tato norma rozvádí do větších detailů. [22]

P1 Trhliny

Trhliny vznikají v důsledku špatné svařitelnosti materiálů. Dále dochází k zakalení tohoto materiálu. Trhliny mají vliv na únosnost spoje z hlediska dynamického namáhání. Využitím měkkého svařovacího režimu, nebo nechlazením elektrod lze výskyt trhlin snížit. [5, 23]

P2 Dutiny

Dutiny vznikají v důsledku špatně zvoleného režimu svařování. Dále při příliš dlouhém ohřevu materiálu. Ve velkém množství jsou spojené s výstřikem materiálu, a to buď mezi svařovanými plechy nebo pod elektrodou. Využitím dobře zvolené kovací síly lze snížit výskyt dutin. [5, 23]

P3 Pevné vměstky

Pevné vměstky vznikají kvůli špatnému skladování, nekvalitní přípravě materiálu, které vede k znečištění povrchu. Dochází k povrchovému natavení spoje z důvodu znečištění materiálu plechu, elektrod nebo poruchou chlazení elektrod. Využitím správného způsobu čištění svařovaného materiálu a elektrod lze snížit výskyt pevných vměstků. [5, 23]

P4 Studené spoje

Vznikají nedostatečným natavením materiálu, špatně nastavenými svařovacími parametry, nadměrným opotřebením elektrod a působením bočních proudů (shuntováním). [5, 23]

P5 Vady tvarů a rozměrů

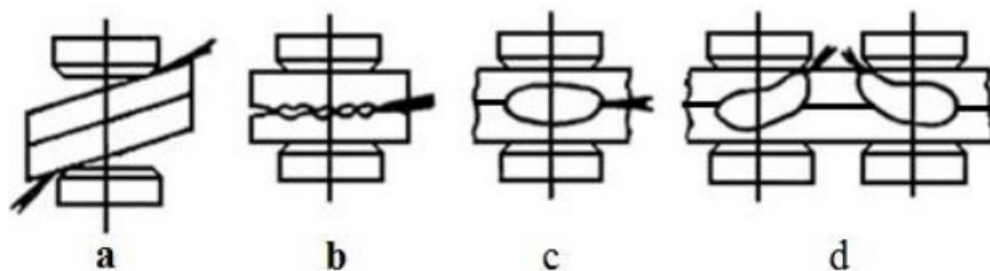
Patří sem nízká nebo vysoká čoučka, malý průměr svaru, nesymetrický tvar, příliš hluboké otisky elektrod, nebo deformací při svařování. [5, 23]

P6 Ostatní vady

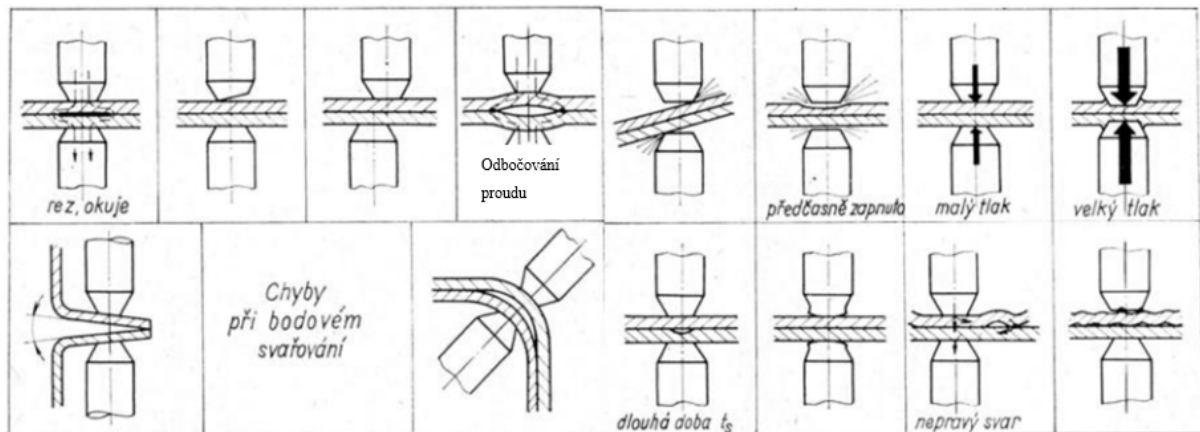
Patří sem například výstřik svařovaného kovu. K výstřiku dochází nejčastěji v rovině svařovaných plechů při velkém přívodu tepla. [5, 23]

Typy rozstříků (obrázek 10): [24]

- Vnější: snižuje kvalitu vzhledu výrobků a snižuje životnost elektrod.
- Vnitřní (mezi svařovanými díly): zabraňuje růstu svarové čočky.
- Počáteční (v první fázi).
- Konečné (ve druhé fázi).



Obrázek 10 Typy rozstříků [17]



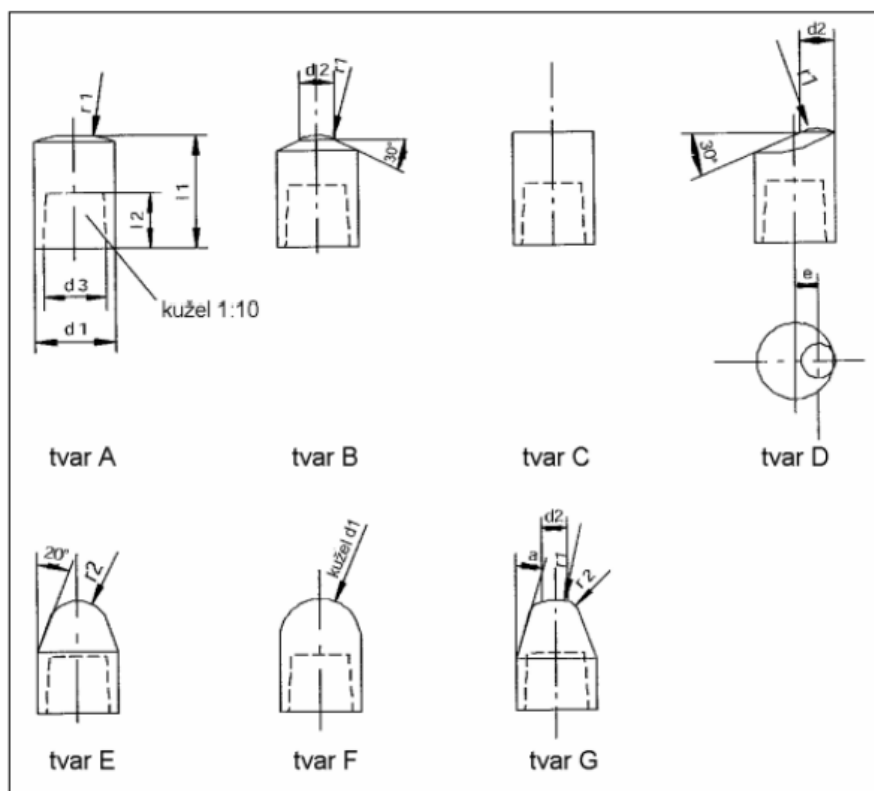
Obrázek 11 Vady při odporovém bodovém svařování [18]

4.5 Elektrody pro odporové bodové svařování

Pro dosažení určité kvality svaru je velmi klíčový tvar svařovacích elektrod. Tvar elektrod má obdobnou váhu jako svařovací síla, proud nebo svařovací čas. Podle normy ČSN EN ISO 5821 je tvar svařovacích elektrod rozdělen podle provedení A až G. Tvary čepiček jsou na **obrázku 12**. Pro výrobu svařovacích elektrod se využívá hlavně měď a její slitiny. Měď a její

slitiny mají dobrou vodivost a pevnost. Materiály svařovacích elektrod jsou rozděleny na dvě kategorie a několik dalších podkategorií. [3]

- Skupina A: tuto kategorii tvoří svařovací elektrody, které jsou vyrobené z mědi a jejich slitin. Vyrábějí se tvářením za tepla, za studena nebo v litém stavu. [3]
 - Tepelně nezpracované slitiny mědi s velmi vysokou elektrickou vodivostí a střední tvrdostí.
 - Za studena tvářené slitiny mědi s vyšší tvrdostí.
 - Tepelně zpracované slitiny mědi s vylepšenými mechanickými vlastnostmi a s menší elektrickou vodivostí.
 - Speciální slitiny mědi.
- Skupina B: tato kategorie obsahuje svařovací elektrody, které jsou vyrobené práškovou metalurgií. [3]
 - Slinuté materiály mědi a wolframu.
 - Slinuté materiály mědi a karbidu wolframu.
 - Slinuté materiály molybdenu.
 - Slinutí karbidu wolframu.
 - Slinuté materiály wolframu a stříbra.



Obrázek 12 Typy zaměnitelných elektrodo­vých čepiček [3]

4.6 Životnost bodových svařovacích elektrod

Životnost bodových elektrod je definována jako celkový počet svarů, které mohou být provedeny bez výměny elektrod v požadované jakosti svaru před úpravou dotykové plochy elektrod. V automobilovém průmyslu je životnost elektrody určena jako celkový počet svarů provedených svařovací elektrodou s mnohokrát upravenou pracovní plochou. Životnost elektrod se určuje podle normy ČSN EN ISO 8166. Tato norma slouží pro klasifikaci životnosti bodových svařovacích elektrod při svařování určitých plechů bez povlaku, se povlakem, korozivzdorných ocelí a hliníku. Během procesu svařování musí být nastavení stroje konstantní. [11, 25]

Zkušební postup může být využit k zhodnocení následujících údajů: [25]

- Vliv materiálu nebo tvaru a rozměrů elektrod na životnost elektrod při svařování určeného materiálu.
- Vliv svařovaného materiálu na dosaženou životnost elektrod při využití stejného tvaru a rozměru svařovacích elektrod.
- Vliv svařovacích podmínek na životnost svařovacích elektrod při využití určité kombinace materiálů a tvarů svařovacích elektrod pro svařování určitého druhu materiálu.
- Vliv typu svařovacího stroje a chlazení elektrod na životnost elektrod.

Svařovací elektroda dosáhne své životnosti, když vyrobené bodové svary mají průměr svaru podle zjištění během odlupovací zkoušky menší než $3,5 \sqrt{t}$ u tří svarů zkušební vzorku pěti po sobě jdoucích vyrobených svarů. Svary, které jsou vyrobené pouze na obvodu svarové čočky jsou nevyhovující. Mezi důležité faktory, které ovlivňují životnost svařovacích elektrod je druh a samotná konstrukce svařovacího stroje. [25]

Mezi faktory pro ukončení zkoušky patří: [25]

- Dohodnuté snížení pevnosti ve střihu, například o 30 %.
- Dohodnuté podmínky, které jsou založené na mikrovýbrusech.
- Určené požadavky určené na jakost povrchu u pohledových dílů (např. vtisky svařovacích elektrod nebo porušení povrchu).
- Dohodnutá kritéria, které jsou založená na přilepování svařovacích elektrod ke svařovaným dílům.

Na životnost svařovacích elektrod má vliv i několik dalších faktorů: [11]

- Vliv uživatele a výrobce svařovacích elektrod.
- Vliv svařovacího stroje.
- Nastavení svařovacích parametrů.
- Technologické podmínky: vodní chlazení svařovacích elektrod a opotřebení svařovacích elektrod.

Při použití stejného svařovacího stroje od stejného výrobce, a při použití stejných svařovacích podmínek může být životnost elektrodových čepiček různá. V této diplomové práci se nehodnotí absolutní životnost elektrodových čepiček, ale pouze porovnáváme jednotlivé plechy s různým obsahem S v povlaku mezi sebou.

Po skončení dané zkoušky musí být sepsán protokol o zkoušce. Mezi zásadní údaje, které jsou do protokolu zapsané patří: [25]

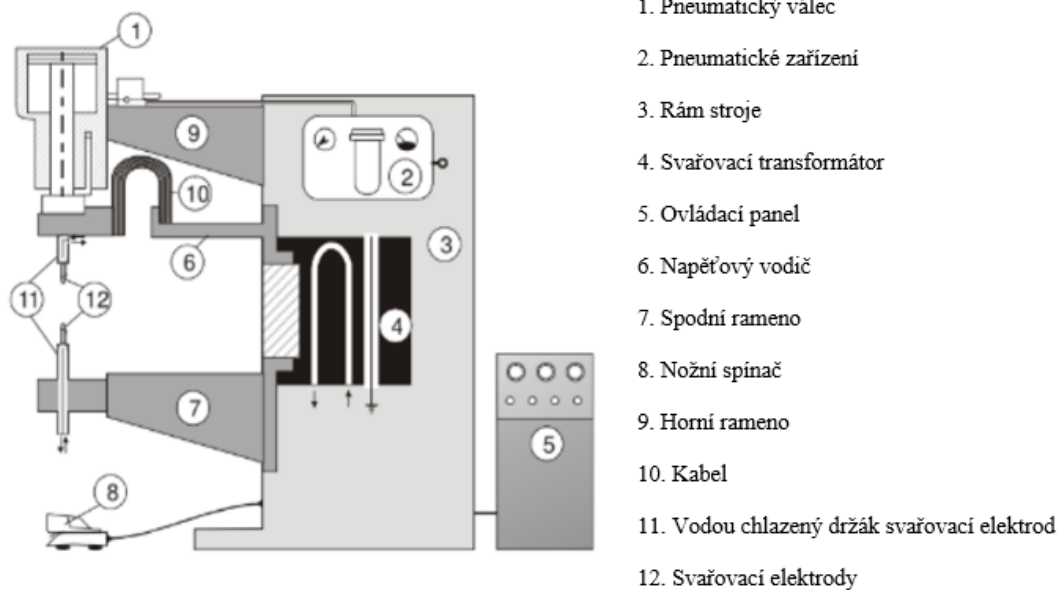
- Místo, kde byla zkouška provedena.
- Údaje o použitém typu svařovacího zdroje.
- Údaje o chlazení a typu elektrod.
- Údaje o svařovaném materiálu.
- Svařovací podmínky.
- Kritéria životnosti svařovacích elektrod.

4.7 Stroje pro odporové bodové svařování

Výběr svařovacího zařízení pro provedení spoje, je závislý na předem zvolených vhodných svařovacích parametrech a na způsobu provedení budoucího svarového spoje. Základní součástí stroje je rám. Na rám jsou dále umístěny jednotlivé komponenty a jejich konkrétní technické řešení se může lišit. Další částí je přitlačné rameno. Do ramen jsou umístěny svařovací elektrody a jeho funkcí je vyvolat potřebnou svařovací sílu. Pro automatizovanou výrobu lze využít jako zdroj svařovací síly hydraulické nebo pneumatické válce. Tyto válce musí mít vhodné parametry, a jejich volba závisí na velikosti potřebné svařovací síly. Další částí je svařovací zdroj. Svařovací zdroj využívá střídavý (AC) nebo stejnosměrný proud (DC). Častěji bývá využíván střídavý proud (AC). V experimentální části byl využit stejnosměrný proud (AC). [19]

Stroje pro odporové bodové svařování: [3, 26]

- Stabilní bodové svařovací zdroje: tyto stroje se využívají pro odporové bodové svařování s přeplátováním, dále pro svařování součástí z plechu a páskového materiálu. Tyto materiály mají maximální tloušťku 12 mm. Od ostatních svařovacích zdrojů se odlišují hlavně jiným mechanismem na vznik svařovací síly elektrod. Tento mechanismus je nožní, motorický, hydraulický nebo servopohonem. Základní schéma svařovacího stroje je na **obrázku 13**.
- Závěsné bodovací kleště: tato zařízení se využívají především na svařování velkých plechových výrobků, které se nedají lehce zvednout na stabilní svařovací stroje. Závěsné bodovací kleště lze umístit na tzv. balancér, v kombinaci s ložiskem lze se strojem snadno manipulovat. Například při výrobě karoserií automobilů a vagónů. Tyto stroje jsou však z velké míry nahrazovány roboty se svařovacími bodovacími kleštěmi, které zaujímají většinový podíl především v automobilovém průmyslu. Kleště u závěsných svářeček jsou na **obrázku 14**.
- Bodové svařovací zdroje speciální: mezi speciální patří například jednostranné bodovací kleště. Kleštěmi lze svařovat kulatiny o větších průměrech (cca 4-5 mm). Tyto kleště mají jednu přítlačnou elektrodu a ukostření z protilehlé strany. V ojedinělých případech mají tyto kleště dvě stejnostranné elektrody a měděný vodič na podložení spodního plechu. Elektrický proud protéká mezi svařovacími elektrodami a plechem. Největší nevýhodou kleští je vyvinutí větší svařovací síly, a to může mít následek u tlustších plechů za následek horší kvalitu svaru. Může také dojít ke ztrátám svařovacího proudu.
- Kleště určené pro robotické svařování: robotické svařování prochází velkým rozvojem a modernizací. Tyto stroje pracují na základě kloubového ramene, která nosí svařovací kleště. Stroj umožňuje pohyb i ve špatně dostupných místech. Robotické stroje mají největší zastoupení v automobilovém průmyslu.



Obrázek 13 Základní schéma svařovací stroje [27]

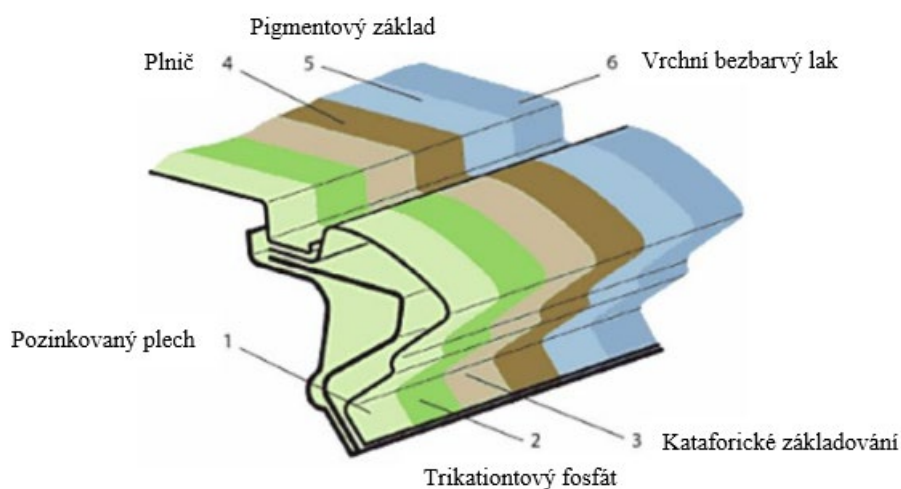


Obrázek 14 Závěsné bodovací kleště k odporovému svařovacímu zdroji [28]

5 Povrchové úpravy karoserie automobilu

Povrchové úpravy karoserií jsou velmi důležité z hlediska celkové životnosti automobilů. Na začátku procesu výroby automobilu je pozinkovaný plech, který je tvářen a svařován do konečné podoby karoserie. Plechy, které se využívají na výrobu karoserie automobilu jsou povrchově upravovány, čímž se zvyšuje odolnost proti korozi. Pouze cca 5 % plechů vyskytujících se na karoserii automobilu mohou být úplně bez povrchové úpravy, ale většinou jsou opatřeny povrchovou úpravou zabraňující korozi, čímž se zvýší životnost karoserie. Do

lakovny jednotlivé karoserie přicházejí již jako hotové svařence. Než jednotlivé karoserie automobilu dorazí do lakovny, provedou se předúpravy povrchu (odmašťování a fosfátování). Povlaky slouží, jako prostředek, který mění vlastnosti produktu i jeho vzhled. Hlavně se jedná o vlastnosti, které zlepšují tvářecí operaci, ale také zajišťující ochranu před oxidací v případě materiálů tvářených za tepla. V automobilovém průmyslu se nejčastěji používají povrchové úpravy na bázi zinku. Dále existuje mnoho speciálních povlaků (např. tenké organické povlaky). Každý typ povrchové úpravy má svoje určité silné stránky a využívají se na právě ty části karoserie, kde jsou její výhody nejvíce potřebné. V dnešní době jsou také kladeny velké nároky na kvalitu (morfologii) povrchu dílů, čemuž také přispívá vhodně zvolená povrchová úprava. Celkový komplexní systém chránící karoserii automobilu je na **obrázku 15**. [29, 30, 24]



Obrázek 15 Komplexní systém chránící povrch karoserie [31]

5.1 Pvlaky a povrchy povlaků

Význam materiálů, jejichž povrch je upraven v současné době neustále narůstá. Výzkumem v oblasti morfologie povrchu se zabývá většina předních výrobců karosářských plechů. Neustále se hledají lepší vlastnosti, jako je například lepší lisovatelnost a samotná povrchová vrstva musí plnit ochranu proti korozi. [32]

5.1.1 Ochranná funkce povlaku

V minulých letech výrazně vzrostly požadavky zákazníků na jakost protikorozi ochrany automobilových karosérií. Životnost moderního automobilu je do velké míry ovlivněna životností ocelové karoserie. Ochranné povlaky mají zajistit dobrou ochranu proti korozi

a dobrý vzhled. Životnost ochranného povlaku je nejvíce závislá na součinnosti systému: povlak – základní materiál a na tvařitelnosti povrchové vrstvy. V automobilovém průmyslu se využívají zejména plechy s povlaky nejenom na bázi zinku. Zinek má výbornou korozní ochranu, dobré elektrochemické vlastnosti, a především je levný. Jednou z nevýhod pozinkovaných plechů je jejich sklon k zadírání při operaci lisování, kdy dochází k porušení ochranného povlaku. Další z nevýhod jsou pak problémy při svařování, kdy vrstva zinku zůstává na svařovací elektrodě. [32]

5.1.2 Geometrické vlastnosti povrchů

V současné době se zpřísňují geometrické a rozměrové parametry. Kvalita povrchu plechu je vymezována již při jeho výrobě. Manipulace a přeprava mají vliv na kvalitu povrchu plechu. Mezi nejdůležitější parametry povrchu plechu patří mikrogeometrie. Mikrogeometrie povrchu ovlivňuje proces lisování a určuje vzhled povrchu karoserie automobilu po lakování. Výrobce automobilů dbají na zvyšující se nároky na mikrogeometrii povrchu. [32]

5.1.3 Metody vytváření povrchů

Každý výrobce se snaží hledat optimální morfologii povrchu plechů. V praxi se používají metody vytváření ochranných povlaků: [32]

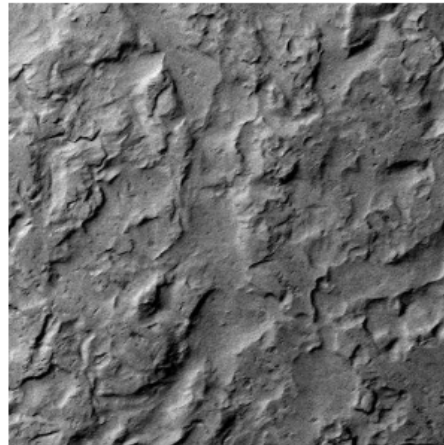
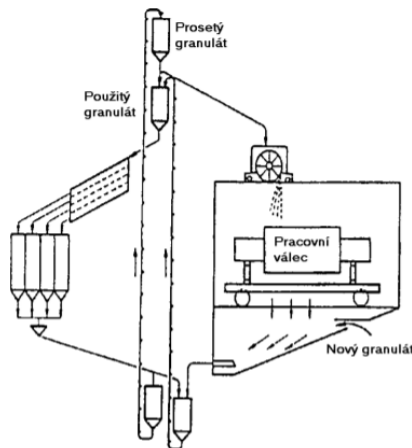
- HDG (ocelové plechy s žárově zinkovaným povlakem)
- EG (ocelové plechy s galvanicky nanášením povlaku): hlavními výhodami povlaku EG je, že proces neovlivňuje původní mechanické vlastnosti materiálů (např. hlubokatažnost), proces umožňuje přípravu velmi tenkých zinkovaných povlaků anebo umožňuje výrobu diferencovaných a jednostranných zinkových povlaků.
- EG + PH (ocelové plechy s galvanicky zinkovaným a fosfátovým povlakem)

Morfologie povrchu plechu u galvanicky zpracovaných materiálů není tak výrazná z toho důvodu, že zinková vrstva kopíruje morfologii základního materiálu, který je již po finálním drezírovacím válcování. [32]

Tvorba povrchu HDG plechů: [32]

- Metoda SBT: texturování pracovního válce metodou SBT je základáno na otryskávání pracovního válce jemným granulátem. Jemná kovová zrna – granulát jsou vrhané lopatkovým kolem na povrch rotujícího válce. Povrch pracovního válce je transformován částečnou plastickou deformací za neustálého deformačního zpevnění. Drsnost válce může být regulována pomocí obvodové rychlosti tryskacího kola, druhem

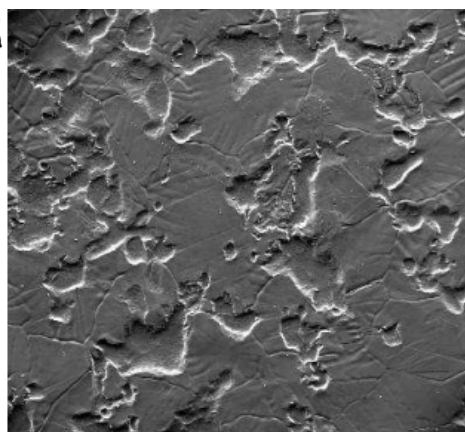
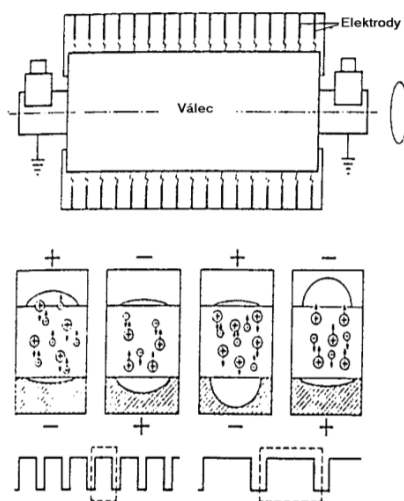
a velikostí tryskacího granulátu nebo tvrdostí válce. Výsledkem metody SBT je charakteristická textura, která se vyznačuje náhodným rozdělením kráterů. Povrchy, které jsou produkovány touto technologií matování jsou náhodné. Střední aritmetická drsnost povrchu plechu, který je vyroben válcem s texturou SBT, se pohybuje v rozmezí $R_a=1,0\div 6,0\ \mu\text{m}$. Charakteristický povrch žárově pozinkovaného plechu získaného touto metodou je na **obrázku 17**. Princip texturování je na **obrázku 16**.



Obrázek 17 Princip texturování pracovního válce metodou „SBT“ [32]

Obrázek 16 Povrch válce „SBT“, zvětšeno 500x [32]

- Metoda EDT: texturování pracovního válce metodou EDT se uskutečňuje lokálním natavením povrchu válce v dielektrickém prostředí elektrickým výbojem mezi povrchem válce a elektrodou. Při vyjiskřovacím procesu je potřebné nastavit všechny parametry tak, aby byla dosažena maximální efektivita procesu. Drsnost válce lze měnit bez ohledu na jeho tvrdost, jen velikostí napětí a vzdáleností elektrod. V porovnání s metodou SBT umožňuje metoda EDT dosáhnout většího množství vrcholků a nižší drsnost. Střední aritmetická drsnost povrchu plechu, který je vyroben válcem s texturou EDT, se pohybuje v rozmezí $R_a= 0,8\div 10\ \mu\text{m}$. Charakteristický povrch žárově pozinkovaného plechu získaného touto metodou je na **obrázku 19**. Princip texturování pracovního válce metodou EDT je na **obrázku 18**.

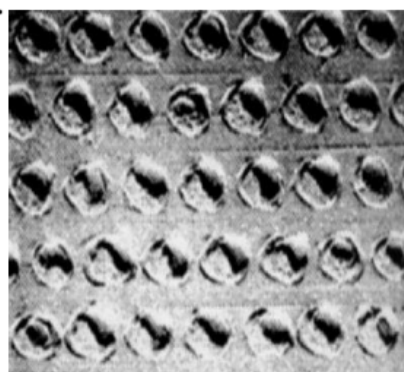
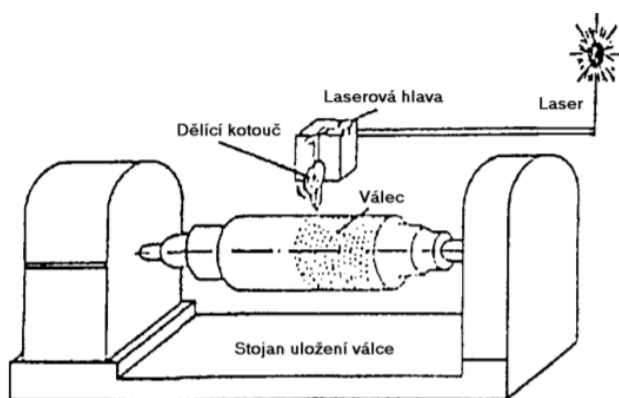


Obrázek 18 Princip texturování pracovního válce metodou „EDT“

Obrázek 19 Povrch plechu „EDT“, zvětšeno 500x [32]

[32]

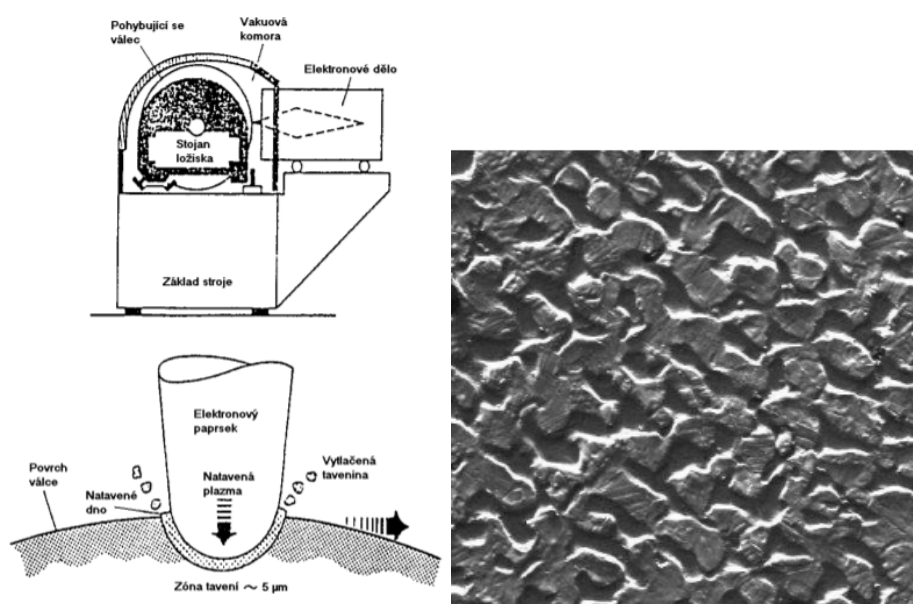
- Metoda LT: tato technologie umožňuje přípravu deterministických povrchů pomocí laserového paprsku. Roztavený koc z kráteru se zachytí jako obruba okolo kráteru a ztuhne. Pracovní válec rotuje a posouvá se v axiálním směru. Drsnost je regulována prostřednictvím energie laserového paprsku, axiálním pohybem a otáčkami dělicího kotouče. Povrchy vytvořené touto metodou mají dobré vlastnosti, ale zkušenosti se samotnou technologií poukázaly na řadu nedostatků (např. dlouhý čas matování, vysoké náklady nebo nízká účinnost laserového paprsku). Charakteristický povrch válce texturovaného metodou LT je na **obrázku 20**. Princip texturování pracovního válce metodou LT je na **obrázku 21**.



Obrázek 21 Princip texturování pracovního válce metodou „LT“ [32]

Obrázek 20 Povrch pracovního válce „LT“, zvětšeno 500x [32]

- Metoda EBT: princip texturování pracovního válce metodou EBT spočívá v natavování povrchu pracovního válce elektronovým paprskem. Proces je realizovaný ve vakuu, díky kterému má okraj kráteru čistý kovový charakter bez přítomnosti oxidů. Je možné regulovat a synchronizovat otáčení válce a frekvenci vystřelujícího elektronového paprsku tak, aby krátery měli rovnoměrně prostorové uspořádání ve všech směrech. Metodou EBT na rozdíl od jiných metod (např. LT) je možné zabezpečit pravidelnou geometrii uspořádání kráterů na povrchu válce i na velké vzdálenosti. Střední aritmetická drsnost povrchu plechu, který je vyroben touto metodou se pohybuje v rozmezí $R_a = 0,4 \div 5 \mu\text{m}$. Charakteristický povrch žárově pozinkovaného plechu získaného touto metodou je na **obrázku 22**. Princip texturování je na **obrázku 23**.

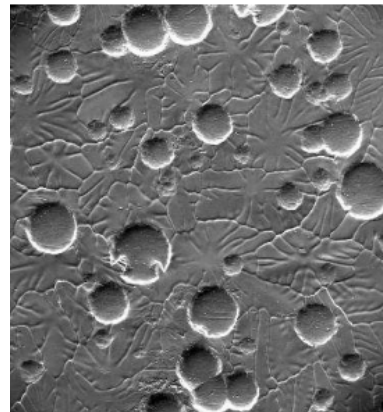
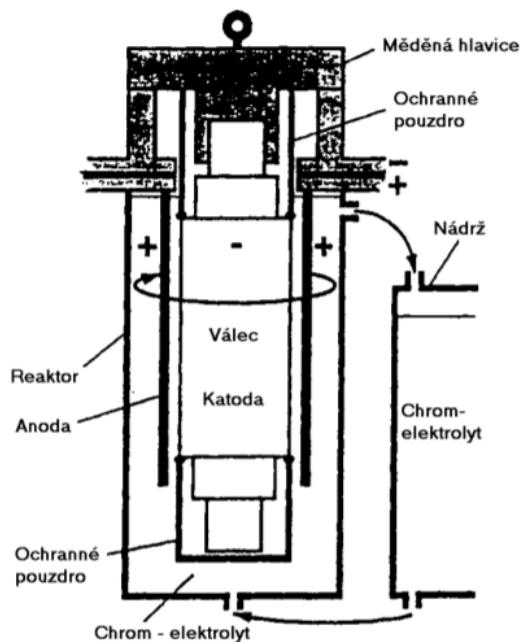


Obrázek 23 Princip texturování **Obrázek 22 Povrch plechu „EBT“,**
pracovního válce metodou „EBT“ **zvětšeno 500x [32]**

[32]

- Metoda Pretex: Proces texturování pracovního válce metodou PRETEX je založen na galvanickém vyloučení chromu na povrchu pracovního válce. Reaktor s náplní chromového elektrolytu tvoří anodovou klec a ionty chromu se vylučují na povrchu válce v kovové formě. Metoda Pretex zabezpečuje vznik rovnoměrných veličin drsnosti po celém povrchu válce. Válcovaný materiál je používány zejména v automobilovém průmyslu pro vnitřní i vnější díly karoserií, které jsou vystaveny vysokým požadavkům s ohledem na tvar a jemný lak dílu. Střední aritmetická drsnost povrchu plechu, který je vyroben touto metodou, se pohybuje v rozmezí $R_a = 0,2 \div 20 \mu\text{m}$. Charakteristický

povrch žárově pozinkovaného plechu získaného touto metodou je na **obrázku 24**. Princip texturování je na **obrázku 25**.



Obrázek 25 Princip texturování pracovního válce metodou „PRETEX“ [32]

Obrázek 24 Povrch plechu „PRETEX“, zvětšeno 500x [32]

Všechny zmíněné metody mají společný cíl (hledání druhu povrchu, který je optimální pro lisovatelnost a pro kvalitu laku). Zatím nelze říct, který z povrchů je nejvhodnější a v současné době se pro výrobu karoserie automobilu využívají všechny uvedené metody zhotovení povrchu plechu. Účelem je upravit jakost povrchu na úroveň vyhovující pro daný druh povlaku. [32, 33]

5.2 Sled povrchových úprav karoserie automobilu

Pro vyhovující funkci a korozní odolnost povrchové úpravy materiálů je klíčové vhodně navrhnout technologický postup a starat se na jeho správném dodržení. Celý systém povrchových úprav se skládá z předúprav povrchu, aplikací povrchové úpravy a finálních úprav. [34, 35]

5.2.1 Odmašťování

Odmaštěním se rozumí odstranění všech usazených nečistot z povrchu kovu. Tyto nečistoty jsou na kov vázány fyzikální absorpcí (látky tukového charakteru) nebo adhezními silami (anorganické nečistoty, kovové třísky, apod...). Jejich energie vazby ke kovovému povrchu je výrazně menší než u nečistot, které jsou vázány chemicky. Tyto nečistoty lze odstranit jednodušeji a bez poškození kovového povrchu. Odmaštění je velmi důležité při galvanickém

pokovování. Nečistoty jsou uvolněny a následně odvedeny z povrchu karoserie automobilu pomocí roztoku. U galvanického pokovování je odmaštění jednou z nejdůležitějších operací. Zde musí být provedeno dokonale. [35, 36, 37]

Samotný způsob odmaštění lze provést několika způsoby: [33, 35]

- Odmašťování v organických rozpouštědlech: patří mezi nejrozšířenější způsoby odmašťování. Jeho velkou výhodou je jednoduchost procesu. Nelze ho využívat na velké povrchy a na odstraňování heteropolárních nečistot (anorganické soli, pot, apod...)
- Odmašťování v alkalických rozpouštědlech: široké uplatnění tohoto způsobu je dáno dostatečnou surovinovou bází klasických anorganických solí.
- Elektrolytické odmašťování: tímto způsobem se dosahuje nejlepšího odmašťování. Tento způsob se zařazuje před citlivé povrchové úpravy.

5.2.2 Fosfátování

Technologie fosfátování se hojně využívá pro zvýšení protikorozní ochrany a patří k nejrozšířenějším způsobům přípravy ocelí nebo pozinkovaných plechů. Dále slouží pro zajištění výborné přilnavosti dalších vrstev a ochránění kovového povlaku proti působení vody. Fosfátové povlaky patří mezi anorganické povlaky. Tyto povlaky jsou tvořeny nerozpustnými krystalky terciálních fosforečnanů – manganatého nebo zinečnatého. Karoserie automobilu, která je odmaštěna a zbavena veškerých nečistot se ponoří do fosfatizační lázně a na povrchu se pak vlivem chemických reakcí produkuje fosfátový povlak. Na začátku musí karoserie projít předúpravou v několika krocích. Karoserii je důležité očistit od mechanických nečistot a prachu (způsobeného broušením), odmastit postříkem alkalického odmašťovače a poté odmastit ponorem celé karoserie do lázně s odmašťovacím médiem, aby se odmastila špatně dostupná místa (např. dutiny). Následuje odstranění přebytečného odmašťovacího média. Po těchto krocích je možno karoserii tzv. aktivovat. Aktivace představuje vytvoření krystalizačních center a zárodků pro vlastní fosfátování a pak na řadu přichází fosfátování. Ponorem do lázně se na zaaktivované karoserie se vytvoří ochranná vrstva. Tato vrstva má tloušťku cca 5 μm a zvyšuje přilnavost dalších vrstev antikoroze ochrany. Po provedeném oplachu ponorem, kdy se z dutin a interiéru karoserie odstraní fosfátovací médium, je potřeba provést pasivaci vrstvy v roztocích solí zirkonu ponorem, která slouží k uhlazení a zhutnění mikroskopických krystalků fosfátu. Po dokončení všech těchto kroků je možno vytvořit na povrchu základní ochranou vrstvu pomocí kataforického lakování. [34]

Podle druhu použitého činidla vznikají rozdílné fosfátové povlaky: [38]

- Manganaté: teplota lázně se pohybuje v rozmezí 70-80 °C. Výsledek je tmavý povlak, který se tvoří 5-10 minut. Tento způsob se využívá tam, kde je potřeba snížit tření.
- Železnaté: teplota lázně se pohybuje v rozmezí 50-60 °C. Doba expozice v lázni je 1-5 minut. Vzniká konverzní vrstva, která je velice tenká, tudíž poskytuje minimální ochranu, proto se používá především jako mezivrstva pod lakování nebo jako mezioperační ochrana.
- Zinečnaté: teplota lázně se pohybuje v rozmezí 40-70 °C. Výsledkem je tmavě šedý až černý povlak. Povlak se tvoří v lázni 3-10 minut. Nejčastěji se využívá jako podklad pod organické povlaky.
- Zinečnato-vápenaté: pracovní lázeň je velmi podobná železnaté lázni. Vzniká krystalická vrstva, která má velmi jemnou globulární strukturu. Povlak se tvoří po 5-10 minutách v lázni o teplotě 50-70 °C. Nejčastěji se využívá jako podkladová vrstva nátěrových systémů nebo jako náhrada zinečnatého fosfátování.

Všechny tyto povlaky se liší svou tloušťkou, četností krystalů, krystalickou strukturou, tvrdostí a štěpností. Všechny uvedené povlaky zlepšují přilnavost laku k základovému materiálu.

5.2.3 Kataforické lakování

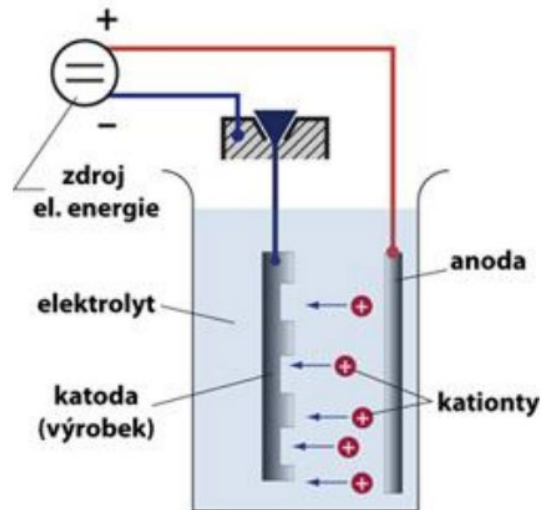
Tento druh lakování patří k nejhospodárnějším způsobům lakování ocelových pozinkovaných plechů. Kataforéza hraje klíčovou roli v tom, jak dlouho automobil vydrží z hlediska koroze. Kataforézní lakování je vykonáno ponořením do lázně. Vyloučení ochranné vrstvy tloušťky 15 až 20 μm je docíleno elektrochemickou reakcí. Touto reakcí se zajistí dobrá antikorozní ochrana spojů, hran a dutin karoserie. Veškerá povrchová úprava karoserie auta začíná již při jejím svařování, protože pro výrobu jsou využívány zejména pozinkované plechy. Povrchové plechy jsou galvanicky zinkovány do tloušťky povlaku 8 μm , vnitřní plechy jsou žárově zinkovány do tloušťky povlaku 10 μm . Před samotným lakováním je důležité, aby konkrétní kus byl pečlivě očištěn od mastnot, mechanických nečistot a korozních zplodin. Kataforézní linka je na **obrázku 26**. Velkou předností kataforického lakování je vysoká zabíhavost i do nepřístupných míst, celý proces je automatizován a dosahuje se rovnoměrné tloušťky povlaku. Nevýhodou je investiční náročnost, nebo požadavek na použití speciálních barev. [34, 39, 40]



Obrázek 26 Kataforézní linka [40]

5.2.4 Galvanické zinkování

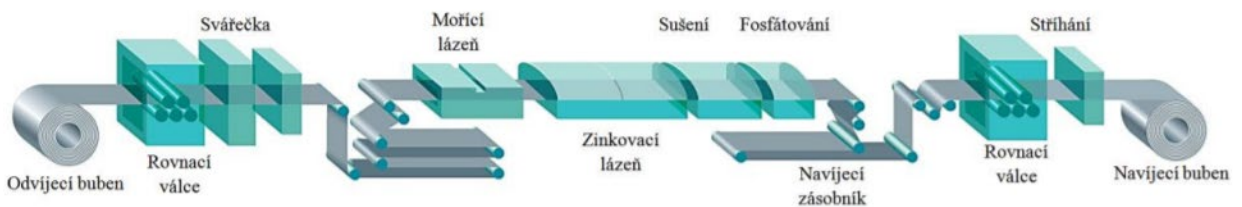
Metoda galvanického zinkování je v dnešní době velmi rozšířená metoda. Při galvanickém pozinkování se dosahuje velmi čisté a tudíž (tvárné) Zn vrstvy, která odolává i značným přetvořením. V protikorozní ochraně zinek spadá mezi nejpoužívanější kovy a patří k anodicky chránící povlaky. U galvanického zinkování se na začátku musí plech odmastit a poté očistit mořením. Plech se zavěsí do vodného roztoku zinečnaté soli (elektrolyt) a zapojí se jako katoda ke zdroji stejnosměrného proudu. Deska z čistého zinku se zapojí jako anoda. V momentě, kdy se zapojí elektrický proud, zinek se rozpouští z anody a ve formě zinečnatých iontů směřuje ke katodě. Na katodě se vylučuje na povrch plechu. V případě správně zvoleného technologického postupu nedochází ke změně mechanických vlastností materiálů (např. hlubokotažnost). V případě špatně zvoleného technologického postupu, nebo jeho nedodržením může dojít k výskytu vad (např. vodíková křehkost, která vede ke změně mechanických vlastností materiálů). Metoda galvanického zinkování povoluje přípravu tenkých zinkovaných povlaků a dochází zde k jednoduché kontrole kvality povrchu. Mezi nevýhody patří náročná likvidace odpadních produktů, nebo velikost zinkovacích lázní je omezená. Schéma galvanického zinkování je na **obrázku 27**. Schéma linky galvanického zinkování plechu je na **obrázku 29**. [40, 41, 42]



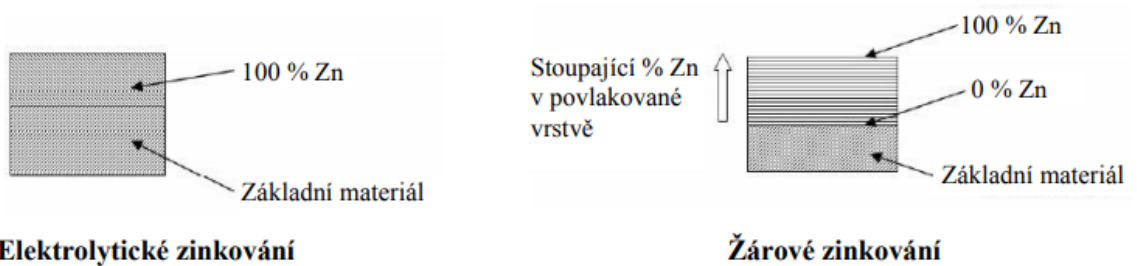
Obrázek 27 Schéma galvanického zinkování [43]



Obrázek 28 Řez galvanicky naneseným povlakem zinku [44]



Obrázek 29 Schéma linky pro galvanické zinkování [45]



Obrázek 30 Rozdíl ve složení povlaku mezi galvanickým (elektrolytickým) a žárovým zinkováním [8]

5.2.5 Žárové zinkování

Žárové zinkování je velmi využívaný způsob ochrany karoserií. Tento způsob je v dnešní době zcela automatizován. Zajišťuje bezpečnou ochranu karoserie proti korozi. Pokud je povrch oceli znečištěn barvou, například ve vodě nerozpustnou označovací barvou, nebo struskou po svařování, musí se tyto nečistoty nejprve mechanicky odstranit tryskáním nebo broušením. Zamaštění povrchu se nejčastěji odstraňuje alkalickým nebo kyselým odmašťováním. Po alkalickém odmaštění následuje oplach, který je u kyselého odmašťovacího přípravku možno vynechat. Moření probíhá v kyselině chlorovodíkové (cca 10 až 12 %) nebo v kyselině sírové (max. 20 %). Pro zvýšení účinnosti moření mořicí lázeň obsahuje železnaté soli. Před ponořením do roztaveného zinku se musí nejprve nanést tavidlo, které má zabránit tvorbě oxidů a zároveň rozpustit oxidy na povrchu oceli a roztaveného zinku, takže dojde k přímému vzájemnému kontaktu obou kovů. To lze provést buď suchým nebo mokřým zinkováním. Kvalita samotné zinkovací vrstvy závisí na složení zinkové lázně, složení zinkované oceli nebo přípravě a stavu povrchu pokovovacích dílů. Podrobnější popis pro automobilový výrobu je v kapitole **Žárové zinkování ocelového pásu**. [40, 44]

Výhody žárového zinkování: [44]

- Dlouhá životnost pozinkovaného dílu, nízké náklady na opravy – pozinkovanou součást nebo konstrukci není nutné v průběhu její životnosti opravovat.
- Zinkový povlak je odolný proti mechanickým vlivům a zatížení.
- Pozinkovanou ocel lze svařovat všemi metodami svařování.
- Nízké vstupní náklady.

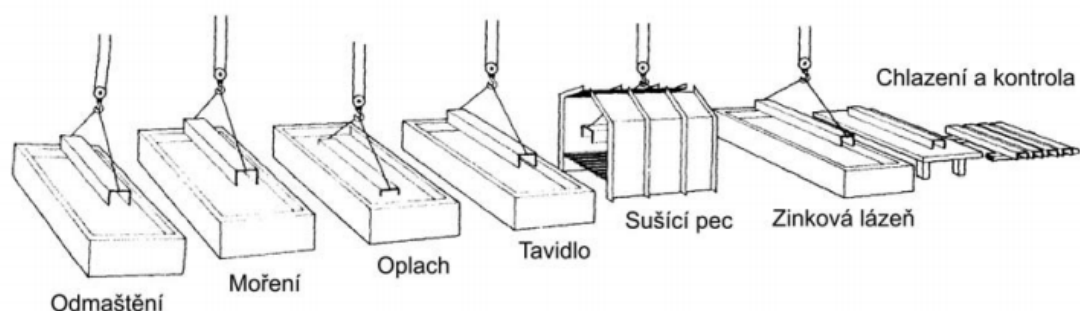
Nevýhody žárového zinkování: [44]

- Zinkované součásti jsou omezeny velikostí zinkovací vany – při konstrukci rámu automobilu je nutnost rozdělit rám na jednotlivé nosníky, které jsou ponořené do zinkovací vany, po ukončení zinkování teprve dochází ke spojení jednotlivých nosníků.
- Určité riziko u povrchů tvářených za studen, například tenkých plechů nebo profilů, které se deformují vlivem tepla v zinkovací lázni.

Suchý způsob zinkování

Po odmaštění, moření a oplachu se součásti ponoří do tavidlové lázně (což je vodný roztok chloridu zinečnatého a chloridu amonného), a usuší se. Regenerací tavidla se udržuje nízký obsah železa (cca 1 g/l). což napomáhá snižovat produkci tvrdého zinku v zinkové lázni.

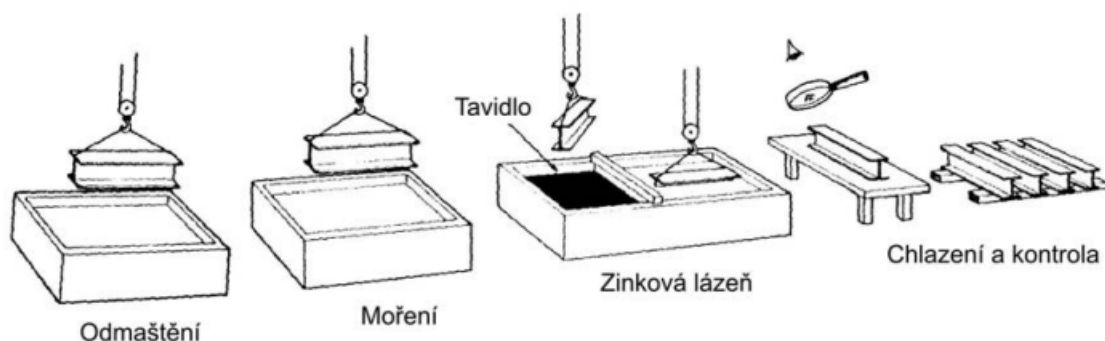
Ponořením do tavidla se na povrchu kusu vytvoří lehká vrstva tavidla. Tato vrstva tavidla zabraňuje oxidaci. Vrstva tavidla dále čistí hladinu roztaveného zinku od oxidů při ponořování jednotlivých kusů. Před ponořením a vynořením součásti se z hladiny roztaveného zinku stírá popel ze spáleného tavidla a oxidy zinku. Následně po vytažení ze zinku se součásti ochladí ve vodě nebo na vzduchu. Schéma suchého způsobu zinkování je na **obrázku 31**. [44]



Obrázek 31 Žárové zinkování na suchý způsob [44]

Mokrý způsob zinkování

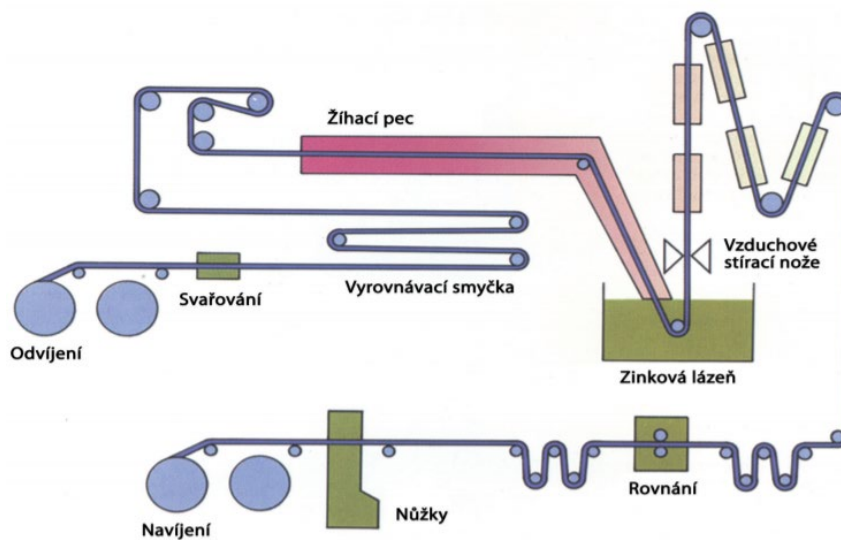
Při tomto způsobu zinkování je hladina lázně rozčleněna na dvě části. Mezi oběma částmi je přepážka. Vrstva tavidla se nachází na hladině zinkovací lázně. V tomto případě je tavidlo ve formě chloridu amonného. Po odmaštění a odmoření se součást ihned ponořuje přes vrstvu tavidla do zinkovací lázně. Poté se součást protáhne lázní do části, kde je čistá a volná hladina zinku bez tavidla. Z povrchu součásti se odstraňuje popel ze spáleného tavidla a oxidy zinku. Následuje vytažení ze zinkovací lázně a ochlazení na vzduchu, nebo ve vodě. Tato metoda zinkování patří k méně běžnějším. Mezi výhody patří, že není nutné sušení po ponoru do tavidla, jelikož zinkování probíhá okamžitě. Tato metoda zinkování se využívá spíše pro méně rozměrné součásti. Oba zmíněné způsoby zinkování zaručují shodné povlaky z hlediska ochrany proti korozi a kvality. Schéma mokrého způsobu zinkování je na **obrázku 32**. [44]



Obrázek 32 Žárové zinkování na mokrý způsob [44]

Žárové zinkování ocelového pásu

Tenké plechy pro automobilový průmysl se žárově zinkují v kontinuálních zařízeních, kde je celý proces propojen do uzavřeného systému. Základním materiálem je za studena válcovaný plech ve svitcích. Tyto svitky se během procesu svařují do nekonečného pásu. Po odmaštění se pás moří nebo oxiduje. Při teplotě 950 °C se povrch pomocí redukce zbaví oxidů. Během toho probíhá změkčovací žihání oceli. Povrch oceli je kovově čistý a v ochranné atmosféře vstupuje přímo do zinkovací lázně. Po několika sekundách v zinkovací lázni vystupuje ocelový pás kolmo vzhůru a prochází mezi tzv. vzduchovými stíracími noži. Tyto nože jemným proudem vzduchu nebo páry stírají zinkový povlak na požadovanou tloušťku. Přes ochlazovací sekci, rovnání a úpravu, kde se provádí ochrana proti tvorbě bílé rzi se ocelový pás vede k formátovacím nůžkám a následně dochází k navíjení se na svitky. Schéma žárového zinkování kontinuálního plechu je na **obrázku 33**. [44]



Obrázek 33 Kontinuální žárové zinkování plechu [44]

Vliv pozinkované oceli na svařování

Ocel s povlakem zinku se bez problémů svařuje stejnými metodami a podobným způsobem jako ostatní oceli. Ovšem povlak ovlivňuje průběh svařování, proto se nedají využít stejné parametry svařování jako při svařování oceli bez povlaku. Jak hodně ovlivňuje povlak průběh svařování, záleží na jeho struktuře, tloušťce a chemickému složení. Povlak ovlivňuje svařovací proces změnou podmínek pro průchod svařovacího proudu (elektrická a tepelná vodivost, teplota tání) a tím i podmínek pro tvorbu svaru. Druh a tloušťka povlaku rozhodují o metalurgickém a tepelném namáhání pracovní části elektrod. Hlavními problémy při

svařování pozinkovaných ocelí je např. menší průvar, velký rozstřík, větší tvorba pórů, tvorba mezikrystalických prasklin, nebo škodlivost exhalací oxidu zinečnatého. U tenkých plechů je třeba dbát na nízké tepelné zatížení částí konstrukce z důvodu možné deformace. Při hodnocení svařitelnosti ocelových plechů je nutné posuzovat kvalitu svarových spojů vždy z hlediska provozních podmínek, kterým bude svařovaná konstrukce vystavena. V automobilovém průmyslu se pro svařování pozinkovaných ocelí nejvíce využívá odporové bodové svařování. Určování bodové odporové svařitelnosti ocelových plechů s povlaky je obtížné, neboť se jedná o komplexní charakteristiku zahrnujících mnoho faktorů. [44, 46]

5.2.6 Utěsnění spojů

Utěsňování spojů dochází ve dvou krocích: [39]

- Hrubé
- Jemné

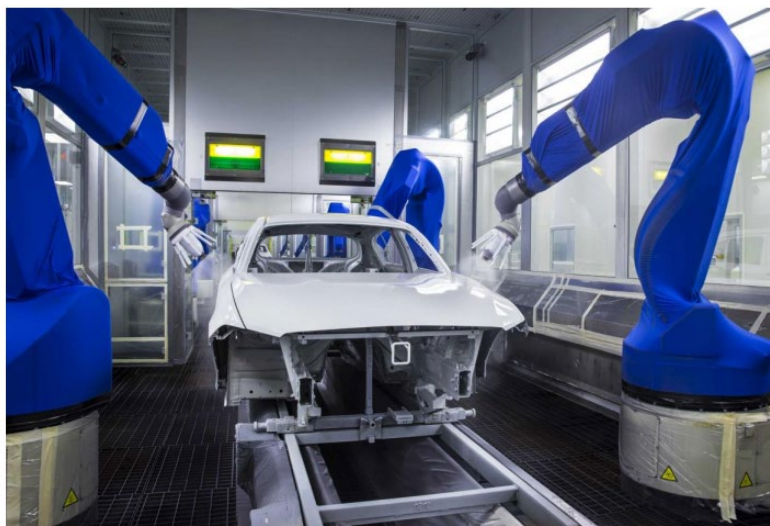
Oba způsoby se provádí pomocí těsnících spojů na bázi polyvinylchloridu. To zajišťuje dobrou voděodolnost. Dále to přispívá k odhlučení karoserie automobilu. Kromě korozní ochrany je důležité podrobné ošetření podlahy a podvozku. Toto ošetření se provede PVC plastizoly na bázi polyvinchloridu po utěsnění. Tato vrstva chrání spodní část vozu před poškozením odlétávajícími kamínky. [39]

5.2.7 Aplikace plniče

Na karoserii se v dalším kroku nanáší vodou ředitelný plnič. Technologie je ve většině případů plně automatizována a probíhá pomocí zařízení s rotačními zvony. Rychlost otáčení zvonu je 20000-40000 otáček za minutu. Tato dosažená rychlost zajišťuje stejnosměrný nános barvy a minimální odpad. Úkolem plniče je vyrovnat drobné nerovnosti pro dokonalý vzhled vrchního laku. Tloušťka vrstvy plniče se pohybuje kolem 35 μm . Nanášení plniče na karoserii je na **obrázku 34**. [47]

Plnič je následně vypalován ve dvou stupních: [47]

- Při teplotě 70 °C po dobu pěti minut.
- Při teplotě 160 °C po dobu patnácti minut.



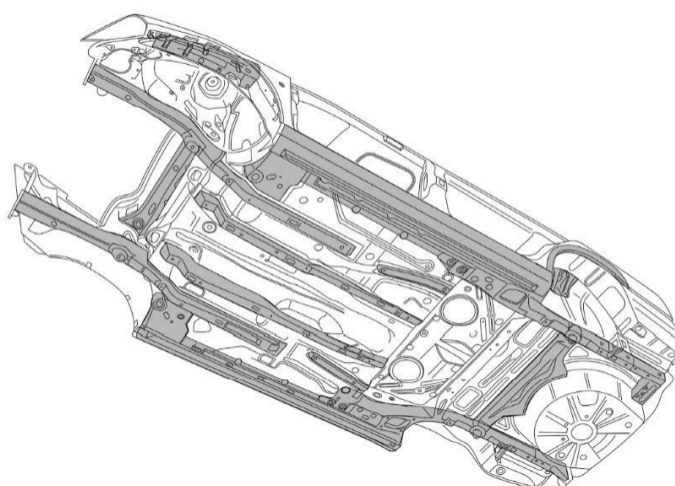
Obrázek 34 Nanášení plniče na karoserii automobilu [48]

5.2.8 Lakování

Po aplikaci plniče jde na řadu nanesení pigmentové vrstvy. Tato vrstva dává autu výsledný barevný odstín. Touto vrstvou může být buď pigmentový základ (pigment bez metalizového efektu) nebo metalíza. Toto nanášení probíhá pomocí zařízení s rotačními zvony. Po následném mezisušení při teplotě 170 °C je na karoserii nanášen bezbarvý lak. Díky této vrstvě tloušťky 35-45 μm má karoserie vysoký lesk a lepší odolnost proti vnějším vlivům okolního prostředí (UV záření, emise z ovzduší a další chemické vlivy). Vrchním lakem ale ještě celá povrchová úprava nekončí. Při poslední kontrole se zjišťuje, jestli je vůz dokonale nalakován a v případě nalezení vady se provedou dané úpravy. Výhodou lakování je velký výběr odstínů dle požadavků zákazníka. Ovšem nevýhodou jsou velké nároky na dodržení technických parametrů. [47, 49]

5.2.9 Konzervace dutin a spojů

Zajišťuje kompletní antikorozi ochranu. Konzervace dutin probíhá vodouředitelným voskem. Tento vosk je pomocí trysek vstřikován do dutin. Vosk je zahřátý na teplotu 120 °C. Neobsahuje organická rozpouštědla, je šetrný k životnímu prostředí. Konzervační vosk vyprodukuje na vnitřních plochách vrstvu 25-45 μm . Vzhledem k dobré penetraci se dostane i do kapilárních spár v dutinách, díky tomu zabrání korozi napadení určitých míst. Z lakovny odcházejí karoserie do haly konečné montáže. [31, 39]



Obrázek 35 Přehled konzervovaných dutin [31]

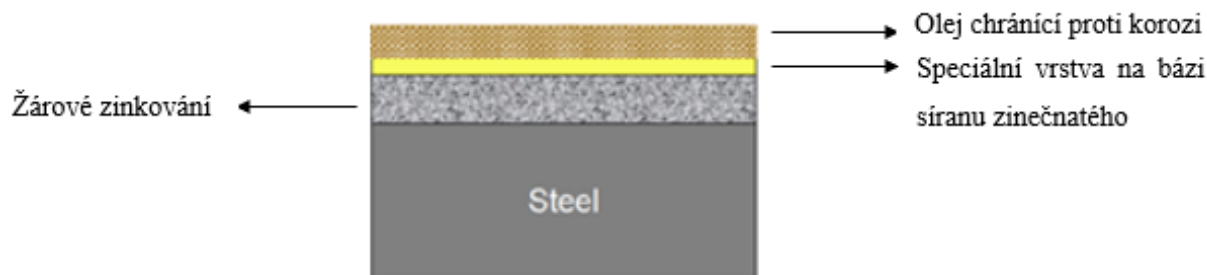
5.3 Speciální vrstva na bázi síranu zinečnatého

Na zinkové povlaky se pro zlepšení tvářecích vlastností nanáší další tenké vrstvy. Jednou z nich je např. speciální vrstva na bázi síranu zinečnatého. Jedná se o povlak aplikovaný na povrch oceli s cílem zlepšit třecí podmínky a konverzní ochranu zinkového povlaku. Výsledkem je výrazně lepší tvařitelnost materiálů. Jedná se o síran zinečnatý $ZnSO_4$, který je známý pod názvem bílá skalice. Chemicky jde o povlak na bázi zinečnatých solí. Jedná se o tenkou vrstvu, které leží na vrstvě zinku. Vrstva na bázi síranu zinečnatého je tak tenká, že se neměří v μm , ale udává se obsahem síry g/m^2 . Pozinkované plechy se speciální vrstvou se používají např. při výrobě bočních dveří u Fabie apod. od roku 2005. Speciální povrchová vrstva na povrchu součásti není nikdy patrná, ale nese s sebou z hlediska tvařitelnosti velmi užitečné vlastnosti. [50]

Mezi vlastnosti vrstvy s pozitivním vlivem na tvářecí proces patří zejména: [50]

- Nízký koeficient tření.
- Menší znečištění tvářecích strojů.
- Zlepšení tažnosti.
- Minimální závislost na množství oleje.
- Nízká citlivost na druh oleje.

Rovnoměrný povlak lze získat postříkem, vytlačáním nebo chemickým povlakováním. [10]



Obrázek 36 Pozinkovaný ocelový plech se speciální povrchovou vrstvou [50]

5.4 Povlak na bázi siluminu (Al-Si)

Pro ochranu před působením oxidace během ohřevu při tvářecím procesu se ocelové plechy povlakuji žárupevnou vrstvou Al-Si. Tento povlak se využívá v automobilovém průmyslu na materiály, které jsou termomechanicky zpracované, například ocel 22MnB5. Povlak Al-Si chrání termomechanicky zpracovaný plech před vysokoteplotní oxidací, která předchází tvářecímu procesu probíhajícímu za vysokých teplot (850–950 °C) a tvorbě okují. Toto výrazně zlepšuje časovou a finanční úsporu. Tato vrstva je odolná také proti nízkoteplotní korozi. [51]

Vliv povlaku Al-Si na svařitelnost

Vzhledem k intermetalickým fázím (vznikají právě během ohřevu při tvářecím procesu) různého složení v různých vrstvách povlaku dochází k ovlivnění svařovacího procesu. Při odporovém bodovém svařování plechů s povrchovou vrstvou Al-Si, musí být dodrženy předepsané tloušťky vrstev povlaku, protože překročení povolené tloušťky, zejména difuzní vrstvy, vede ke zvýšení elektrického odporu povlaku. Čím větší je elektrický odpor, tím se zvyšuje i teplota, tím pádem dochází k velkému natavování svarové oblasti a může dojít k rozstříku svarového kovu. Tento rozstřík má za následek zmenšení průměru bodového svaru, který je menší než předepsaný bodový svar, a to vede ke snížení pevnosti svaru. [51]

6 Experimentální část

Praktická část diplomové práce je zaměřena na porovnání plechů s různým obsahem síry v povrchové vrstvě pro zlepšení tvářecích vlastností, z hlediska odporové svařitelnosti. Cílem bylo ověřit, zda různé obsahy síry v povlaku mají různý vliv na svařovací proces. V laboratoři proběhl návrh nástřihového plánu a následné nástřihání materiálu pro svařování. Svařeny byly sady vzorků s různým obsahem S v povlaku pomocí odporového bodového svařování s nastavenými vždy stejnými svařovacími parametry. Tyto svary byly dále hodnoceny různými zkouškami. Na závěr proběhlo vyhodnocení těchto analýz a porovnání životnosti bodových svařovacích elektrod. Svařování proběhlo v laboratoři odporového bodového svařování, ústavu strojírenské technologie, ČVUT v Praze.

6.1 Použitý materiál

Pro experimentální část byly použity ocelové pozinkované plechy o tloušťce 0,6 mm (materiál DX56D + Z100MC). Zkoumané plechy se lišily množstvím síry v povrchové vrstvě (**tabulka 7**). Proces nanášení síranu zinečnatého probíhá mokrou cestou. Na konci procesu dochází k sušení. Teplota sušení pro vzorky s množstvím síry 0-40 mg S/m² v povrchové vrstvě byla 115 °C. Cílem bylo i zjistit, zda také teplota sušení má na svařování vliv. Proto byly zkoumány také vzorky s množstvím síry 20 mg S/m² v povrchové vrstvě sušených při teplotách 100 °C (dolní hodnota nastavení pece) a 130 °C (horní hodnota nastavení pece). Identifikace a kontrola povrchové vrstvy byla provedena na Dopravní fakultě Jana Pernera Univerzity Pardubice, změřením mg S/m² (na obou stranách plechu) na spektrálním analyzátoru ElvaX IV Light. Základní materiál DX56D je hlubokotažný plech, který se využívá v automobilovém průmyslu pro lisování tvarově složitých výlisků a na výrobu karoserie automobilu. Chemické složení materiálu je v **tabulce 3**. Mechanické vlastnosti materiálu jsou v **tabulce 4**. Vlastnosti povlaku jsou v **tabulce 5**. Rozbor použitého materiálu je v **tabulce 6**. Chemické složení je dané normou. Součástí této diplomové práce nebylo ověření chemického složení.

Tabulka 3 Chemické složení materiálu DX56D+Z100MC [52]

C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Ti [%]
0,12	0,50	0,60	0,10	0,045	0,30

Tabulka 4 Mechanické vlastnosti materiálu DX56D+Z100MC [52]

Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	Mez pevnosti R_m [MPa]	Tažnost $A_{80\text{ mm min}}$ [MPa]
120-180	260-350	41

Tabulka 5 Vlastnosti povlaku Z100MC [52]

Minimální hmotnost povlaku pro obě plochy [g/m ²]	Teoretické hodnoty tloušťky povlaku pro plochu při měření na jednom místě [μm]
100	7

Tabulka 6 Rozbor materiálu DX56D + Z100MC

DX 56D	„katalogové“ označení materiálu. Jedná se o žárově pozinkovaný plech vysoké jakosti s přesně definovaným způsobem výroby. Žárové pozinkování se děje spojitým průchodem plechu zinkovací lázni. V zinkové lázni musí být minimálně 99 % zinku.
Z100	Tato hodnota udává, kolik gramů má být naneseno na jeden m ² . Pro toto označení to znamená 100 gramů zinku na 1 m ² .
MC	Tato hodnota udává provedení a jakost povrchu

Tabulka 7 Množství síry v povrchové vrstvě

0	Bez obsahu síry
10	10 mg S/m ²
20	20 mg S/m ²
30	30 mg S/m ²
40	40 mg S/m ²
100	100 °C (20 mg S/m ²)
130	130 °C (20 mg S/m ²)

6.2 Návrh experimentu

Příprava nástřihového plánu, stříh materiálu a svařování probíhalo v laboratoři odporového bodového svařování.

Praktická část a následné vyhodnocení proběhlo v jednotlivých fázích:

1. Příprava nástřihového plánu.
2. Stříh materiálů na pákových nůžkách. (**obrázek 37**).
3. Svaření vzorků na odporovém lisu (**obrázek 38**).
4. Monitorování svařovacích parametrů pro všechny provedené svary pro porovnání jednotlivých plechů s různým množstvím síty v povlaku mezi sebou.
5. Zjištění vlivu míry opotřebení elektrodové čepičky na velikost svařovacího proudu.
6. Statická zkouška stříhem svarových spojů.
7. Měření průměrů svarových čoček na přetrhaných vzorcích.
8. Metalografická analýza.
9. Vyhodnocení výsledků a porovnání životnosti bodových svarů.



Obrázek 37 Pákové nůžky na stříh materiálu

6.3 Svařovací zařízení

Odporové bodové svařování proběhlo v laboratoři odporového svařování na ČVUT na odporovém lisu PMS 11-4 (**obrázek 38**) od firmy DALEX s výměnou armaturou, pneumaticky poháněný. Jedná se o středo-frekvenční inventar [1000 Hz]. Odporový lis má řídicí jednotku SER a řídicí software SER MEGA 2. Měření probíhá přímo na elektrodách a umožňuje monitorovat svařovací parametry pro každý svařový spoj. Pro ovládání svařovacího stroje byl použit nožní spínač. V průběhu bodového svařování byly využity elektrodové čepičky 39D 1978-1 (**obrázek 39**). Průměr kontaktní plochy elektrodové čepičky je 5 mm. Materiál elektrodových čepiček je CuCr1Zr. Chemické složení elektrodových čepiček je v **tabulce 9**. Charakteristika svařovacího stroje je uvedena v **tabulce 8**.



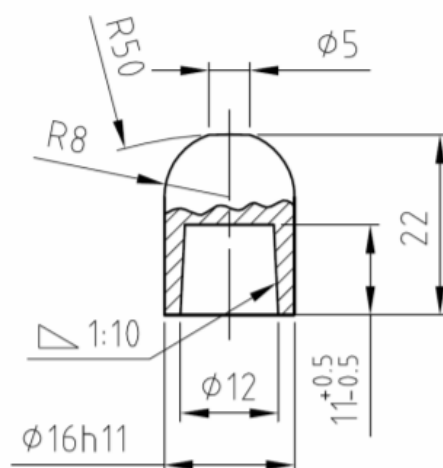
Obrázek 38 Odporový lis PMS 11-4

Tabulka 8 Charakteristické vlastnosti odporového lisu PMS 11-4

Typ	SM 677 66 1
Sériové číslo	AZM/N-33887
Jmenovitý výkon	180 kVA=180 kW
Jmenovité primární napětí	400 V
Svařovací výkon	270 kVA=270 kW
Napětí naprázdno	Od 0 do 9 V
Zkratový proud	38 kA
Maximální svařovací proud	30 kA
Průtok chladicí kapaliny	12 l/min
Rozsah svařovací síly	200 až 6000 N
Hmotnost	615 kg
Délka výložníku ramen	550 mm
Vzdálenost mezi rameny (min/max)	115/415 mm
Poloha svařování	Vertikální
Pohon svařovací hlavy	Pneumatický



Obrázek 39 Elektrodové čepičky 39D 1978-1



Obrázek 40 Výkres elektrodové čepičky 39D 1978-1 [53]

Tabulka 9 Chemické složení elektrodové čepičky 39D 1978-1 [53]

Cu [%]	Cr [%]	Zr [%]
98,98	0,9	0,12

6.4 Svařovací parametry

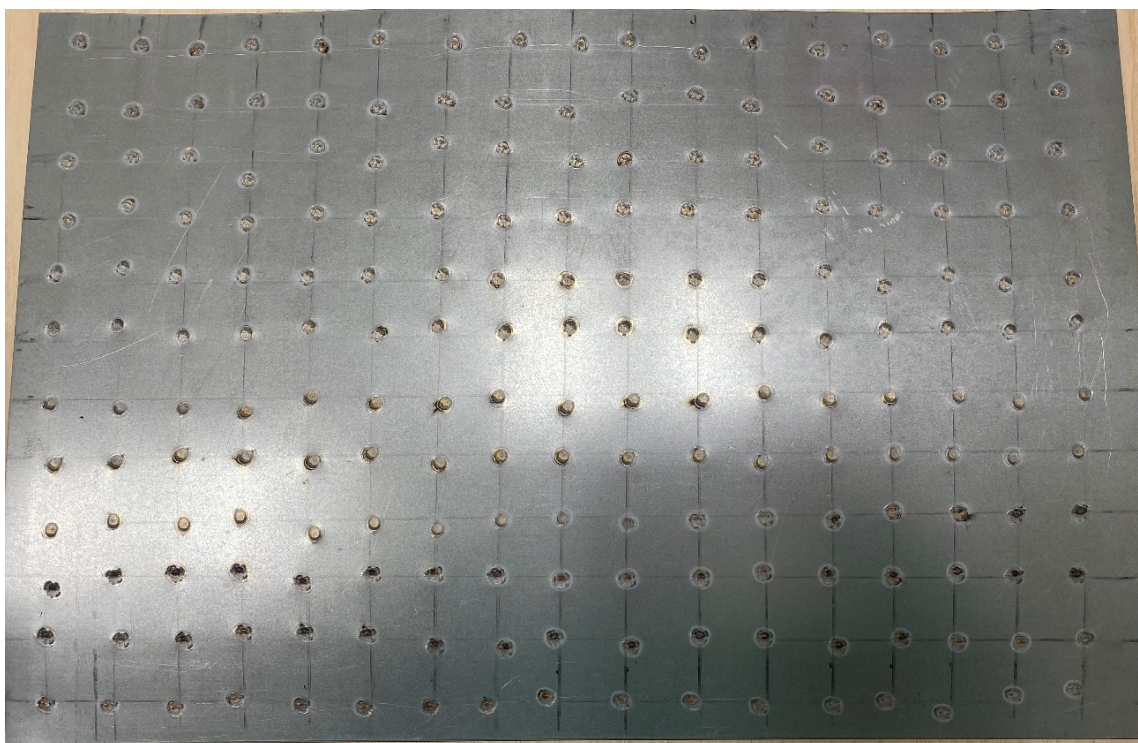
Byly vyrobeny sady definovaně opotřebovaných elektrodových čepiček pro každé množství síry v povrchové vrstvě (tabulka 7). S každým párem elektrodových čepiček byl vyroben konkrétní počet svarů. Byla vyrobena řada s 1; 10; 25; 50; 75; 100; 150; 200; 250; 300 svarů. Cílem bylo vytvořit jasně definovanou míru opotřebovaných elektrodových čepiček a těmito konkrétně opotřebovanými čepičkami bylo vytvořeno ještě dalších 8 vzorků pro další analýzy. Tyto vzorky byly podrobeny statické zkoušce stříhem (přičemž po ukončení zkoušky byla na roztržených vzorcích změřena velikost svarové čočky), z každé skupiny pak byl jeden vzorek použit pro metalografickou zkoušku. Všechny vzorky byly svařeny stejnými nastavenými svařovacími parametry bez regulace procesu. Svařovací parametry byly převzaty z předchozích experimentů. Použité optimalizované svařovací parametry jsou v tabulce 10. Během svařování sad plechů s množstvím síry 40 mg S/m^2 a řady 250 svarů došlo k nalepení elektrodové čepičky a následnému ukončení procesu svařování. (obrázek 41).



Obrázek 41 Utržená elektrodová čepička

Tabulka 10 Optimalizované svařovací parametry

t [mm]	I [%]	I [kA]	P [V]	t [ms]
0,6	24	7	2,4	260

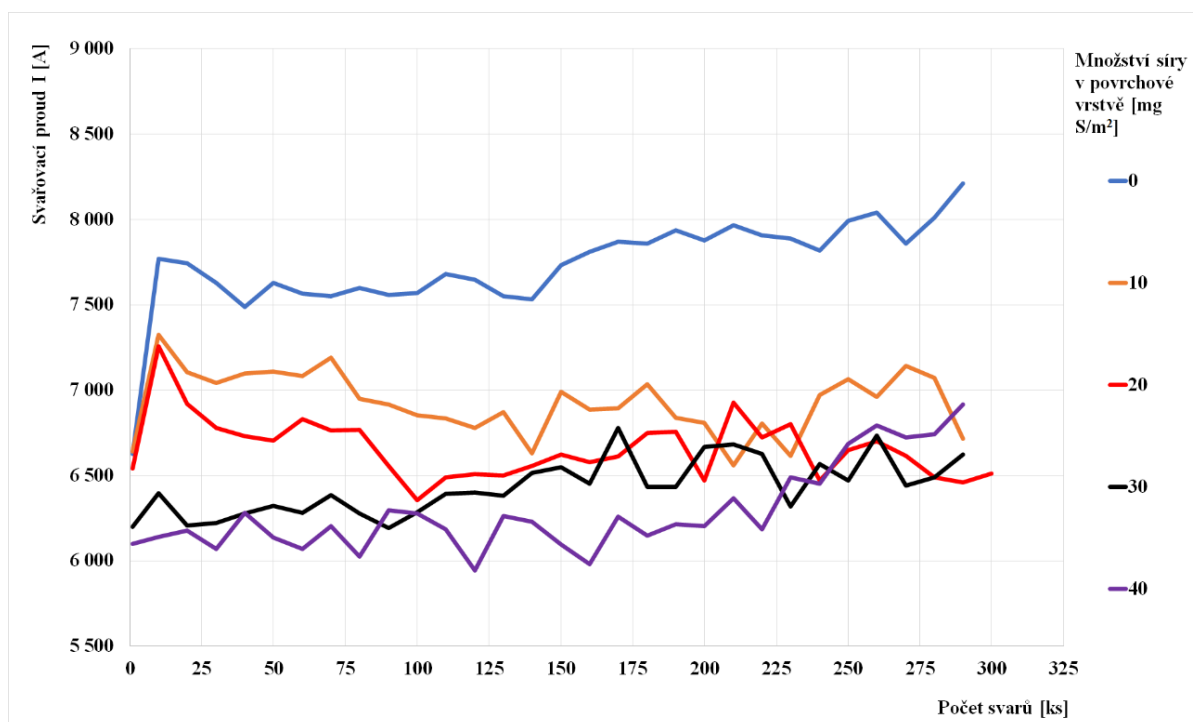


Obrázek 42 Vzorek plechu pro opotřebení elektrodové čepičky

7 Výsledky a jejich diskuze

7.1 Vliv míry opotřebení elektrodové čepičky na velikost svařovacího proudu

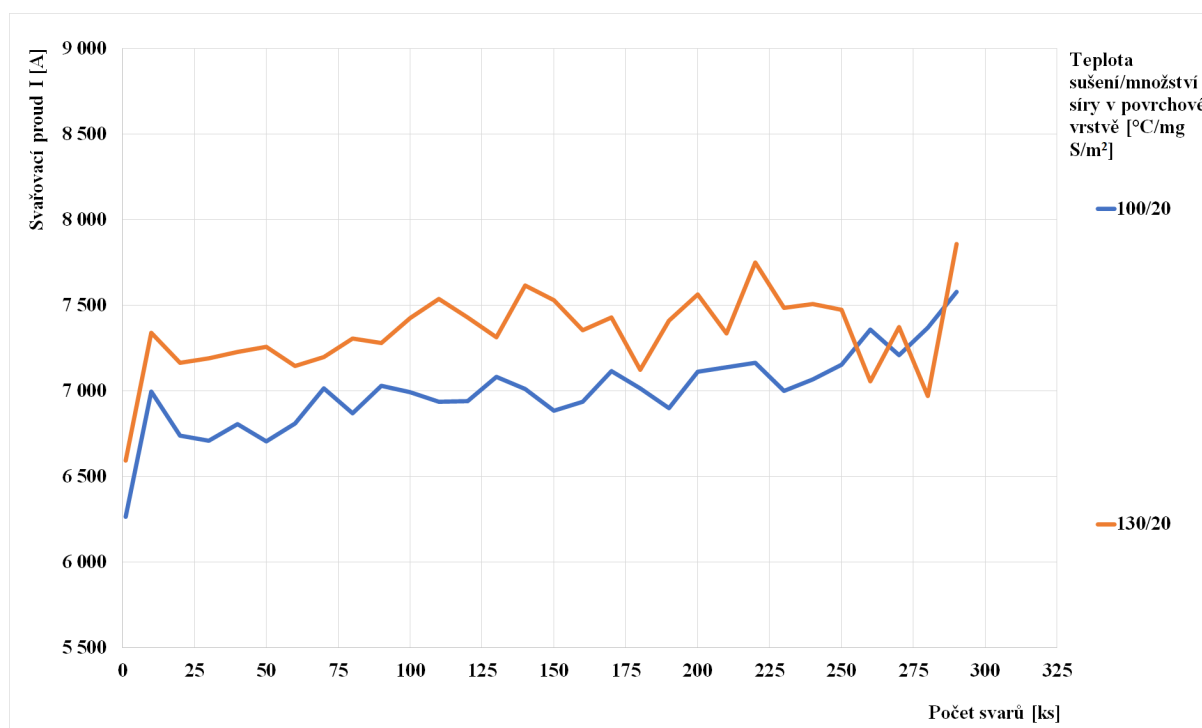
Graf 1 Závislost naměřeného svařovacího proudu na míře opotřebení elektrodových čepiček pro plechy s obsahem síry 0-40 mg S/m² v povlaku



V obou grafech (**graf 1**, **graf 2**) jsou vyneseny hodnoty naměřeného svařovacího proudu v závislosti na míře opotřebení elektrodové čepičky. V **grafu 1** jsou vyneseny hodnoty naměřeného svařovacího proudu v závislosti na míře opotřebení elektrodové čepičky pro plechy s množstvím síry v povlaku 0-40 mg S/m². Z **grafu 1** je vidět, že s rostoucím obsahem síry v povrchové vrstvě je naměřený svařovací proud nižší. U plechů s obsahem síry v povlaku 0-20 mg S/m² je vidět výrazný nárůst svařovacího proudu na začátku svařování (s novými, nebo jen mírně opotřebovanými čepičkami). U plechů s množstvím síry v povlaku 0-20 mg S/m² docházelo k většímu opotřebení a k většímu lepení elektrodových čepiček k základnímu materiálu cca od 15. svaru. U plechů s čistým zinkem (tedy bez obsahu S na povrchu) narůstá svařovací proud v průběhu životního cyklu čepičky až o 1570 A. U plechů s množstvím síry v povlaku 30-40 mg S/m² docházelo k většímu opotřebení a k většímu lepení elektrodových čepiček k základnímu materiálu hned od začátku procesu svařování. V **tabulce 11** jsou vidět fotky opotřebovaných elektrodových čepiček pro plechy s obsahem síry v povlaku 0-40 mg

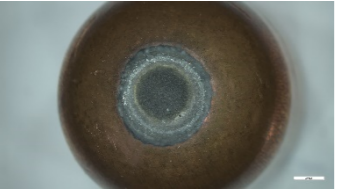
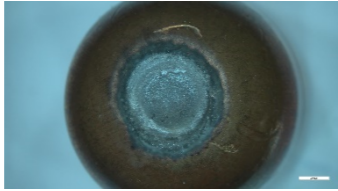
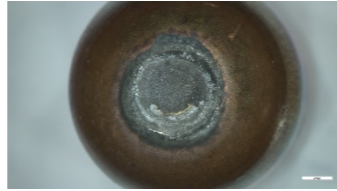
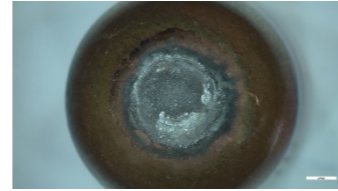
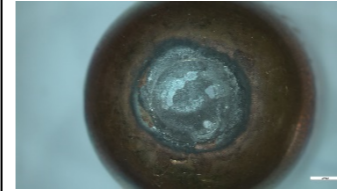
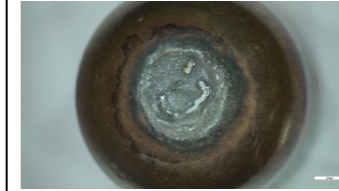
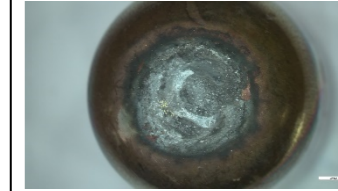
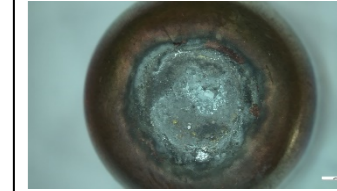
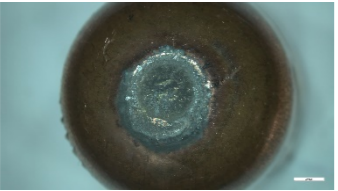
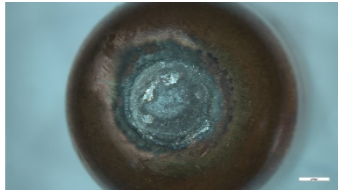
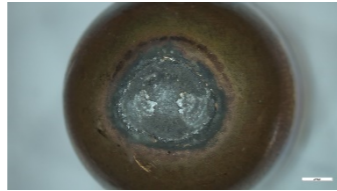
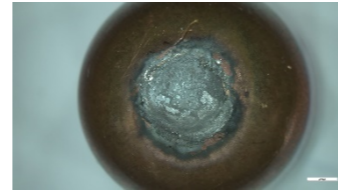
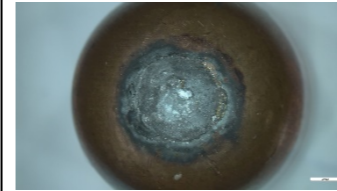
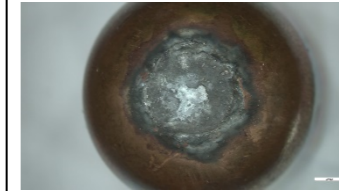
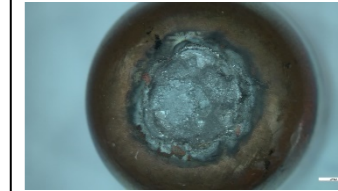
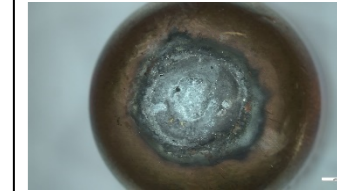
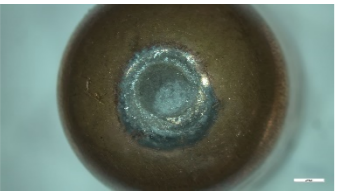
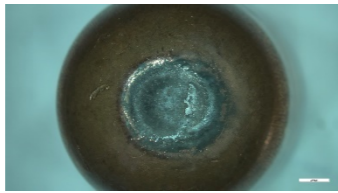
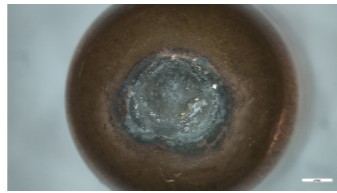
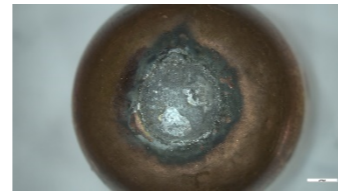
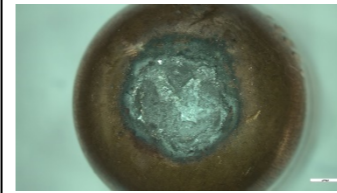
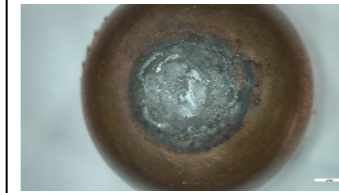
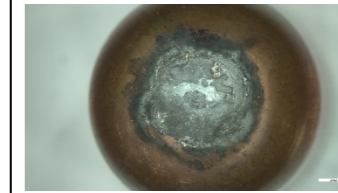
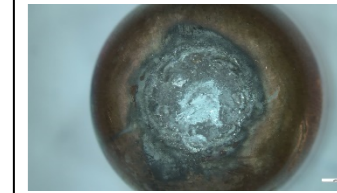
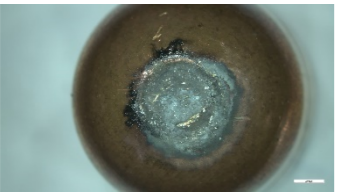
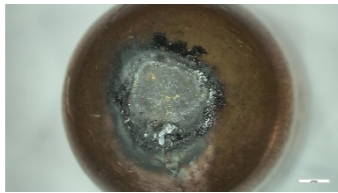
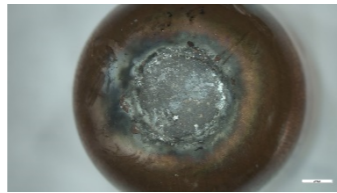
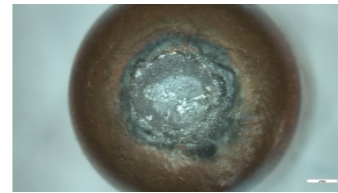
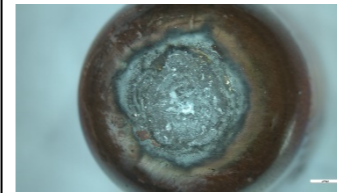
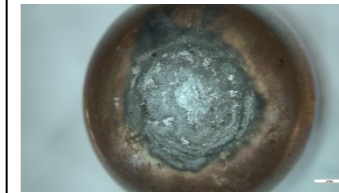
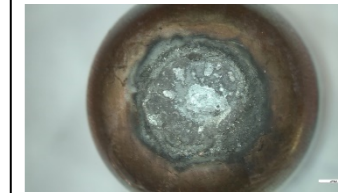
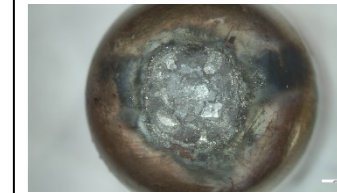
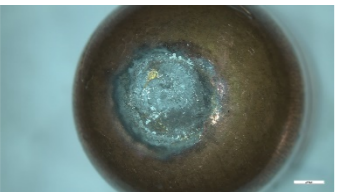

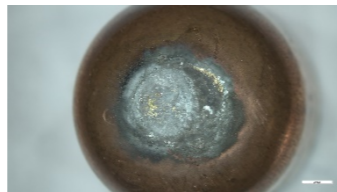

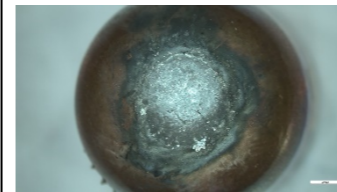
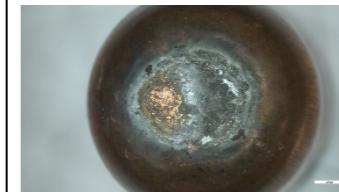


S/m². Z **tabulky 11** je vidět, že s rostoucím počtem provedených svarů pro každý plech docházelo k většímu opotřebení elektrodových čepiček a k natavení zinku a nanesení nataveného materiálu na kontaktní plochu elektrodové čepičky. Z porovnání plechů s různým obsahem síry v povlaku lze říct, že čím více je síry v povlaku tím je naměřený svařovací proud menší.

Graf 2 Závislost naměřeného svařovacího proudu na míře opotřebení elektrodových čepiček pro plechy s obsahem síry 20 mg S/m² v povlaku a teplotou sušení 100 °C a 130 °C

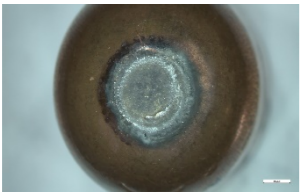
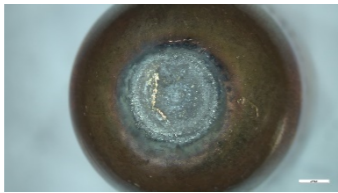
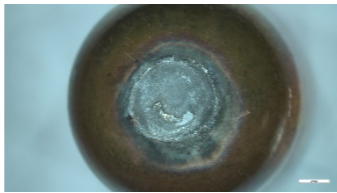
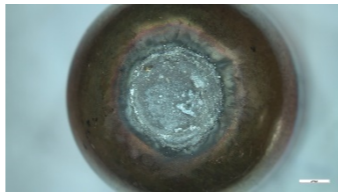
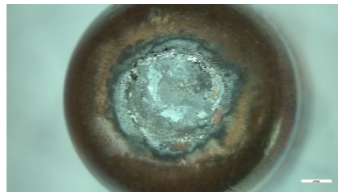
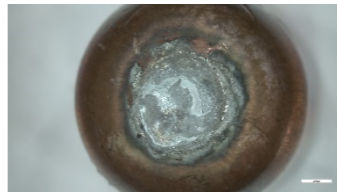
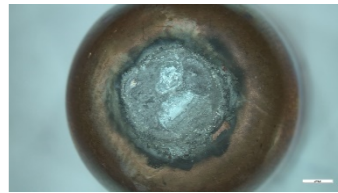
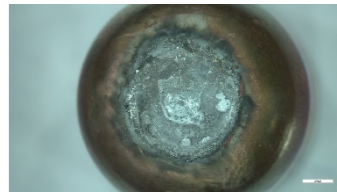
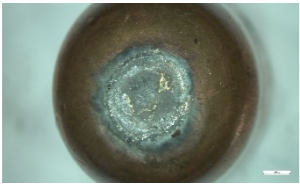
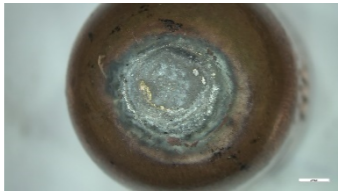
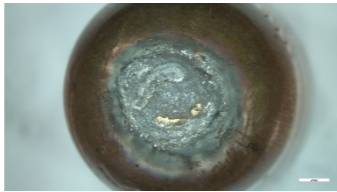
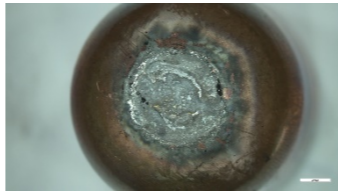
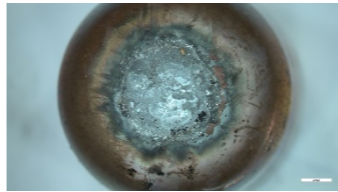
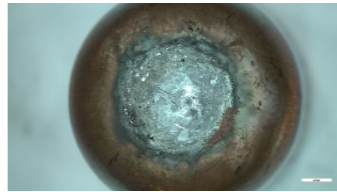
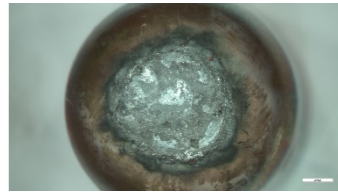
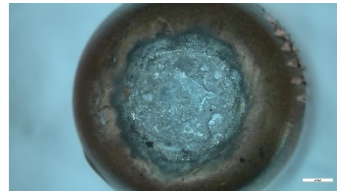


V **grafu 2** jsou vyneseny hodnoty naměřeného svařovacího proudu v závislosti na míře opotřebení elektrodové čepičky pro plechy, které byly na konci nanášení povlaku sušeny při teplotách 100 °C a 130 °C. Bylo prokázáno že teplota sušení materiálů má také vliv na svařovací proud. Z **grafu 2** je vidět, že čím vyšší je teplota sušení materiálu, tím je naměřený svařovací proud vyšší. U obou plechů je opět průdký nárůst naměřeného svařovacího proudu na začátku svařování, zde nedocházelo k opotřebení a k lepení elektrodových čepiček k základnímu materiálu. Od cca 15. svaru už docházelo k opotřebení a k lepení elektrodových čepiček k základnímu materiálu. V **tabulce 12** jsou vidět fotky opotřebovaných elektrodových čepiček pro plechy, které byly sušeny při teplotách 100 °C a 130 °C. Z **tabulky 12** je vidět, že s rostoucím počtem provedených svarů pro plechy s odlišnou teplotou sušení dochází k většímu opotřebení elektrodových čepiček. Z porovnání plechů s různou teplotou sušení lze říct, že teplota sušení má vliv na velikost naměřeného svařovacího proudu.

Tabulka 11 Opotřebované elektrodové čepičky pro plechy s množstvím síry 0-40 mg S/m² v povrchové vrstvě

Množství síry v povrchové vrstvě [mg S/m ²]	Počet svarů							
	25	50	75	100	150	200	250	300
0								
10								
20								
30								
40								

Tabulka 12 Opotřebované elektrodové čepičky pro plechy s množstvím síry 20 mg S/m² v povrchové vrstvě a teplotou sušení 100 °C a 130 °C

Teplota sušení/množství síry v povrchové vrstvě [mg S/m ²]	Počet svarů							
	25	50	75	100	150	200	250	300
100/20								
130/20								

7.2 Statická zkouška stříhem

Stříhová zkouška byla provedena na zkušebním zařízení LabTest 5.100SP1 v laboratořích ústavu strojírenské technologie na FS ČVUT v Praze. Zařízení je na **obrázku 43**. Výstupem statické zkoušky stříhem byla maximální síla potřebná pro přetržení. Charakteristické vlastnosti trhací stroje LabTest 5.100SP1 jsou v **tabulce 13**.

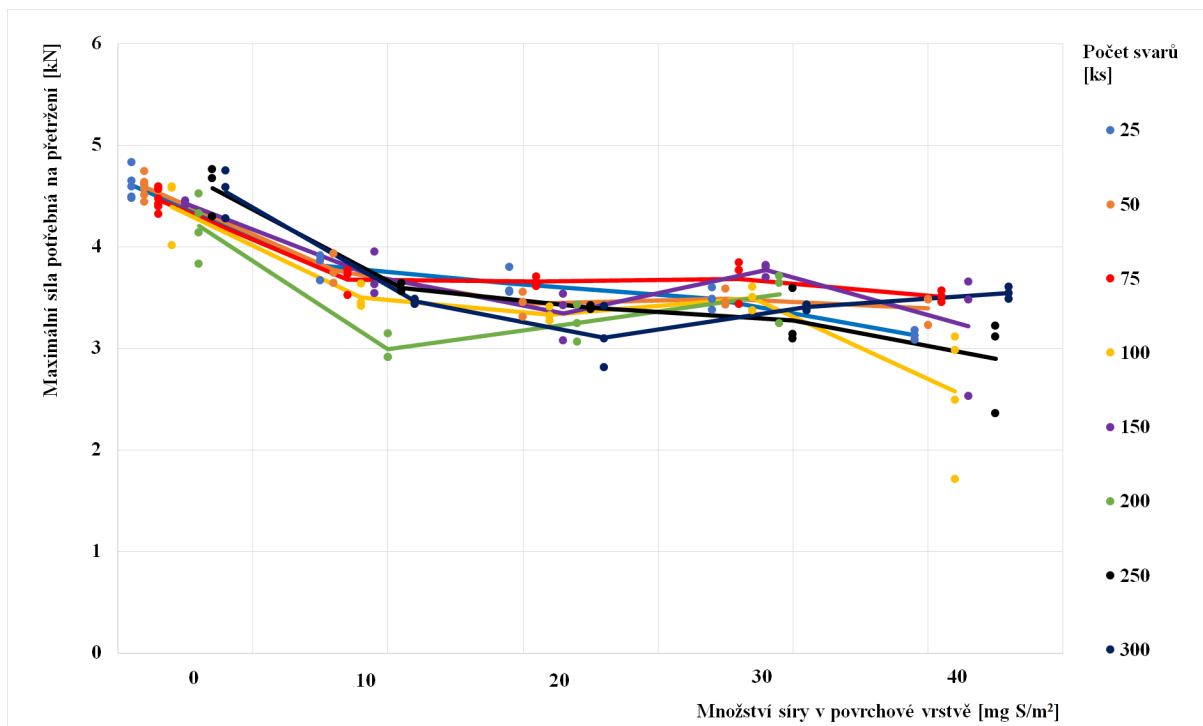


Obrázek 43 Trhací stroj LabTest 5.100SP1

Tabulka 13 Charakteristické vlastnosti trhacího stroje LabTest 5.100SP1

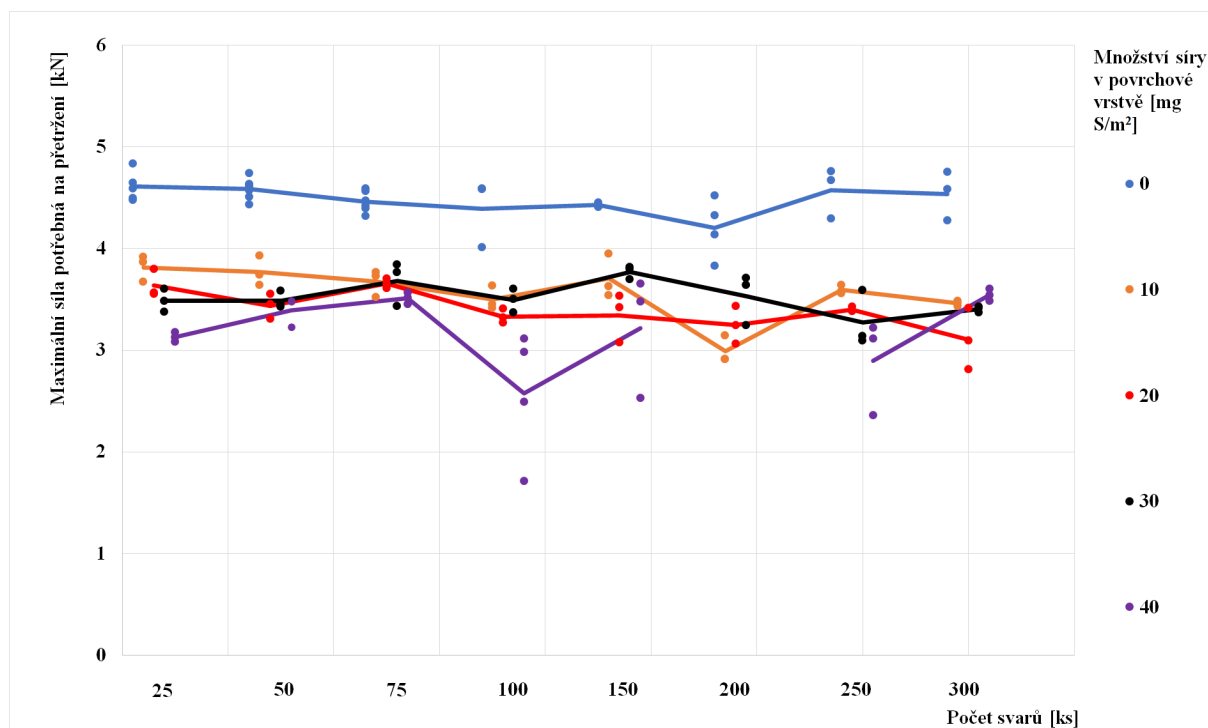
Označení stroje	5.100SP1
Jmenovité zatížení	100 kN
Maximální zkušební rychlost	600 mm/min
Přesnost řízení rychlosti	600 %
Rozlišení příčnicku	1 μm
Tuhost rámu	$1,6 \times 10^{-6}$ mm/N
Rozpětí sil	500-600 kN
Přesnost měření síly	$\pm 0,3$ % z hodnoty rozsahu
Přesnost dráhy	1 μm – ČSN EN ř513
Přesnost měření napětí	$\pm 0,5$ % průtahoměru

Graf 3 Závislost maximální síly potřebné na přetržení na množství síry 0-40 mg S/m² v povrchové vrstvě



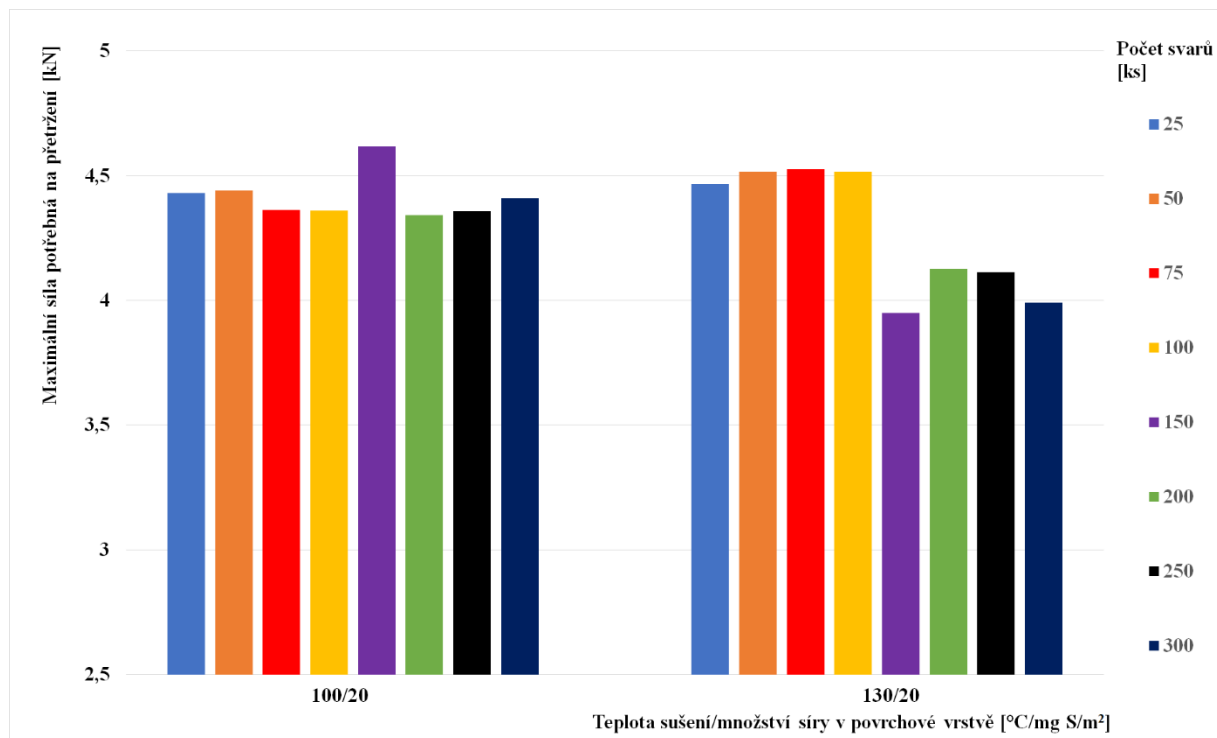
V **grafu 3** jsou vyneseny hodnoty maximálních sil potřebných na přetržení svaru v závislosti na množství síry v povrchové vrstvě. Jednotlivé body označují jednotlivé svary. Z **grafu 3** je vidět, že s rostoucím obsahem síry v povlaku maximální síla potřebná na přetržení klesá. Přičemž obsah síry nemá až tak zásadní vliv na maximální sílu potřebnou na přetržení. Ta s rostoucím obsahem S v povlaku jen mírně klesá. Větší vliv na maximální sílu má míra opotřebení kontaktní plochy čepiček. Ovšem je vidět, že s rostoucím obsahem síry v povlaku roste i rozptyl hodnot maximální síly (u 40 mg S/m² je to vidět nejvíce). Celkově je vidět, že již malé množství síry na povrchu snižuje únosnot svaru o cca 1 kN až 1,5 kN v porovnání s povlakem s čistým Zn (tedy bez obsahu síry v povlaku). Což tedy potvrzuje i **graf 4**. Vyrovnání hodnot dochází u plechů s množstvím síry 20-30 mg S/m² v povlaku, ale u plechů s množstvím síry 40 mg S/m² dochází opět k poklesu hodnot. Z porovnání plechů s různým obsahem síry v povlaku lze říct, že množství síry v povlaku ovlivňuje maximální sílu potřebnou na přetržení.

Graf 4 Závislost maximální síly potřebné na přetržení na míře opotřebení elektrodových čepiček pro plechy s obsahem síry 0-40 mg S/m² v povlaku



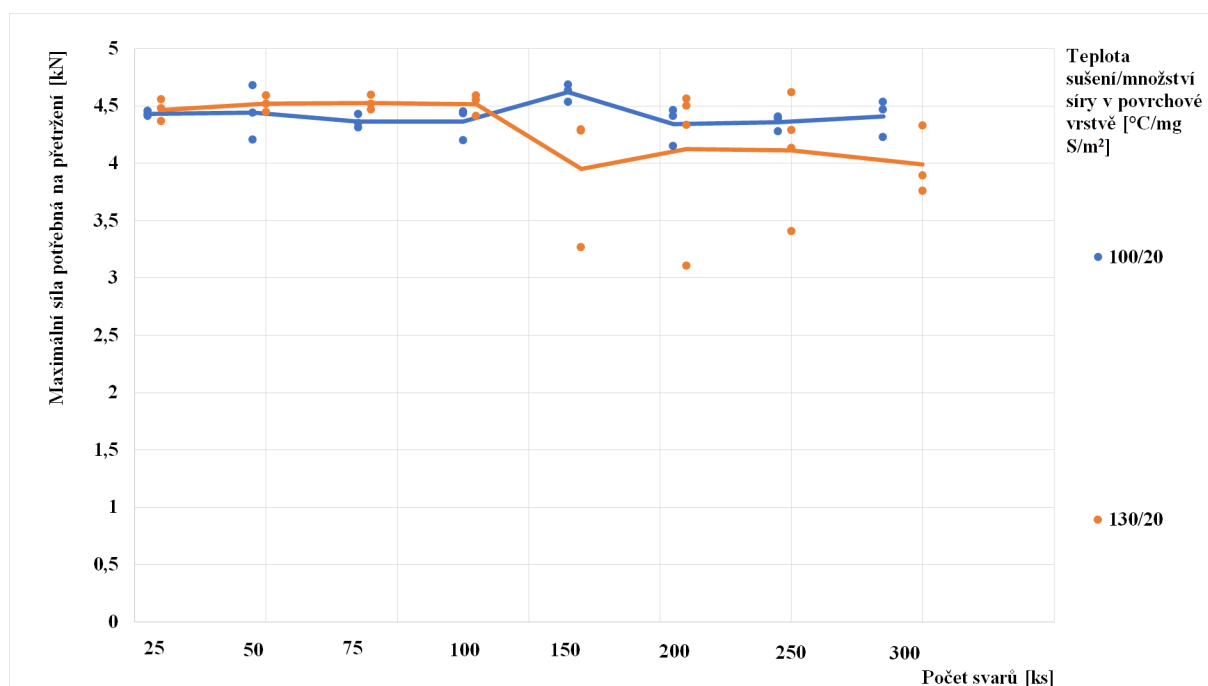
V **grafu 4** jsou vyneseny hodnoty maximálních sil potřebných na přetržení v závislosti na míře opotřebení elektrodových čepiček pro plechy s obsahem síry 0-40 mg S/m² v povlaku. Maximální síly potřebné na přetržení se u jednotlivých plechů s různým obsahem síry v povlaku mění minimálně. Největší hodnoty maximálních sil jsou u plechů bez obsahu síry v povlaku. Největší rozptyl hodnot je vidět u 100. svaru, konkrétně u plechů s množstvím síry 40 mg S/m² v povlaku, kde hodnota klesla až o 1 kN. U 200. svaru, konkrétně u plechů s množstvím síry 40 mg S/m² v povlaku došlo k utržení elektrodové čepičky a následnému ukončení svařování. Míra opotřebení elektrodových čepiček má minimální vliv na maximální sílu potřebnou na přetržení svaru.

Graf 5 Závislost maximální síly potřebné na přetržení na množství síry 20 mg S/m² v povrchové vrstvě a teplotou sušení 100 °C a 130 °C



V **grafu 5** jsou vyneseny průměrné hodnoty maximálních sil potřebných na přetržení v závislosti na odlišné teplotě sušení pro plechy s obsahem síry 20 mg S/m² v povlaku. Jednotlivé sloupce označují průměr maximálních sil z jednotlivých počtů provedených svarů. Z **grafu 5** je vidět, že s rostoucí teplotou sušení a počtem provedených svarů maximální síla potřebná na přetržení klesá. Zde docházelo hlavně k velkým rozptylům naměřených hodnot.

Graf 6 Závislost maximální síly potřebné na přetržení na míře opotřebení elektrodových čepiček pro plechy s obsahem síry 20 mg S/m² v povlaku a teplotou sušení 100 °C a 130 °C



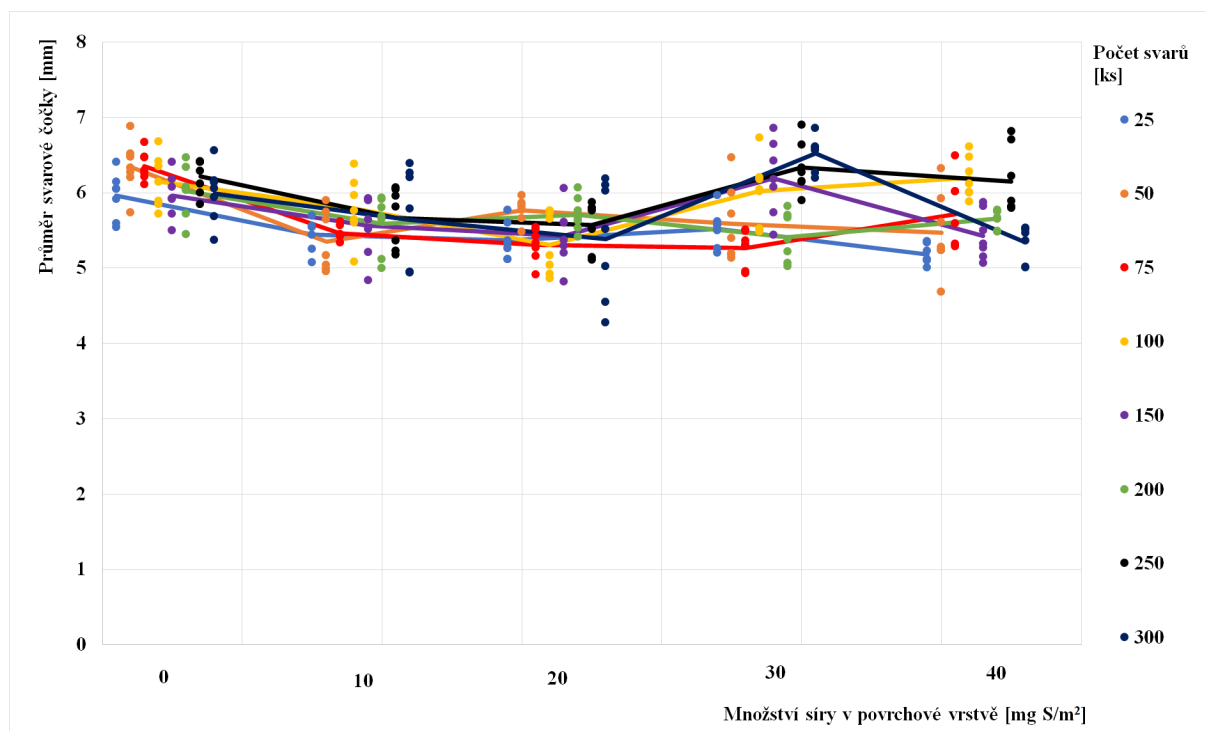
V **grafu 6** jsou vyneseny hodnoty maximálních sil potřebných na přetržení v závislosti na míře opotřebení elektrodových čepiček. Z **grafu 6** je vidět, že vliv teploty sušení materiálů do 100. svaru je minimální. Rozdíly jsou nepatrné. Od 150. svaru nastává viditelný vliv teploty sušení, maximální síla u materiálů sušených při 130 °C klesá. Ze všech grafů (**graf 3**, **graf 4**, **graf 5**, **graf 6**) lze usoudit že míra opotřebení elektrodových čepiček, odlišná teplota sušení a množství síry v povrchové vrstvě má vliv na maximální sílu potřebnou na přetržení svaru.

7.3 Měření průměrů svarových čoček

Průměr svarové čočky byl změřen digitálním posuvným měřítkem, s maximálním rozsahem měření 150 mm a určitou přesností 0,01 mm na přetržených svarových spojích. U jednotlivých vzorků byl vždy změřen největší a nejmenší průměr svarové čočky a následně byl vypočten aritmetický průměr svarové čočky. Tvar svarového spoje by měl být co nejvíce symetrický. Minimální průměr svarové čočky je dán **rovnici 3**. V rovnici t udává tloušťku plechu (0,6 mm). Minimální průměr svarové čočky by měl být tedy 2,71 mm. Všechny průměry svarových čoček jsou v normě.

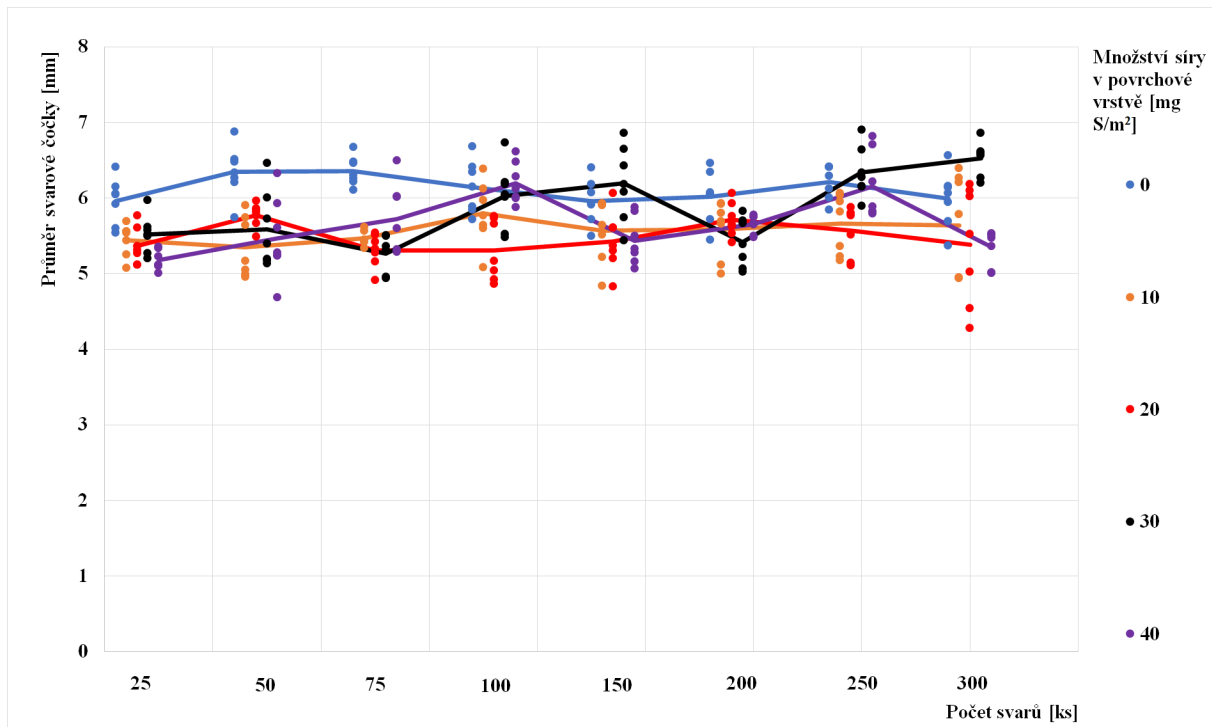
$$d = 3,5 \cdot \sqrt{t} \text{ [mm]} \text{ Rovnice 3}$$

Graf 7 Závislost průměrů svarových čoček na množství síry 0-40 mg S/m² v povrchové vrstvě



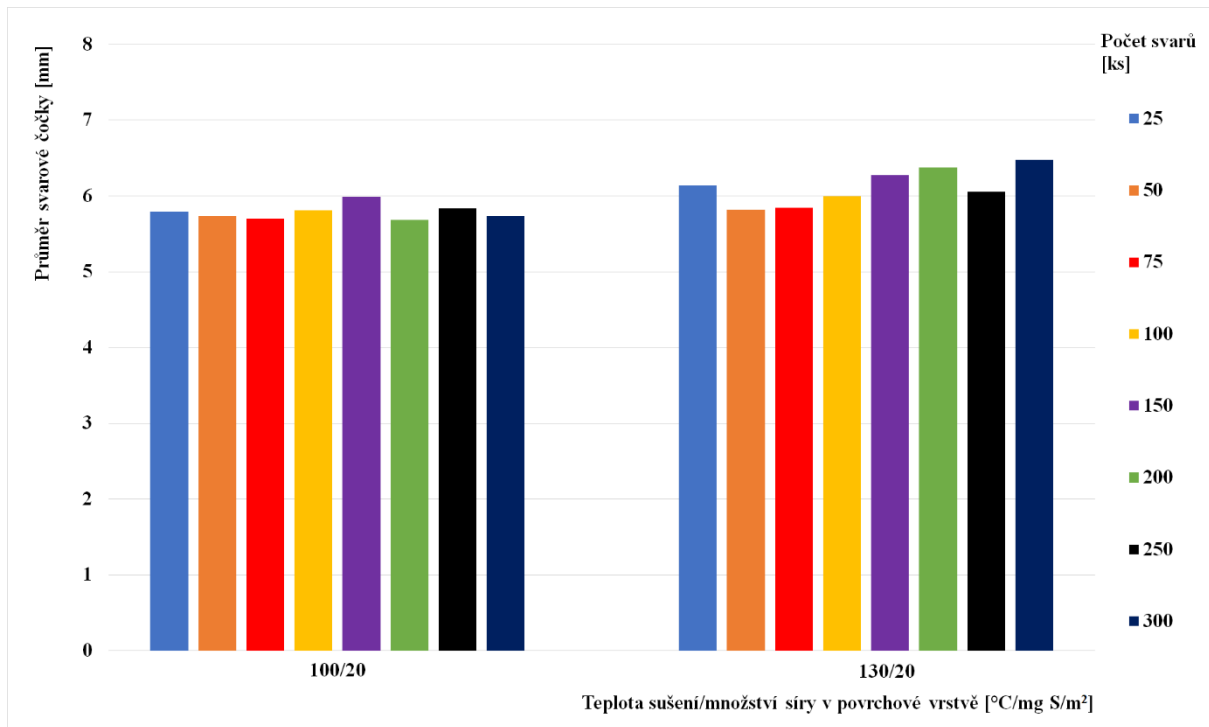
V **grafu 7** jsou vyneseny hodnoty průměrů svarových čoček v závislosti na množství síry v povrchové vrstvě pro plechy s obsahem síry 0-40 mg S/m² v povlaku. Jednotlivé body označují jednotlivé svary. Z **grafu 7** je patrné, že množství síry v povlaku má zanedbatelný vliv na průměry svarových čoček. U plechů s množstvím síry v povlaku 30 mg S/m² se objevuje největší rozptyl hodnot, rozdíl minimální a maximální hodnoty je 1,25 mm. Rozptyl pro množství síry 40 mg S/m² je velký, zatímco u plechů s čistým zinkem to vychází dle literatury.

Graf 8 Závislost průměrů svarových čoček na míře opotřebení elektrodoých čepiček pro plechy s obsahem síry 0-40 mg S/m² v povlaku



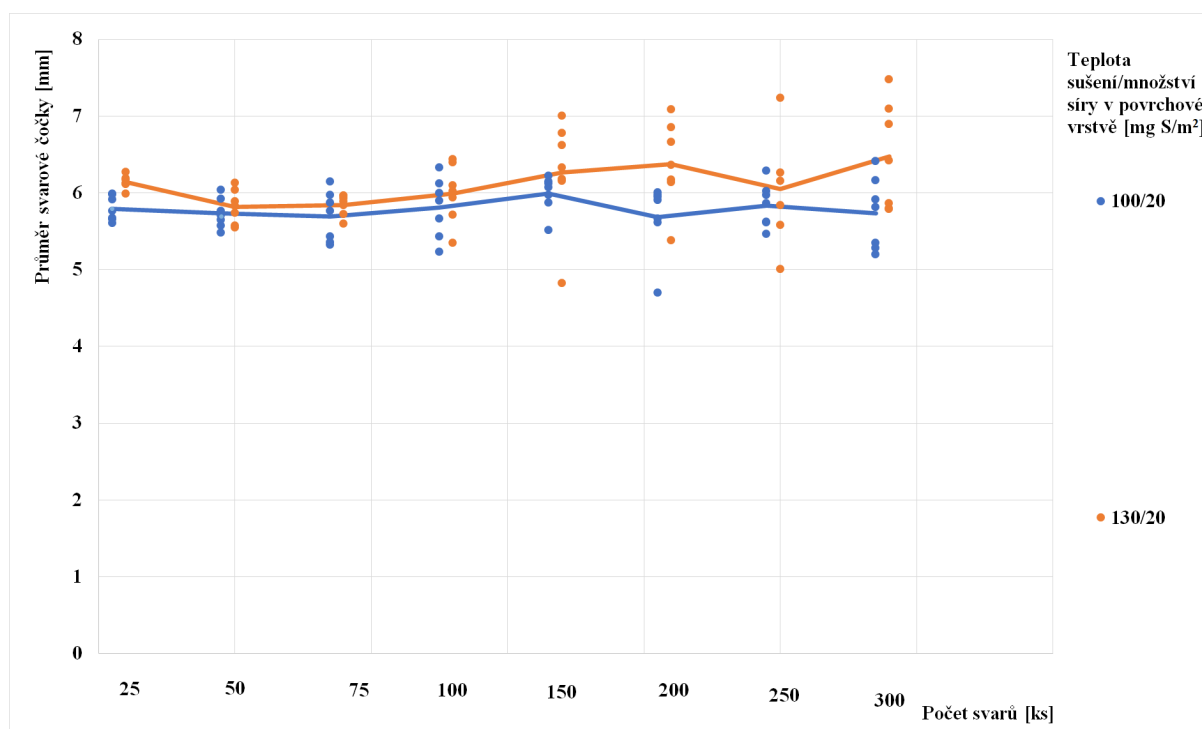
V **grafu 8** jsou vyneseny hodnoty průměrů svarových čoček v závislosti na míře opotřebení elektrodoých čepiček pro plechy s obsahem síry 0-40 mg S/m² v povlaku. Průměry svarových čoček se u jednotlivých plechů s odlišným obsahem síry v povlaku mění velice nepatrně. Míra opotřebení elektrodoých čepiček má minimální vliv na průměry svarových čoček. Největší hodnoty průměrů svarových čoček jsou u plechů bez obsahu síry v povlaku. Naopak nejmenší průměry svarových čoček jsou u plechů s množstvím síry 20 mg S/m² v povlaku.

Graf 9 Závislost průměrů svarových čoček na množství síry 20 mg S/m² v povrchové vrstvě a teplotou sušení 100 °C a 130 °C



V **grafu 9** jsou vyneseny hodnoty průměrů svarových čoček v závislosti na odlišné teplotě sušení pro plechy s obsahem síry 20 mg S/m² v povlaku. Z **grafu 9** je vidět, že při teplotě 100 °C se průměry svarových čoček nehýbou vůbec, hodnot jsou skoro stejné. Ovšem při teplotě sušení 130 °C dochází již k většímu nárůstu a rozptylu hodnot.

Graf 10 Závislost průměrů svarových čoček na míře opotřebení elektrodových čepiček pro plechy s obsahem síry 20 mg S/m² v povlaku a teplotou sušení 100 °C a 130 °C



V **grafu 10** jsou vyneseny hodnoty průměrů svarových čoček v závislosti na míře opotřebení elektrodových čepiček. Z **grafu 10** je vidět, že do 100. svaru včetně není vliv nějak zásadní, ikdyž hodnoty průměrů svarových čoček jsou při teplotě 130 °C trochu vyšší, ovšem od 150. svaru je rozdíl velikosti průměrů svarových čoček patrný.








































7.4 Metalografická zkouška

Pro metalografickou zkoušku byl vybrán z každé sady vzorků svařených definovaně opotřeбенými čepičkami jeden. Celkově na metalografickou zkoušku bylo použito 55 svařených vzorků. Metalografické výbrusy byly zhotoveny v laboratořích na ústavu strojírenské technologie, FS ČVUT v Praze. Na dělení vzorků byla použita metalografická pila se silným chlazením, stroj Labotom-3 od firmy Struers (**obrázek 44**). Zpracování jednotlivých vzorků proběhlo na metalografickém lisu CitoPress-1 (**obrázek 44**). Leštění a broušení vzorků bylo provedeno pomocí brusných papírů a leštících pláten. Fén byl využit na uschnutí vzorku po leptání. Výsledky metalografické zkoušky jsou v **tabulce 14** a v **tabulce 15**. Z **tabulky 14** je vidět, že u plechů s různým obsahem síry v povrchové vrstvě se začínají vnitřní vady tvořit od 50. svaru. Výjimkou je plech bez obsahu síry v povrchové vrstvě, tedy s povlakem čistého Zn. V tomto případě se začínají vnitřní vady tvořit později, konkrétně u 200. svaru. Z **tabulky 15** je vidět, že u plechů, které byly sušeny při teplotě 130 °C se začínají vnitřní vady tvořit u 50. svaru. U plechů, které byly sušeny při teplotě 100 °C se začínají vnitřní vady tvořit od 75. svaru. Zvětšení obrazu struktury bylo nastaveno na 25x. Nejčastější vady, které se ve svarovém spoji vyskytovaly byly dutiny a póry. Z porovnání plechů s různým obsahem síry v povlaku a teplotě sušení lze říct, že různý obsah síry v povrchové vrstvě i odlišná teplota sušení má vliv na výskyt vnitřních vad ve svarovém spoji. V **tabulce 16** a v **tabulce 17** jsou vidět foceně svary z vrchu. Z **tabulky 16** je vidět že od 100. svaru dochází vlivem vytrhávání k deformaci svaru (jejich tvaru). Výjimkou je plech s čistým Zn (tedy bez obsahu S na povrchu), kde dochází k deformaci svaru později, tedy od 150. svaru. Z **tabulky 17** je vidět že k deformaci svarové čochky dochází patrně od 150. svaru.



















Obrázek 44 Metalografická pila Labotom-3 (vlevo), Metalografický lis CitoPress (vpravo)

Tabulka 14 Výsledky metalografické zkoušky pro plechy s množstvím síry 0-40 mg S/m² v povrchové vrstvě

Množství síry v povrchové vrstvě [mg S/m ²]	Počet svarů							
	25	50	75	100	150	200	250	300
0								
10								
20								
30								
40						Při dílčím experimentu došlo v průběhu k utržení elektrodové čepičky a následnému ukončení svařování.		












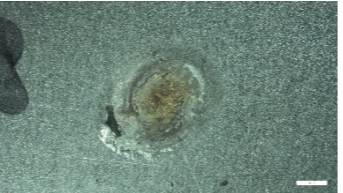



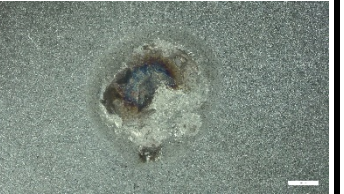
Tabulka 15 Výsledky metalografické zkoušky pro plechy s množstvím síry 20 mg S/m² v povrchové vrstvě a teplotou sušení 100 °C a 130 °C

Teplota sušení/množství síry v povrchové vrstvě [mg S/m ²]	Počet svarů							
	25	50	75	100	150	200	250	300
100/20								
130/20								

Tabulka 16 Focené svary z vrchu pro plechy s množstvím síry 0-40 mg S/m² v povrchové vrstvě

Množství síry v povrchové vrstvě [mg S/m ²]	Počet svarů							
	25	50	75	100	150	200	250	300
0								
10								
20								
30								
40						<p>Při dílčím experimentu došlo v průběhu k utržení elektrodové čepičky a následnému ukončení svařování.</p>		

Tabulka 17 Focené svary z vrchu pro plechy s množstvím síry 20 mg S/m² v povrchové vrstvě a teplotou sušení 100 °C a 130 °C

Teplota sušení/množství síry v povrchové vrstvě [mg S/m ²]	Počet svarů							
	25	50	75	100	150	200	250	300
100/20								
130/20								

8 Závěr

Cílem diplomové práce bylo ověřit, zda speciální povrchová vrstva na bázi síranu zinečnatého ($ZnSO_4$) na ocelovém pozinkovaném plechu ovlivňuje svařovací proces. Dílčím cílem byla příprava materiálů a svaření několika sad vzorků s různým obsahem S v povlaku. Následně pomocí destruktivních zkoušek byly jednotlivé plechy, lišící se hlavně v obsahu síry v povlaku, porovnávány mezi sebou a zhodnocen jejich vliv na svařovací proces. Za tímto účelem byl navržen experiment, který je popsán v kapitole **Návrh experimentu**.

Ze statické zkoušky stříhem bylo zjištěno, že s rostoucím obsahem síry v povlaku maximální síla potřebná na přetržení klesá. Přičemž obsah síry nemá až tak zásadní vliv na maximální sílu potřebnou na přetržení. Ta s rostoucím obsahem S v povlaku jen mírně klesá. Větší vliv na maximální sílu potřebnou na přetržení má míra opotřebení kontaktních ploch čepiček. Ovšem je vidět, že s rostoucím obsahem síry v povlaku roste i rozptyl hodnot maximální síly (u 40 mg S/m^2 je to vidět nejvíce). Celkově je vidět, že již malé množství síry na povrchu snižuje únosnost svaru o cca 1 kN až $1,5 \text{ kN}$ v porovnání s povlakem s čistým Zn (tedy bez obsahu síry). Největší hodnoty maximální sil potřebných na přetržení svaru jsou u plechů bez obsahu síry v povlaku. Z výsledků lze usoudit že míra opotřebení elektrodoých čepiček, odlišná teplota sušení a množství síry v povrchové vrstvě ovlivňuje maximální sílu potřebnou na přetržení svaru.

Z měření velikosti svarových čoček bylo zjištěno, že všechny odpovídají minimální velikosti $2,71 \text{ mm}$ při tloušťce plechů $0,6 \text{ mm}$. Z výsledků lze usoudit, že průměry svarových čoček se v závislosti na míře opotřebení elektrodoých čepiček a množstvím síry v povlaku mění velmi nepatrně. S rostoucí teplotou sušení dochází k nárůstům a rozptylu hodnot průměrů svarových čoček. Největší hodnoty průměrů svarových čoček jsou u plechů bez obsahu síry v povlaku. Naopak nejmenší průměry svarových čoček jsou u plechů s množstvím síry 20 mg S/m^2 v povlaku.

Množství síry v povrchové vrstvě má vliv na výskyt vnitřních vad ve svarovém spoji. Jako nejčastější vady byly vyhodnoceny dutiny. Jiné vady se ve svarovém spoji nevyskytovaly. Z výsledků je vidět, že u plechů s různým obsahem síry v povrchové vrstvě se začínají vnitřní vady tvořit od 50. svaru. Výjimka je plech bez obsahu síry v povrchové vrstvě. V tomto případě se začínají vnitřní vady tvořit později, konkrétně u 200. svaru. Z výsledků je vidět, že u plechů, které byly sušeny při teplotě $130 \text{ }^\circ\text{C}$ se začínají vnitřní vady tvořit u 50. svaru. U plechů,

kteře byly sušeny při teplotě 100 °C se začínají vnitřní vady tvořit od 75. svaru. Z porovnání plechů s různým obsahem síry v povlaku a teplotě sušení lze říct, že různý obsah síry v povrchové vrstvě i odlišná teplota sušení má vliv na výskyt vnitřních vad ve svarovém spoji. Dále je vidět že od 100. svaru dochází vlivem vytrhávání k deformaci svaru (jejich tvaru). Výjimkou je plech s čistým Zn (tedy bez obsahu S na povrchu), kde dochází k deformaci svaru později, tedy od 150. svaru.

Dále byl zjišťován vliv míry opotřebenění elektrodoých čepiček na velikost svařovacího proudu. Z dostupných výsledků je vidět, že s rostoucím obsahem síry v povrchové vrstvě je naměřený svařovací proud menší. U plechů s čistým zinkem (tedy bez obsahu S na povrchu) narůstá svařovací proud v průběhu životního cyklu čepičky až o 1570 A. Z porovnání plechů s různým obsahem síry v povlaku lze říct, že čím více je síry v povlaku, tím je naměřený svařovací proud menší. Čím větší je teplota sušení, tak tím je naměřený svařovací proudu větší. Z porovnání plechů s různou teplotou sušení lze říct, že teplota sušení má vliv na velikost naměřeného svařovacího proudu. S rostoucím počtem provedených svarů pro každý plech docházelo k většímu opotřebenění elektrodoých čepiček. U každé sady plechů (lišily se různým obsahem síry v povlaku) se s rostoucím počtem provedených svarů začaly v malé míře plechy lepit k elektrodoým čepičkám. Pokaždé se také vyskytl blok svarů, u kterých byla využita hrubá síla k odtržení svařených plechů od elektrodoých čepiček.

Seznam použité literatury

- [1] JANOTA, Martin. *Odporové svařování: Základní technologické informace. Svět svaru: Časopis o moderních trendech ve svařování a řezání kovů*. 2008.
- [2] PILVOUSEK, T. *Interní dokument ŠKODA AUTO a. s. – Technologie ve výrobě karoserie*. 2015.
- [3] HAALA, Vojtěch. *Vliv povrchové vrstvy AlSi na průběh svařovacího procesu* [online]. Praha, 2019 [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/84797/F2-BP-2019-Haala-Vojtech-HAALA%20VOJTECH-BC%20PRACE.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Bakalářská práce. České vysoké učení technické, Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE.
- [4] *Resistance welding manual* [online]. Helsinki, Finland, 2009 [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: <https://pt.scribd.com/document/93507084/Ruukki-Resistance-Welding-Manual>
- [5] ZHANG, Hongyan a Jacek SENKARA. *Resistance welding: Fundamentals and Applications*. London: Taylor & Francis Group, 2006. ISBN 0-203-61639-1.
- [6] PLÍVA, L. *Odporové svařování*. Praha: SNTL, 1975, 265 s.
- [7] PLÍVA, Ladislav. *Odporové svařování v praxi*. 2. dopl. vyd. Praha: SNTL, 1963. Knižnice strojírenské výroby
- [8] VOTAVA, Pavel. *ODPOROVÉ SVAŘOVÁNÍ MARTENZITICKÝCH OCELÍ S VARIANTNÍM TEPELNÝM ZPRACOVÁNÍM* [online]. Praha, 2015 [cit. 2020-11-08]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/63565/F2-DP-2015-Votava-Pavel-DP%20Pavel%20Votava.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Diplomová práce. České vysoké učení technické, Fakulta strojní. Vedoucí práce Ing. Marie Kolaříková, Ph.D., IWE.
- [9] HOLÁSEK, J. *Odporové zvaranie*. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 1968, 384 s.
- [10] NEUMANN, Heinz. *Odporové svařování: Podklady pro kurz IWE*. Praha: ČVUT, Ústav strojírenské technologie, , 29.
- [11] MACHÁČEK, Jakub. *Odporové bodové svařování vysokopevnostních ocelových plechů v automobilovém průmyslu* [online]. Liberec, 2016 [cit. 2021-02-10]. Dostupné z:

https://dspace.tul.cz/bitstream/handle/15240/20595/JAKUB_MACHACEK_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní.

[12] Schinkmann. *Švové svařování* [online]. [cit. 2021-7-11]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/odporove-svove-svarovani>

[13] ELUC. *Elektrické odporové svařování*. [online]. [cit. 2021-02-09]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1808>

[14] Schinkmann. *Odporové výstupkové svařování*. [online]. [cit. 2021-02-09]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/odporove-vystupkove-svarovani>

[15] ČSN EN ISO 14610. *Svařování a příbuzné procesy – Definice metod svařování kovů*. Praha: Český normalizační institut, 2005. 98 str.

[16] LIPA, M. *Odporové zvaranie*. Bratislava: Weldtech, 1995, 81 s. ISBN 80-88734-13-4.

[17] VOROBEV, Vladislav. *Termografické hodnocení kvality odporových svařových spojů* [online]. Praha, 2019 [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/81253/F2-BP-2019-Vorobev-Vladislav-Termograficke_hodnoceni_kvality_odporovych_svarovych_spoju.pdf?sequence=-1&isAllowed=y. Diplomová práce. České vysoké učení technické, Fakulta strojní. Vedoucí práce Doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.

[18] Schinkmann. *Odporové svařování, bodové svařování, švové svařování* [online]. [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/odporove-svarovani>

[19] Fundamentals of Small Parts Resistance Welding: *Amada Miyachi* [online]. Monrovia, 2013 [cit. 2019-02-26]. Dostupné z: http://www.amadamiyachi.com/servlet/servlet.FileDownload?retURL=%2Fapex%2Feducationalresources_fundamentals&file=01530000000Jybm

[20] HOLUB, Štěpán. *NDT kontrola odporových bodových svarů* [online]. Praha, 2017 [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/72867/F2-BP-2017-Holub-Stepan2017_BP_Holub_NDT%20kontrola%20odporovych%20bodovych%20svaru.pdf?sequence=1. Bakalářská práce. České vysoké učení technické, Fakulta strojní. Vedoucí práce Doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE.

- [21] *Точечная сварка сопротивлением* [online]. [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <http://gredx.ru/articles/tochechnaya-svarka>
- [22] Svařování a příbuzné procesy - Klasifikace geometrických vad kovových materiálů - Část 2 Tlakové svařování. místo neznámé : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014. ČSN ISO 6520-2.
- [23] KOLAŘÍK, Ladislav. *Svařování elektrickým odporem* [online]. Praha: ČVUT, Ústav strojírenské technologie [cit. 2020-02-08]. Dostupné z: <http://u12133.fsid.cvut.cz>
- [24] VLK, František. *Stavba motorových vozidel: [osobní automobily, autobusy, nákladní automobily, jízdní soupravy, ergonomika, biomechanika, struktura, kolize, materiály]*. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-238-8757-2.
- [25] ČSN EN ISO 8166. *Odporové svařování: Způsob hodnocení životnosti bodových svařovacích elektrod při konstantním nastavení stroje*. Praha: Český normalizační institut, 2004
- [26] PIRES, J, Altino LOUREIRO a Gunnar BOLMSJÖ. *Welding robots: technology, system issues and applications*. 1. vyd. London: Springer, 2005, 192 s. ISBN 18-523- 3953-5.
- [27] Campbell, F.C. (2011). Joining-Understanding the Basics - 3.1 Resistance Spot Welding. ASM International. Retrieved from <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt009IACU1/joining-understanding/resistance-spot-welding>
- [28] Рутектор. Клещи для точечной контактной сварки - *TECNA 3321*. [online]. [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: <https://rutector.ru/products/kleshhi-dlya-tochechnoikontaktnoi-svarki-tecna-3321>
- [29] KOŠŤÁL, Miloslav a František SPURNÝ. *Autolakýrnik: úvod do studia nátěrových hmot a technologie povrchových úprav karoserií a částí vozidel : učebnice pro autoopravárenství*. Plzeň: F.S. Publishing, 2004. ISBN 80-903038-6-2.
- [30] KREIBICH, Viktor. *Teorie a technologie povrchových úprav*. Praha: České vysoké učení technické, 1996. ISBN 80-010-1472-x.
- [31] SCHWARZ, Jiří. *Automobily Škoda Octavia II: Octavia, Octavia Combi, 4x4, Octavia RS, Scout*. 2., přeprac. a rozš. vyd. Praha: Grada, 2010. ISBN 978-80-247-2962-6.

- [32] METAL 2001. *Morfologie plechů se zinkový povlakem používaných v automobilovém průmyslu*. [online]. 2001, , 6 [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: http://metal2014.tanger.cz/files/proceedings/metal_01/papers/81.pdf
- [33] MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 3. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2006. ISBN 80-248-1217-7.
- [34] HRDA, Milan. *Protikorozi ochrana automobilů* [online]. Brno, 2007 [cit. 2020-11-06]. Dostupné z: http://is.mendelu.cz/zp/portal_zp.pl?prehled=vyhledavani;podrobnosti=11918;download_prace=1. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta. Vedoucí práce Doc. Ing. Vlastimil Chrást, CSc.
- [35] KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-7082-668-1.
- [36] KREIBICH, Viktor a Karel HOCH. *Koroze a technologie povrchových úprav. 2*. Praha: ČVUT, 1991
- [37] PODJUKLOVÁ, Jitka. *Speciální technologie povrchových úprav I. Dot.* Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 1997. ISBN 80-7078-235-8.
- [38] POKORNÝ, P. *Klasifikace fosfátových povlaků*. Praha: VŠCHT
- [39] ČUMPELÍK, Jiří. *Povrchové úpravy v autoprůmyslu - Škoda Superb*. MMSpektrum [online]. [cit. 2020-11-10]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/povrchove-upravy-v-autoprmyslu-skodasuperb.html>
- [40] HAMAL, Jan. *GALVANICKÉ ZINKOVÁNÍ* [online]. Brno, 2014 [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=87110. Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D.
- [41] KUDLÁČEK, Jan. *Úvod do navrhování povrchových úprav* [online]. Praha: ČVUT, Ústav strojírenské technologie [cit. 2021-03-22].
- [42] KULHÁNEK, M. *Návrh nosné konstrukce pro fotovoltaické sluneční články*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. str. 62.

- [43] Galvanovna Omega. *Galvanické pokovení* [online]. Praha [cit. 2021-7-11]. Dostupné z: <http://www.galvanovnaomega.cz/pokov/pokoveni.html>
- [44] *Příručka žárového zinkování* [online]. In: . Ostrava, 2011, s. 60 [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <http://zarova-zinkovna.mea.cz/upload/ck/files/prirucka-zaroveho-zinkovani.pdf>
- [45] NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION. *Coated Steel Sheets: Hot-dip Galvanized Sheets, Electrogalvanized Sheets and Precoated Sheets* [online]. 2012 [cit. 2021-7-11]. Dostupné z: https://www.nipponsteel.com/product/catalog_download/pdf/U008en.pdf
- [46] DILLINGER, Josef. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. 1. Vydání. Praha: Europa Sobotáles cz. s.r.o., 2007, 612 s. ISBN 987-80-86706-19-1.
- [47] ŠILINGER, Martin. *POVRCHOVÉ ÚPRAVY V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU* [online]. Praha, 2018 [cit. 2020-11-06]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/73862/F2-BP-2018-Silinger-Martin-Silinger_Martin_BP_2018.pdf?sequence=-1&isAllowed=y. Bakalářská práce. České vysoké učení technické, Fakulta strojní. Vedoucí práce Doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.
- [48] BMW Group Plant Leipzig, Paint shop. In: *BMW Group* [online]. [cit. 2021-02-09]. Dostupné z: <https://www.press.bmwgroup.com/global/photo/detail/P90201762/bmw-group-plantleipzig-paint-shop-production-of-bmw-1-series-5-door-application-of-paint-10-2015>
- [49] Lestenie aut, *Proces lakovania a výroby automobilov*. In: Lestene aut [online]. 2021 [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <http://www.lestenieaut.sk/proces.html>
- [50] New Inorganic Treatment: *Product and thickness measurements* [online]. Škoda Auto a.s. and Arcelor Mittal [cit. 2020-11-17].
- [51] TL 4225. Alloyed Quenched And Tempered Steel for Press Quenching – Uncoated or Pre-Coated: *Material Requirements for Semi-Finished Products and Components*. Volkswagen Aktiengesellschaft, 2012.
- [52] *SSAB high-strength steel-sheet, plate, coil, tube, profile* [online]. SSAB Newroom, 2021 [cit. 2021-6-15]. Dostupné z: <https://www.ssab.com/products/steel-categories/metal-coated-steels/steelselector/metal-coated-formable-steels>
- [53] ATV Praha s.r.o.. *Elektrodové čepičky 39D 1978-2*. [online]. [cit. 2021-06-17]. Dostupné z: <https://www.atvp Praha.cz/p/985/g0-13>

Seznam tabulek

Tabulka 1 Svařovací parametry tvrdého a měkkého režimu.....	23
Tabulka 2 Základní svařovací parametry bodového svařování.....	24
Tabulka 3 Chemické složení materiálu DX56D+Z100MC.....	49
Tabulka 4 Mechanické vlastnosti materiálu DX56D+Z100MC	50
Tabulka 5 Vlastnosti povlaku Z100MC.....	50
Tabulka 6 Rozbor materiálu DX56D + Z100MC	50
Tabulka 7 Množství síry v povrchové vrstvě	50
Tabulka 8 Charakteristické vlastnosti odporového lisu PMS 11-4.....	53
Tabulka 9 Chemické složení elektrodové čepičky 39D 1978-1.....	54
Tabulka 10 Optimalizované svařovací parametry.....	55
Tabulka 11 Opatřované elektrodové čepičky pro plechy s množstvím síry 0-40 mg S/m ² v povrchové vrstvě	58
Tabulka 12 Opatřované elektrodové čepičky pro plechy s množstvím síry 20 mg S/m ² v povrchové vrstvě a teplotou sušení 100 °C a 130 °C	59
Tabulka 13 Charakteristické vlastnosti trhacího stroje LabTest 5.100SP1.....	60
Tabulka 14 Výsledky metalografické zkoušky pro plechy s množstvím síry 0-40 mg S/m ² v povrchové vrstvě	70
Tabulka 15 Výsledky metalografické zkoušky pro plechy s množstvím síry 20 mg S/m ² v povrchové vrstvě a teplotou sušení 100 °C a 130 °C	71
Tabulka 16 Focené svary z vrchu pro plechy s množstvím síry 0-40 mg S/m ² v povrchové vrstvě	72
Tabulka 17 Focené svary z vrchu pro plechy s množstvím síry 20 mg S/m ² v povrchové vrstvě a teplotou sušení 100 °C a 130 °C.....	73

Seznam obrázků

Obrázek 1 Povrchové úpravy díly karoserie modelu Škoda Octavia III.....	12
Obrázek 2 Robotizované pracoviště ve svařovně ŠKODA AUTO.....	15
Obrázek 3 Odpor při odporovém svařování.....	16
Obrázek 4 Průřez bodového svaru	17
Obrázek 5 Schéma odporového švového svařování.....	19

Obrázek 6 Schéma výstupkového odporového svařování.....	20
Obrázek 7 Schéma stykového odporového svařování.....	20
Obrázek 8 Přímé bodové svařování	21
Obrázek 9 Nepřímé bodové svařování	21
Obrázek 10 Typy rozstříků.....	26
Obrázek 11 Vady při odporovém bodovém svařování	26
Obrázek 12 Typy zaměnitelných elektrodových čepiček	27
Obrázek 13 Základní schéma svařovací stroje.....	31
Obrázek 14 Závěsné bodovací kleště k odporovému svařovacímu zdroji.....	31
Obrázek 15 Komplexní systém chránící povrch karoserie.....	32
Obrázek 16 Povrch válce „SBT“, zvětšeno 500x.....	34
Obrázek 17 Princip texturování pracovního válce metodou „SBT“	34
Obrázek 18 Princip texturování pracovního válce metodou „EDT“.....	35
Obrázek 19 Povrch plechu „EDT“, zvětšeno 500x	35
Obrázek 20 Povrch pracovního válce „LT“, zvětšeno 500x	35
Obrázek 21 Princip texturování pracovního válce metodou „LT“.....	35
Obrázek 22 Povrch plechu „EBT“, zvětšeno 500x	36
Obrázek 23 Princip texturování pracovního válce metodou „EBT“	36
Obrázek 24 Povrch plechu „PRETEX“, zvětšeno 500x.....	37
Obrázek 25 Princip texturování pracovního válce metodou „PRETEX“	37
Obrázek 26 Kataforézní linka	40
Obrázek 27 Schéma galvanického zinkování.....	41
Obrázek 28 Řez galvanicky naneseným povlakem zink	41
Obrázek 29 Schéma linky pro galvanické zinkování	41
Obrázek 30 Rozdíl ve složení povlaku mezi galvanickým (elektrolytickým) a žárovým zinkováním.....	41
Obrázek 31 Žárové zinkování na suchý způsob.....	43
Obrázek 32 Žárové zinkování na mokrý způsob.....	43
Obrázek 33 Kontinuální žárové zinkování plech	44
Obrázek 34 Nanášení plniče na karoserii automobilu.....	46
Obrázek 35 Přehled konzervovaných dutin	47
Obrázek 36 Pozinkovaný ocelový plech se speciální povrchovou vrstvou	48
Obrázek 37 Pákové nůžky na střih materiálu.....	51
Obrázek 38 Odporový lis PMS 11-4.....	52

Obrázek 39 Elektrodové čepičky 39D 1978-1	53
Obrázek 40 Výkres elektrodové čepičky 39D 1978-1	54
Obrázek 41 Utržená elektrodová čepička.....	55
Obrázek 42 Vzorek plechu pro opotřebení elektrodové čepičky	55
Obrázek 43 Trhací stroj LabTest 5.100SP1	60
Obrázek 44 Metalografická pila Labotom-3 (vlevo), Metalografický lis CitoPress (vpravo).	69

Seznam grafů

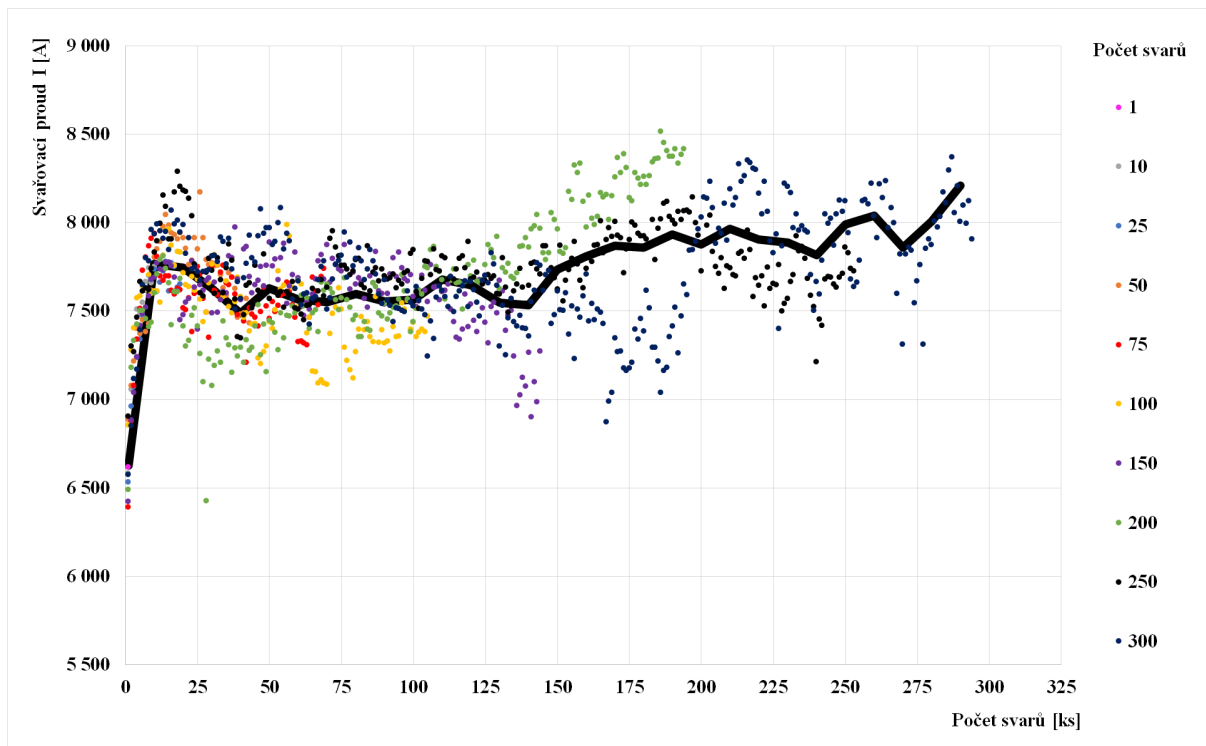
Graf 1 Závislost naměřeného svařovacího proudu na míře opotřebení elektrodoých čepiček pro plechy s obsahem síry 0-40 mg S/m ² v povlaku	56
Graf 2 Závislost naměřeného svařovacího proudu na míře opotřebení elektrodoých čepiček pro plechy s obsahem síry 20 mg S/m ² v povlaku a teplotou sušení 100 °C a 130 °C	57
Graf 3 Závislost maximální síly potřebné na přetržení na množství síry 0-40 mg S/m ² v povrchové vrstvě	61
Graf 4 Závislost maximální síly potřebné na přetržení na míře opotřebení elektrodoých čepiček pro plechy s obsahem síry 0-40 mg S/m ² v povlaku	62
Graf 5 Závislost maximální síly potřebné na přetržení na množství síry 20 mg S/m ² v povrchové vrstvě a teplotou sušení 100 °C a 130 °C	63
Graf 6 Závislost maximální síly potřebné na přetržení na míře opotřebení elektrodoých čepiček pro plechy s obsahem síry 20 mg S/m ² v povlaku a teplotou sušení 100 °C a 130 °C	64
Graf 7 Závislost průměrů svarových čoček na množství síry 0-40 mg S/m ² v povrchové vrstvě	65
Graf 8 Závislost průměrů svarových čoček na míře opotřebení elektrodoých čepiček pro plechy s obsahem síry 0-40 mg S/m ² v povlaku.....	66
Graf 9 Závislost průměrů svarových čoček na množství síry 20 mg S/m ² v povrchové vrstvě a teplotou sušení 100 °C a 130 °C	67
Graf 10 Závislost průměrů svarových čoček na míře opotřebení elektrodoých čepiček pro plechy s obsahem síry 20 mg S/m ² v povlaku a teplotou sušení 100 °C a 130 °C.....	68

Seznam příloh

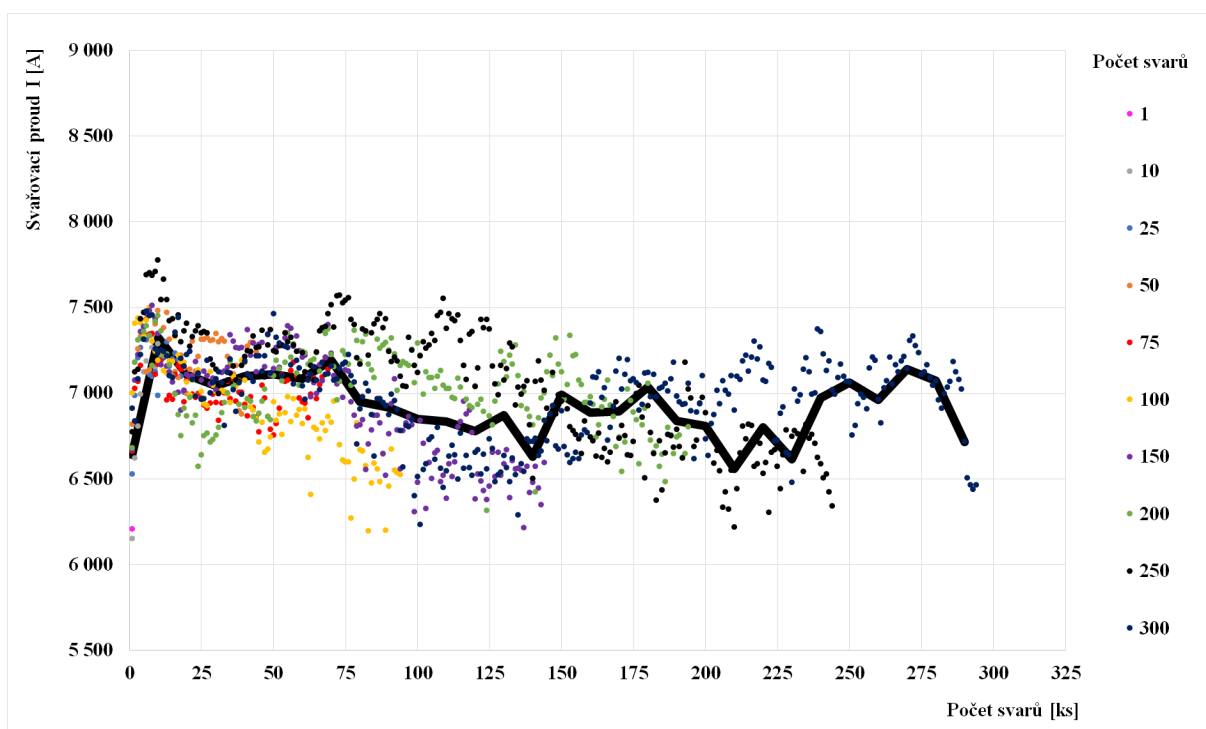
Příloha 1 Závislost naměřeného svařovacího proudu na míře opotřebení elektrodových čepiček pro plech s obsahem síry 0 mg S/m ² v povrchové vrstvě.....	85
Příloha 2 Závislost naměřeného svařovacího proudu na míře opotřebení elektrodových čepiček pro plech s obsahem síry 10 mg S/m ² v povrchové vrstvě.....	85
Příloha 3 Závislost naměřeného svařovacího proudu na míře opotřebení elektrodových čepiček pro plech s obsahem síry 20 mg S/m ² v povrchové vrstvě.....	86
Příloha 4 Závislost naměřeného svařovacího proudu na míře opotřebení elektrodových čepiček pro plech s obsahem síry 30 mg S/m ² v povrchové vrstvě.....	86
Příloha 5 Závislost naměřeného svařovacího proudu na míře opotřebení elektrodových čepiček pro plech s obsahem síry 40 mg S/m ² v povrchové vrstvě.....	87
Příloha 6 Závislost naměřeného svařovacího proudu na míře opotřebení elektrodových čepiček pro plech s obsahem síry 20 mg S/m ² v povrchové vrstvě a teplotou sušení 100 °C	87
Příloha 7 Závislost naměřeného svařovacího proudu na míře opotřebení elektrodových čepiček pro plech s obsahem síry 20 mg S/m ² v povrchové vrstvě a teplotou sušení 130 °C	88

Přílohy

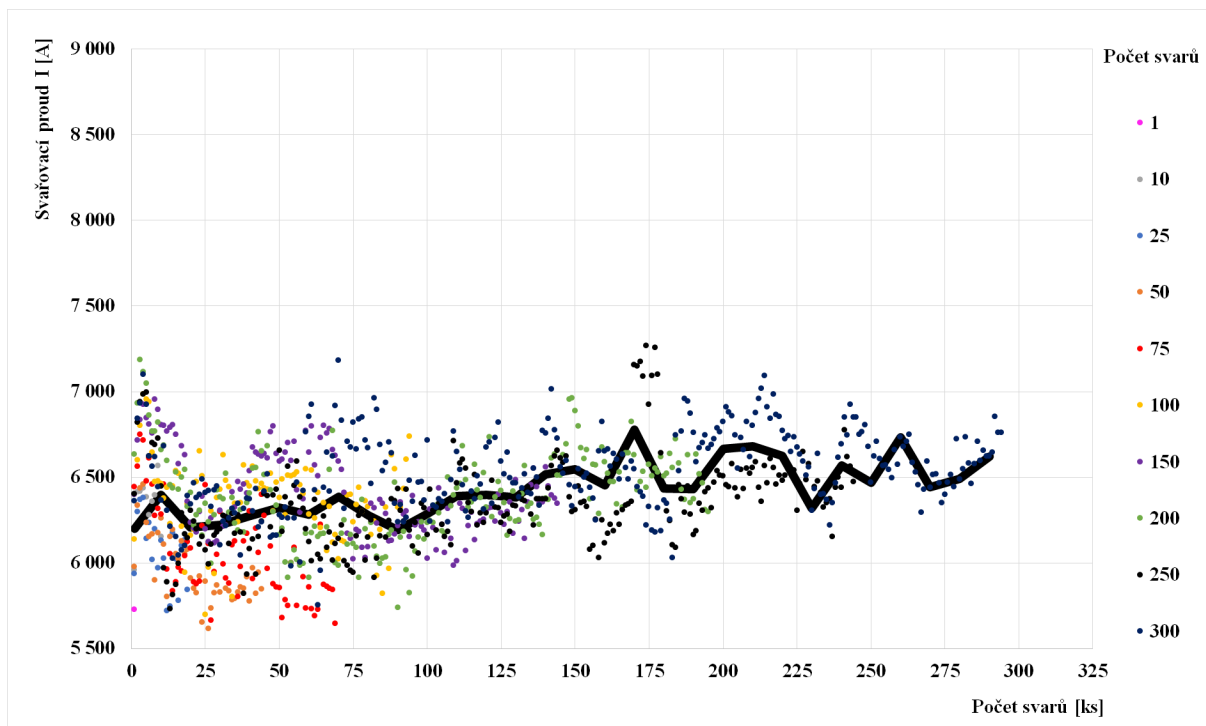
Příloha 1 Závislost naměřeného svařovacího proudu na míře opotřebení elektrodových čepiček pro plech s obsahem síry 0 mg S/m² v povrchové vrstvě



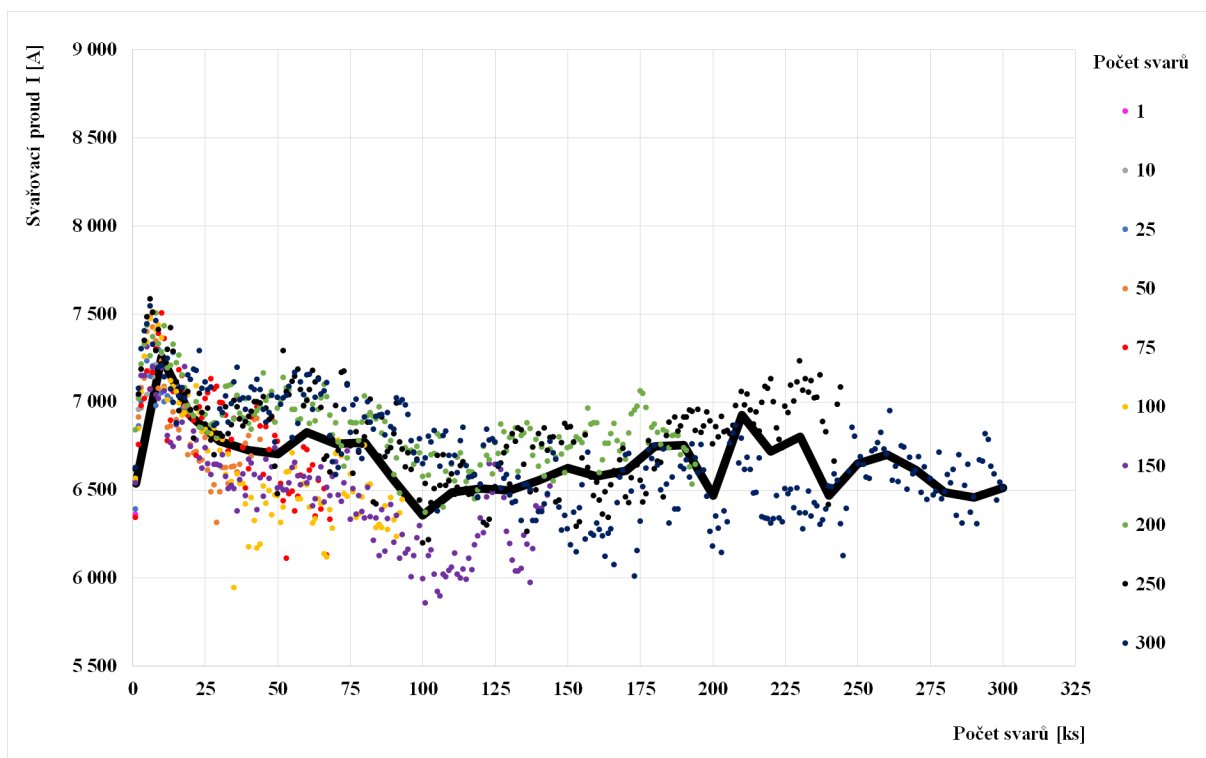
Příloha 2 Závislost naměřeného svařovacího proudu na míře opotřebení elektrodových čepiček pro plech s obsahem síry 10 mg S/m² v povrchové vrstvě



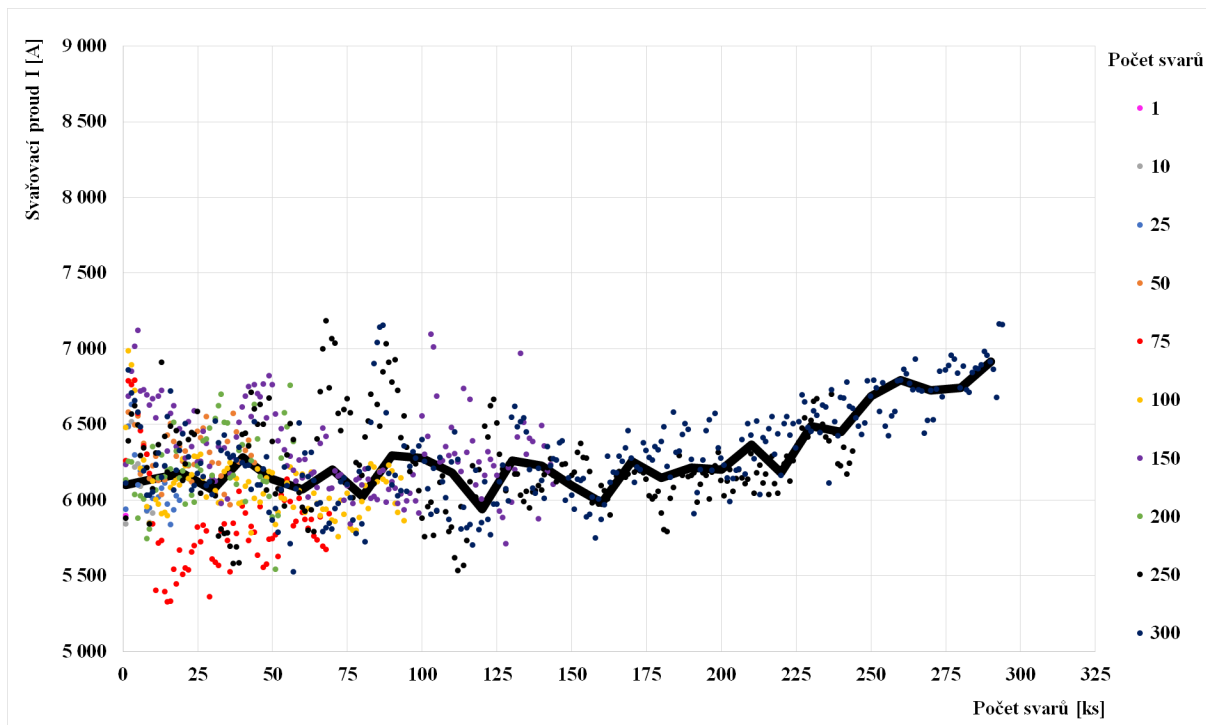
Příloha 3 Závislost naměřeného svařovacího proudu na míře opotřebení elektrodových čepiček pro plech s obsahem síry 20 mg S/m² v povrchové vrstvě



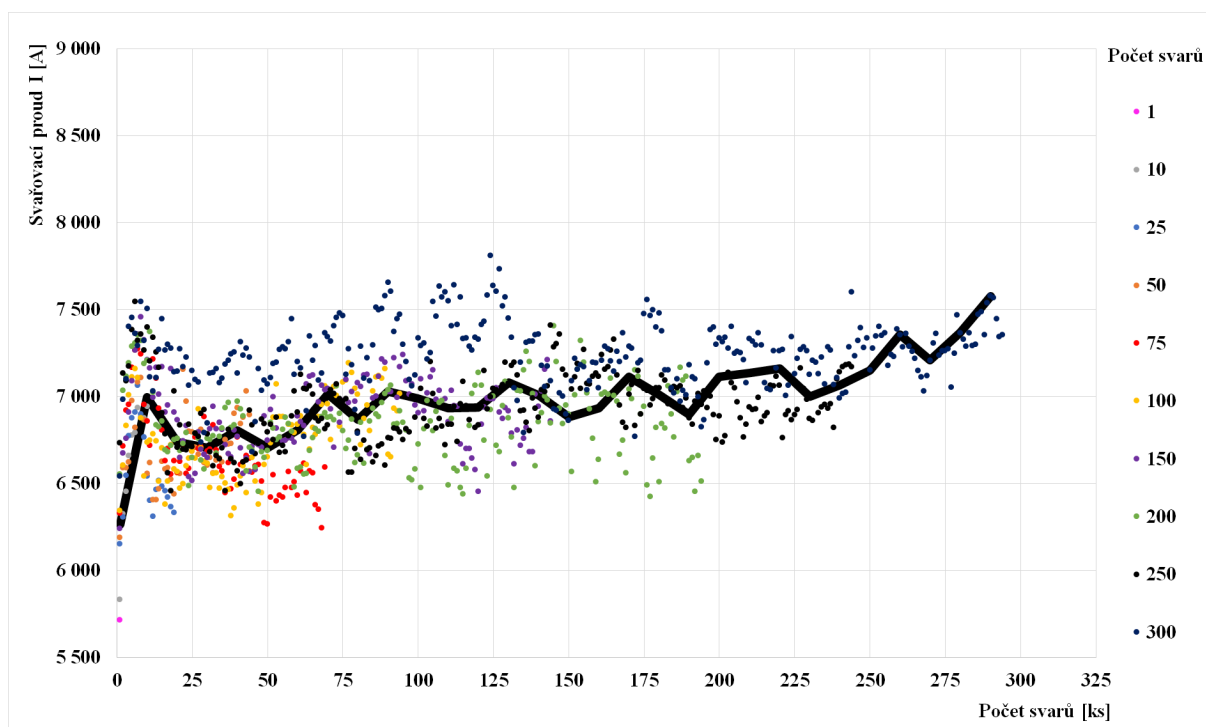
Příloha 4 Závislost naměřeného svařovacího proudu na míře opotřebení elektrodových čepiček pro plech s obsahem síry 30 mg S/m² v povrchové vrstvě



Příloha 5 Závislost naměřeného svařovacího proudu na míře opotřebení elektrodových čepiček pro plech s obsahem síry 40 mg S/m² v povrchové vrstvě



Příloha 6 Závislost naměřeného svařovacího proudu na míře opotřebení elektrodových čepiček pro plech s obsahem síry 20 mg S/m² v povrchové vrstvě a teplotou sušení 100 °C



Příloha 7 Závislost naměřeného svařovacího proudu na míře opotřebení elektrodových čepiček pro plech s obsahem síry 20 mg S/m² v povrchové vrstvě a teplotou sušení 130 °C

