



# Vliv AL-Si vrstvy na mechanické vlastnosti svarů při svařování vysokopevnostních ocelí metodou MAG

## Diplomová práce

*Studijní program:* N2301 – Strojní inženýrství  
*Studijní obor:* 2301T048 – Strojírenská technologie a materiály  
*Autor práce:* **Bc. Radek Bednář**  
*Vedoucí práce:* Ing. Josef Bradáč, Ph.D.



Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Akademický rok: 2016/2017

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Radek Bednář**

Osobní číslo: **S15000342**

Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Strojírenská technologie a materiály**

Název tématu: **Vliv AL-Si vrstvy na mechanické vlastnosti svarů při svařování vysokopevnostních ocelí metodou MAG**

Zadávající katedra: **Katedra strojírenské technologie**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Prostudujte teoretické základy obloukového svařování v ochranné atmosféře se zaměřením na metodu MAG.
2. Seznamte se s průběhem a vyhodnocením destruktivních a nedestruktivních zkoušek svarových spojů.
3. Prostudujte metodiku hodnocení mikro a makro struktury svarových spojů.
4. V experimentální části připravte vzorky s proměnnou tloušťkou vrstvy AL-Si.
5. Proveďte experimenty, tedy vlastní svaření zkušebních vzorků metodou MAG. Poté připravte a proveďte vybrané destruktivní a nedestruktivní zkoušky.
6. Proveďte zhodnocení dosažených výsledků vlivu AL-Si vrstvy na mechanické vlastnosti svarových spojů vysokopevnostní oceli při svařování metodou MAG.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: **cca 50 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- [1] NEUMANN, H. *Teorie svařování a pájení, Část 1: Tavné svařování*. Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní: Katedra strojírenské technologie. 2014. s 167. ISBN 978-80-7494-171-9.
- [2] FOLDYNA, Václav et. al. *Materiály a jejich svařitelnost*. 1. vydání. Ostrava: Zeross, 1999. s 295. ISBN 80-85-771-85-3.
- [3] BARTÁK, Jiří et. al. *Výroba a aplikované inženýrství ve svařování*. 1. vydání. Ostrava: Zeross, 2000. s 213. ISBN 80-85771-72-1.
- [4] AMBROŽ, O., B. KANDUS a J. KUBÍČEK. *Technologie svařování a zařízení*. 1. vydání. Ostrava: Zeross, 2001. s 395. ISBN 80-85-771-81-0.
- [5] ČSN EN ISO 4136. *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů - Příčná zkouška tahem*. Praha: Český normalizační institut, 2013. 16s. Třídící znak 05 11 21.
- [6] ČSN EN ISO 17639. *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů - Makroskopická a mikroskopická kontrola svarů*. Praha: Český normalizační institut, 2014. 12s. Třídící znak 051128.

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Josef Bradáč, Ph.D.**

Katedra strojírenské technologie

Datum zadání diplomové práce:


**1. listopadu 2016**

Termín odevzdání diplomové práce:

**1. dubna 2018**

  
prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
děkan



  
doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. listopadu 2016

## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 23.5.2017

Podpis: Bedmař Radeš

## **Název diplomové práce:**

Vliv Al-Si vrstvy na mechanické vlastnosti svarů při svařování vysokopevnostních ocelí metodou MAG

## **The title of thesis:**

Influence of the Al-Si layer on the mechanical properties of the weld when welding high strength steels MAG

## **Anotace**

Diplomová práce se věnuje vlivu Al-Si vrstvy na mechanické vlastnosti svarů při spojování vysokopevnostních ocelí svařováním v ochranné atmosféře tavící se elektrodou v závislosti na různé tloušťce této vrstvy. Dále jsou v práci popsány průběhy destruktivní a nedestruktivní zkoušky svarových spojů se zaměřením na hodnocení mechanických vlastností, mikrotvrdosti a metalografie svaru. Následně budou, v diplomové práci popsány základy svařování, nejpoužívanější ocelové materiály v automobilovém průmyslu, jejich vlastnosti a konkrétní použití. U oceli typu 22MnB5 jsou popsány její vlastnosti a technologie výroby. Experimentální část diplomové práce je zaměřena na studium vlivu tloušťky Al-Si vrstvy na mechanické vlastnosti svarů provedených metodou MAG. V závěru je uvedeno zhodnocení vlivu Al-Si vrstvy na užité vlastnosti svarových spojů.

## **Klíčová slova**

Al-Si vrstva, svařování MAG, vysokopevnostní ocel, mikrotvrdost, mechanické zkoušky,

## **Annotation**

This thesis is about the influence of the Al-Si layer on mechanical properties of the weld when welding high strength steels in protective atmosphere melting with an electrode depending on various thicknesses of layers. Then there are described destructive and non-destructive tests of the courses of weld joints here. Especially it is focused on evaluation of mechanical properties, microhardness and metallography of the weld. There are described basis of welding, the most used steel materials in automotive, their properties and their specific use. There are also described the properties of 22MnB5 steel type and its production technology. Experimental part of the thesis is with a view to the study of thickness Al-Si layer influence on mechanical properties of weld carried out with the method MAG. At the end of the theses is evaluation of the Al-Si layer influence on profitable properties of weld joints.

## **Keywords**

Al-Si layer, welding MAG, high strength steels, microhardness, mechanical testes

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Josefu Bradáčovi, Ph.D. za odbornou pomoc a podmětné připomínky ke zpracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Tomáši Pilvousekovi za cenný materiál a čas, který mi věnovali. V neposlední řadě mé velké díky patří rodině a blízkému okolí za podporu a trpělivost.

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>9</b>
1.1	Cíl diplomové práce.....	10
1.2	Metodika diplomové práce .....	10
<b>2</b>	<b>Technologie svařování</b> .....	<b>11</b>
2.1	Svařování elektrickým obloukem.....	12
2.2	Technologie svařování tavící se elektrodou v ochranných atmosférách.....	14
2.3	Zdroje proudu pro obloukové svařování .....	15
2.4	Charakteristika zdrojů pro svařování .....	16
2.5	Možnosti přenosu kovu při svařování MIG/MAG .....	17
2.6	Plyny pro svařování MIG/MAG .....	19
2.7	Podávací zařízení.....	20
2.8	Svařovací hořáky pro MIG/MAG.....	22
2.9	Přídavné materiály .....	23
<b>3</b>	<b>Druhy materiálů při výrobě karoserie</b> .....	<b>24</b>
3.1	Použité materiály ke stavbě karoserie .....	24
3.2	Jednotlivé typy ocelí .....	25
3.2.1	Nízkopevnostní oceli (LSS – Low Strength Steel ).....	26
3.2.2	Standartní oceli (HSS – High Strength Steel) .....	26
3.2.3	AHSS oceli (Advance High Strength Steel) .....	27
<b>4</b>	<b>Za tepla tvářená ocel 22MnB5</b> .....	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>Zkoušení svarových spojů</b> .....	<b>34</b>
5.1	Nedestruktivní zkoušky svarů.....	34
5.2	Destruktivní zkoušky svarů.....	34
5.2.1	Zkouška tahem .....	35
5.2.2	Zkouška tvrdosti a mikrotvrdosti.....	38
5.2.3	Metalografické zkoušky.....	39
<b>6</b>	<b>Experimentální část</b> .....	<b>40</b>
6.1	Pořízení zkušebních vzorků s různou tloušťkou Al-Si vrstvy .....	40
6.2	Vyhotovení svarů pro experiment.....	41
<b>7</b>	<b>Vyhodnocení experimentu</b> .....	<b>42</b>
7.1	Zhotovení metalografických zkoušek .....	42
7.2	Vyhodnocení velikosti vrstev .....	46
7.3	Vyhodnocení mechanických zkoušek.....	52
7.4	Hodnocení mikrotvrdosti.....	54
<b>8</b>	<b>Závěr</b> .....	<b>59</b>
	<b>Literatura</b> .....	<b>61</b>



# 1 Úvod

Svařování patří mezi jednu z nejstarších technologií zpracování kovů. V dnešní době je jednou z nejvíce se rozvíjejících technologií, která se neustále rozrůstá o nové možnosti svařovaných materiálů. Svařování se používá ke spojování od malých až po několikatunové součástky. Pro spojení některých výrobků je totiž svařování jediná možná technologie, a to jak z úspory materiálu, tak i z technického hlediska. Pomocí různých metod svařování můžeme spojovat kovové materiály a jejich slitiny i při dodržení požadovaných mechanických a chemických vlastností.

V automobilovém průmyslu se v dnešní době používá více vysoko-  
pevnostních plechů majících i přes menší tloušťku dobré mechanické  
vlastnosti a pro snížení hmotnosti karoserie jsou vyhovující i při dodržení  
tuhosti. Tyto plechy, jež se tváří za tepla, získávají po tváření martenzitickou  
strukturu, která jim zaručí velmi vysokou pevnost.

Svařování tavící se elektrodou MAG je v automobilovém průmyslu po  
odporovém bodovém svařování druhou nejpoužívanější metodou. Tímto  
způsobem se spojují i zmíněné materiály karoserie, které jsou opatřeny  
povrchovou vrstvou na bázi Al-Si. Tato vrstva zabraňuje oxidaci plechu  
při tváření za tepla, poté je však nežádoucí pro svařovací proces,  
kde způsobuje nestabilitu. Tato nestabilita je předmětem mnoha zkoušek  
a prováděných výzkumů.

## **1.1 Cíl diplomové práce**

Cílem diplomové práce je sepsat základní poznatky o svařování v ochranné atmosféře a způsobu zpracování vysokopevnostní oceli tvářené za tepla. V experimentální části je cílem zjistit vliv Al-Si vrstvy na mechanické vlastnosti materiálu po svařování tavící se elektrodou MAG

## **1.2 Metodika diplomové práce**

Zhotovení diplomové práce probíhalo v následujících krocích, kterými bylo prostudování literatury se základy obloukového svařování se zaměřením na svařování v ochranné atmosféře a hodnocením mechanických vlastností svaru pomocí destruktivních a nedestruktivních zkoušek. Zhotovení jednotlivých vzorků a jejich zkoušek proběhly ve firmě ŠKODA AUTO a.s. K vytvoření fotodokumentace posloužil mobilní telefon HUAWEI P9 a tablet Apple Air iPad.

## 2 Technologie svařování

Svařování je proces, při kterém se nerozebíratelně spojují kovy i nekovové materiály pomocí působení tepla, tlaku (síly) nebo obou za případného použití přídavného materiálu, který má stejné, podobné nebo jiné složení než základní materiál [1].

Další možná definice svařování je proces vyhotovení nerozebíratelného spojení při dosažení meziatomových vazeb spojovaných součástí při jejich ohřevu nebo plastické deformaci, nebo jejich kombinací za možného použití přídavného materiálu [2].

Existují tedy různé metody svařování, kterými můžeme spojit nepřeborné množství materiálů z polotovarů vyrobených nejenom technologiemi tváření, ale i sléváním. Každý tento spoj vnáší do vyrobené součástky jakousi nehomogenitu a tudíž i náchylnost k nějaké vadě. Proto si musíme důkladně rozmyslet, jakou metodu na daný spoj použijeme.

Jak už bylo zmíněno, svařování můžeme rozdělit do několika základních metod, a to na tavné a tlakové. Tlakové svařování probíhá za působení vnějších sil. Tyto síly musí být dostatečně velké, abychom se dostali na úroveň plastické deformace obou materiálů. Mezi tlakové svařování patří dle ČSN EN 14610 například odporové svařování, kde nositelem tepla je elektrický proud, který prochází skrz svařovaný materiál a ten klade odpor průchodu proudu, čímž vzniká teplo. Působením tepla a pomocí tlaku pak dojde ke spojení materiálu. Odporové svařování patří mezi nejčastější metody používané v automobilovém průmyslu. Dále sem patří svařování výbuchem používané pro navařování, tzv. plátování. Dva materiály se položí na sebe, na horní část materiálu se položí výbušnina, která se přivede k explozi. Tlaková vlna způsobí tlak až 100 GPa, jenž je mnohonásobně větší než mez kluzu. Tlaková energie se tak změní na deformační, oba materiály se na styčných plochách zplastifikují a dochází tak ke spojení. Mezi tato svařování patří také jedna z nejstarších metod, kterou je kovářské svařování, dále potom třeba difúzní svařování.

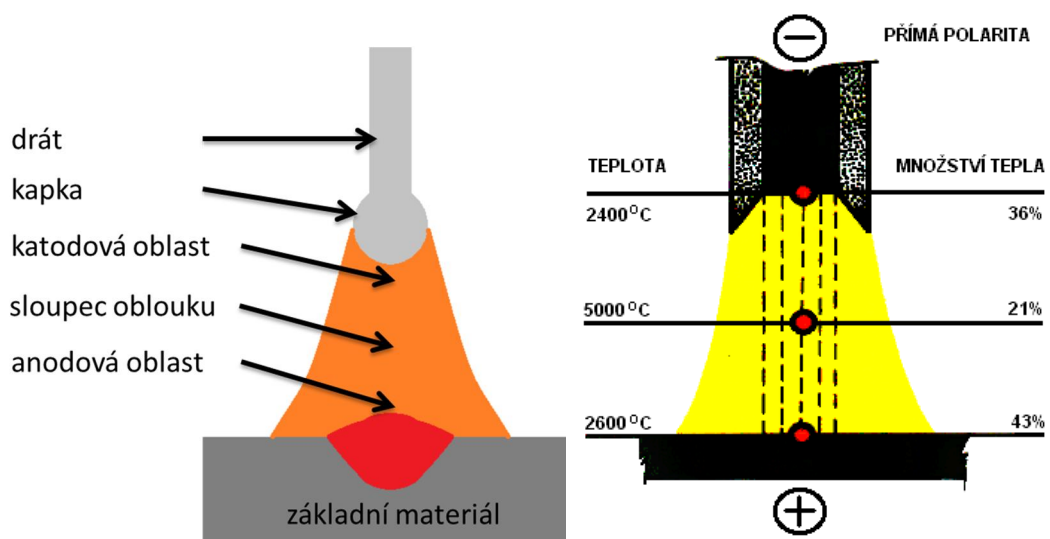
Tavné svařování je bez vlivu vnějších sil za působení koncentrovaných zdrojů tepla, které působí na svařovaný materiál, a to jak na mikrostrukturu, tak i na mechanické vlastnosti. Mezi tavné svařování patří plamenové svařování, kde zdrojem tepla je směs dvou plynů, a to plynu hořlavého například acetylen ( $C_2H_2$ ), vodík ( $H_2$ ), propan butan a plynu podporujícího hoření jako kyslík ( $O_2$ ) nebo vzduch. Obloukovým svařováním se budeme zabývat v samostatné kapitole. Ještě pár příkladů svařování, kterými jako jsou laserové, plazmové popřípadě elektronové svařování [3, 4, 5].

## 2.1 Svařování elektrickým obloukem

Svařování elektrickým obloukem patří, jak už bylo zmíněno v předešlé kapitole, do skupiny tavného svařování. Svařování elektrickým obloukem dále dělíme podle normy ČSN EN ISO 4063 na obloukové svařování tavící se elektrodou, svařování tavící se elektrodou v ochranném plynu, svařování netavící se elektrodou v ochranném plynu a plazmové svařování. Tyto metody můžeme ještě podrobněji rozdělit [6].

Svařovací elektrický oblouk je mohutný výboj elektronů kruhového průřezu, který prochází ionizovaným plynem majícím vysokou proudovou hustotu při nízkém napětí. Svařovací oblouk dosahuje napětí do 50 V a proudu až 2 000 A. Teplota oblouku je přes 6 000 °C.

Každý svařovací oblouk je tvořen základními oblastmi, jež vidíme na obrázku č. 1, kam patří katodová oblast, ve které teplota dosahuje cca 2 600 °C a je zde největší tepelný poměr 45÷55 %. Zde také dochází k úbytku napětí a mění se tu energie kinetická na tepelnou. V oblasti sloupce tvořeného plazmatem mezi elektrodami dosahuje teploty podle metody svařování až 15 000 °C, viz tabulka 1, s poměrem do 20 %, a v anodové oblasti se teplota pohybuje do 3 200 °C a do 35 % poměru [7].



Obrázek 1 Oblasti svařovacího oblouku [8]

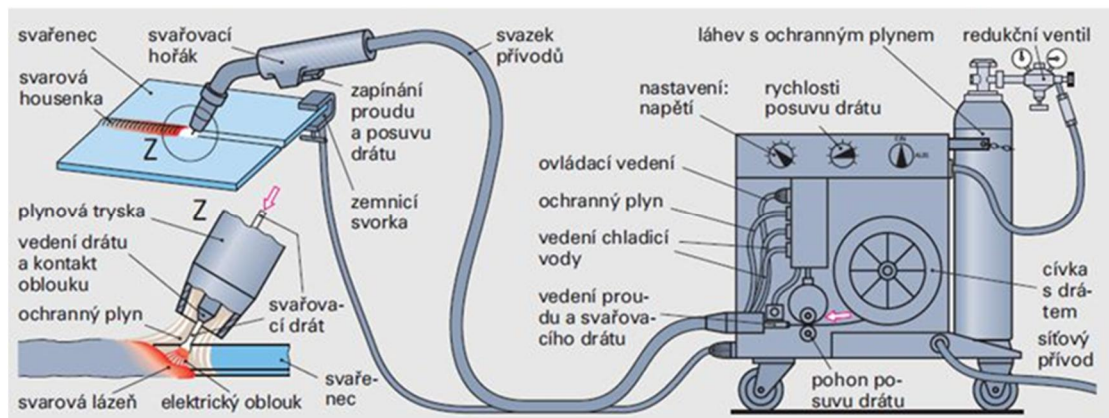
Tabulka 1 Teplota sloupce oblouku [9]

Metoda svařování	Teplota [°C]
Svařování obalenou elektrodou	4200 - 6400
Svařování netavící se elektrodou	6000 - 9000
Svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou	8000 - 15000

V této práci se budeme věnovat pouze metodě obloukového svařování tavící se elektrodou v ochranném plynu ( $\text{CO}_2$ , směsi  $\text{CO}_2$ , Ar,  $\text{O}_2$  a  $\text{H}_2$ ).

## 2.2 Technologie svařování tavící se elektrodou v ochranných atmosférách

Svařování tavící se elektrodou v ochranném plynu je označováno podle normy ČSN EN ISO 4063 jako svařování MIG (metal inert gas) / MAG (metal active gas). Svařování MIG se používá pro neželezné kovy a vysokolegované oceli. Svařování MAG se používá pro svařování nízkolegovaných a nelegovaných ocelí. Při svařování v ochranných atmosférách hoří oblouk obklopen ochranným plynem, který je přiváděn přívodovým svazkem do hořáku, proto jsou elektroda, oblouk i tavná lázeň chráněny ochranným plynem před účinky okolní atmosféry. Vše vidíme na obrázku č. 2.



Obrázek 2 Zařízení pro svařování MIG / MAG [10]

Jako ochrana se používá inertní či aktivní plyn. Široké uplatnění získává tato metoda svařování ve výrobě s ocelovými díly, kde díky automatizaci získala dominantní postavení mezi metodami obloukového svařování. V dnešní době se dbá na kvalitu a jakost provedené práce, a tím dochází k vyšším požadavkům na tuto metodu.

Výhodou oproti jiným metodám je vysoká produktivita, kvalita a jakost svaru, hospodárné využití materiálu. Nevznikají zde velké deformace svarových spojů. Je vhodné jak pro ruční, tak i pro automatizované svařování díky nízkým pořizovacím nákladům. Mezi nevýhody této metody patří hlavně práce ve venkovním prostředí díky atmosférickým jevům (vítr), větší požadavky na obsluhu ale i na přípravu svarového spoje [7, 6].

## 2.3 Zdroje proudu pro obloukové svařování

K získávání svařovacího proudu v hodnotách od 30 do 1 000 A s různými charakteristikami slouží tzv. svařovací zdroje, které musí splňovat několik požadavků. Patří sem regulace elektrického napětí a proudu, zapálení a stabilita hoření oblouku, odolávání krátkodobým zkratům, stálý výkon a dostatečná účinnost. Svařovací zdroje nám podle potřeby mohou dodávat stejnosměrný proud (svařovací dynama, generátory), střídavý proud (svařovací transformátory) a tzv. usměrněný proud (usměrňovače a invertory).

**Dynama, generátory** – dnes málo používané. Dynamo bylo poháněno elektrickým nebo spalovacím motorem, který generoval stejnosměrný proud s dobrými dynamickými vlastnostmi. Nevýhodou byla jejich velká hmotnost, hlučnost a velká spotřeba elektrické energie.

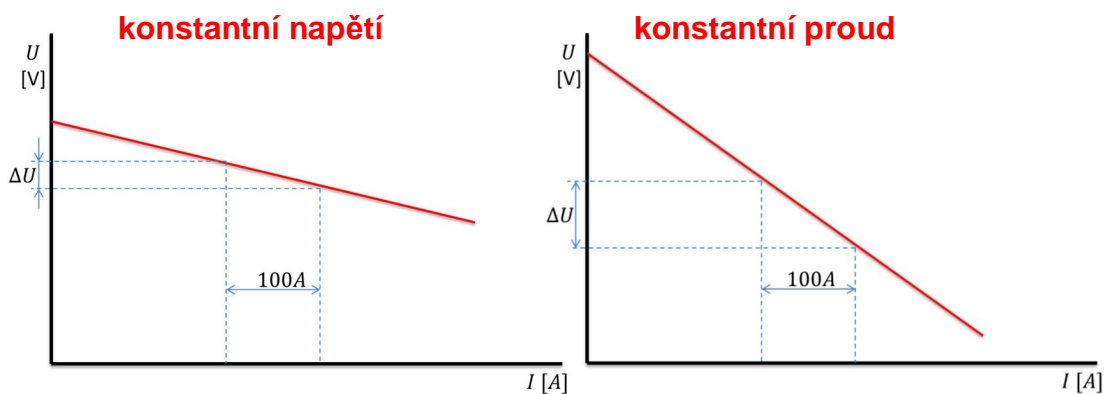
**Transformátory** – generují jednofázový střídavý elektrický proud. Mají jednoduchou konstrukci bez pohyblivých částí, nižší pořizovací náklady, jednodušší údržbu, mají polostrmou svařovací charakteristiku.

**Usměrňovače** – jsou sestaveny z polovodičového usměrňovače (dioda, tyristor) a transformátoru. Levnější varianty mají neřízenou regulaci proudu, která se provádí pomocí transformátoru. Mají malé ztráty naprázdno a rovnoměrné zatěžování sítě. Usměrňovače neobsahují rotační díly, což vede ke snadné údržbě.

**Invertor** – jsou často vybaveny mikroprocesorem, jež řídí celý průběh svařování. Mění vstupní hodnoty na hodnoty vhodné pro svařování, které odpovídají zvolenému průběhu. Používá se pro různé metody svařování díky širokému rozsahu možnosti měnit statické a dynamické vlastnosti. Nevýhodou invertorů jsou pořizovací náklady a drahý servis. To vše se dá zanedbat kvůli jeho výhodám, jako jsou vysoká účinnost, lehká obsluhovatelost, vhodnost použití pro automatizované procesy a malá hmotnost [11].

## 2.4 Charakteristika zdrojů pro svařování

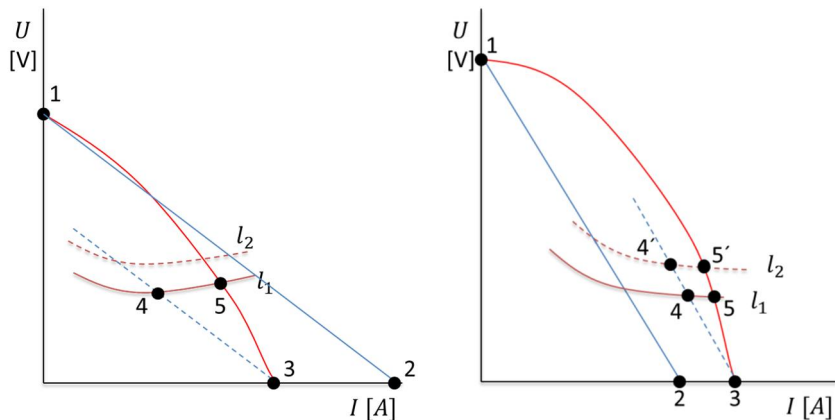
Charakteristiku zdrojů pro svařování dělíme na statickou a dynamickou. Pomocí statické charakteristiky, tzv. voltampérové, lze vyjádřit závislost mezi napětím a svařovacím proudem. Rozeznáváme dvě základní charakteristiky, a to s konstantním napětím, tzv. tvrdou, plochou charakteristiku, kde při změně elektrického oblouku jako je prodloužení jeho délky, dojde ke zvýšení svařovacího proudu cca o 100 A při mírném poklesu napětí do 7 V. Druhá charakteristika je s konstantním proudem (strmá, klesající a někdy i měkká charakteristika). Zde dochází při zvýšení proudu o cca 100 A ke změně napětí o více jak 7 V. Obě charakteristiky vidíme na obrázku č. 3.



Obrázek 3 Statická (voltampérová) charakteristika

Dynamická charakteristika je způsob, jakým zdroj reaguje na změnu zatížení. Tím je zapálení oblouku a následné ustálení stavu. I zde rozeznáváme dva druhy, měkkou a tvrdou charakteristiku. Průběh svařování začíná při prvním dotyku elektrody se základním materiálem, kdy dochází ke zkratu a z napětí na prázdnou bod 1 klesá na nulové napětí do bodu 2. Po ustálení a přechodu na statickou charakteristiku se dostáváme do bodu 3. Po zapálení oblouku vzrostou hodnoty napětí a proudu do bodu 4. Po překročení tohoto bodu nemusí dojít k zapálení oblouku. Po následném ustálení jsme v bodě 5. Vše vidíme na obrázku č. 4.



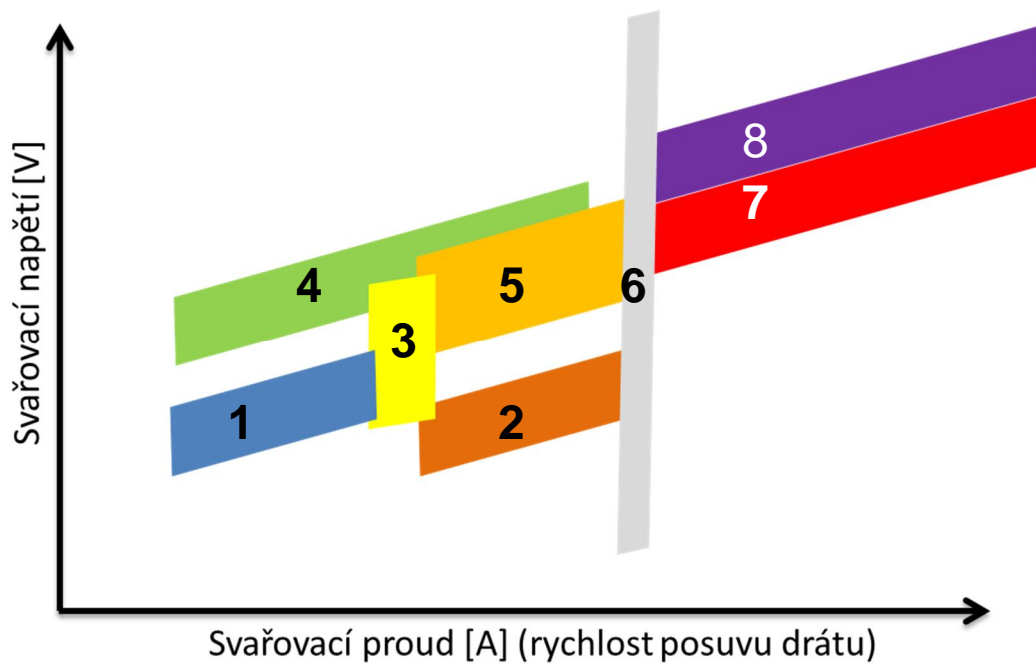


Obrázek 4 Tvrdá a měkká dynamická charakteristika

Popis průběhu měkké charakteristiky je stejný jako u předešlé tvrdé charakteristiky s tím rozdílem, že dochází k zapálení oblouku i ve větší vzdálenosti  $l_2$ . Konstrukce zdroje určuje dynamické charakteristiky, které jsou důležité hlavně pro svařování tavící se elektrodou v ochranném plynu [11].

## 2.5 Možnosti přenosu kovu při svařování MIG/MAG

Díky možnosti nastavení různých hodnot proudu a napětí můžeme dosáhnout různých přenosů kovu, jež dělíme dle obrázku č. 5



Obrázek 5 Typy přenosu kovů [12]

Mezi základní typy přenosu dle obrázku č. 5 patří oblast 1 nazývaná krátký zkratový přenos, kdy dochází k přerušování oblouku. Po dotyku elektrody se ze základního materiálu pomocí zkratu vytvoří kapka kovu a ta se odtaví do svarové lázně.

Oblast 2 - zrychlený zkratový přenos má stejné svařovací napětí s vyšší hodnotou svařovacího proudu nad 200 A. Tehdy dochází k rychlejšímu odtavení elektrody s malým rozstříkem.

Oblast 3 - přechodový dlouhý oblouk s nepravidelnými zkraty, který se nedoporučuje používat z toho důvodu, že zde dochází k natavení velké kapky, která je následně velkou rychlostí vymrštěna do svarové lázně.

Oblast 4 - impulzní bezzkratový svým rozsahem parametrů zasahuje jak do zkratového tak i do sprchového přenosu, který se realizuje při pulzujícím svařovacím proudem. Oblouk hoří v celém průběhu, kdy ohřívá jak svarovou lázeň, tak i elektrodu. Díky možnosti nastavení proudu, napětí, frekvence a amplitudy poskytuje zdroj široké uplatnění v praxi pro svařování hliníku a vysokolegovaných ocelí.

Oblast 5 - sprchový bezzkratový přenos typický svými velkými hodnotami svařovacího napětí a svařovacího proudu. Oblouk hoří po celou dobu, a tím vnáší velké teplo do základního materiálu. Proto je vhodný pro hluboké závary.

Oblast 6 - nestabilní oblast se nehodí svými parametry pro svařování.

Oblast 7 - moderovaný přenos, dosahuje se zde vysokých proudových hodnot 450÷750 A při relativně vyšším svařovacím napětím 40÷50 V. Doporučuje se pro vyšší rychlosti svařování a velké svařovací tloušťky materiálu.

Oblast 8 - rotující přenos kovu používáme u automatického svařování ocelí s velkými tloušťkami materiálu. Svařovací napětí je do 65 V a svařovací proud je totožný se svařovacím proudem u moderovaného přenosu. Díky velkým magnetickým silám je konec drátu, který je v plastickém stavu, roztáčen a vytváří tak kuželovou plochu. Výsledný svar má široký a hluboký závar s příznivým přechodem na okraji svaru [12, 13].

## 2.6 Plyny pro svařování MIG/MAG

Ochranný plyn chrání elektrodu, část základního materiálu a svarovou lázeň před negativními účinky okolní atmosféry. Tím vytváří dokonalé podmínky pro bezproblémový průběh svařovacího procesu. Při svařování záleží na správné volbě plynu, který ovlivňuje hloubku, šířku a kvalitu povrchu svaru. Správnou volbou ochranného plynu můžeme dosahovat dobrých mechanických vlastností, zmenšení rozstříku a zvýšení svařovací rychlosti. Pro dokonalou ochranu svarové lázně je třeba nastavit požadované množství ochranného plynu (litry za minutu).

**Ochranné plyny pro svařování MIG** – používá se argon (Ar), který je dobře ionizovatelný, vytváří široký svar se sekundární hlubokým závarem. Pro svařování se čistý argon používá málo, lepších vlastností svaru dosáhneme použitím směsi argonu, kde se při svařování změní průřez svaru.

Dalším plynem je helium (He), velmi drahý plyn, který je 7krát lehčí než vzduch a jeho spotřeba je 3krát větší než u argonu. Helium používáme tam, kde je potřeba více energie, protože má teplejší oblouk než argon. Dále se používají jejich směsi, kde obsah helia je 25÷75 % a jsou vhodné pro svařování silného hliníku a mědi.

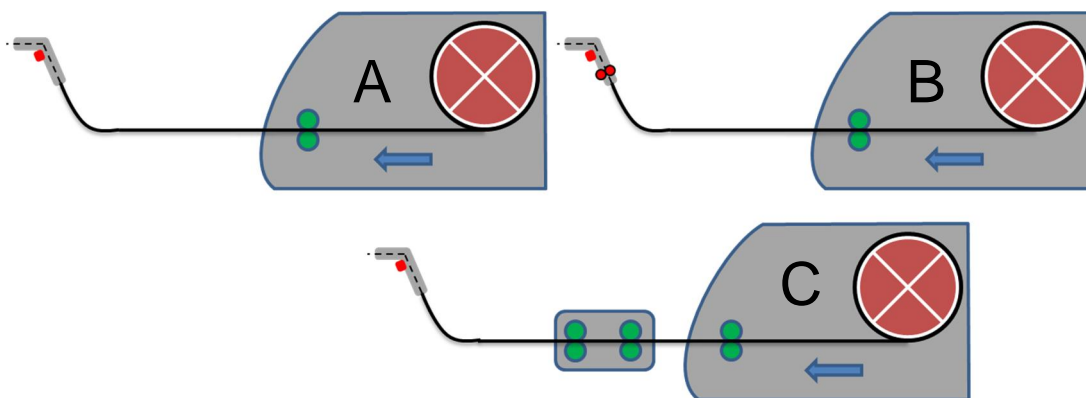
**Ochranné plyny pro svařování MAG.** Jako aktivní plyn se nejčastěji používá oxid uhličitý CO<sub>2</sub>. Je bez zápachu a barvy, způsobuje úzký a hluboký svar, avšak díky působení fyzikálních sil není přenos kovu zcela bezkratový i při použití vysokého výkonu. Proto se i zde používají směsi plynů oxidu uhličitého s argonem (CO<sub>2</sub> + Ar), kde obsah oxidu uhličitého je 10÷25 %. Při správné volbě parametrů lze svařovat s malým rozstříkem i při sprchovém, zkratovém ale i impulzním přenosu. Další směsi a jejich použití jsou uvedeny v tabulce č. 2. Všechny zmíněné plyny chrání svarovou lázeň a její okolí před vlivem okolní atmosféry, hlavně před kyslíkem (O<sub>2</sub>) a dusíkem (N<sub>2</sub>) [13, 14].

Tabulka 2 Směsi plynů a jejich použití [4]

Druhy plynu	Složení	Použití
Dvojsložkové směsi Ar + CO <sub>2</sub>	Ar + 8 ÷ 20 % CO <sub>2</sub>	Stabilní elektrický oblouk, malý rozstřík, dobrý závar, svařování ve všech polohách
Trojsložkové směsi Ar + CO <sub>2</sub> + O <sub>2</sub>	Ar + 5 ÷ 13 % CO <sub>2</sub> 1 ÷ 5 % O <sub>2</sub>	Hladké a čisté svary, vhodné pro mechanizované svařování, pozvolný přechod svaru do základního materiálu
Čtyřsložkové směsi Ar + He + CO <sub>2</sub> + O <sub>2</sub>	Různé složení	Stavby lodí, výroba kolejových vozidel, těžké strojírenství, malý rozstřík při maximálních svařovacích rychlostech

## 2.7 Podávací zařízení

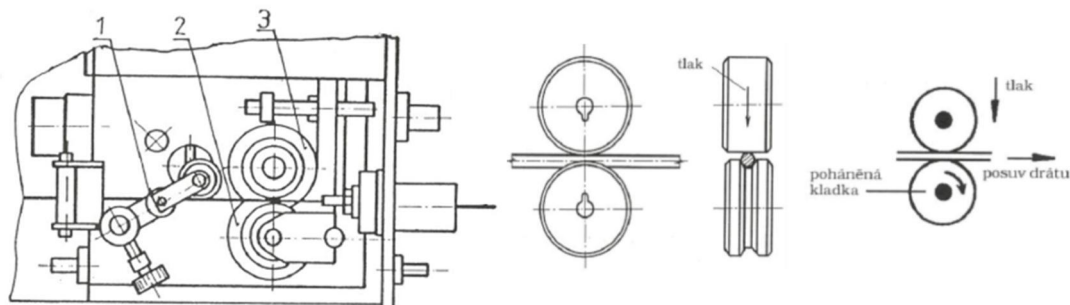
Při svařování tavící se elektrodou je přídavný materiál podává pomocí podávacího zařízení, které je samostatnou mechanickou jednotkou umístěnou uvnitř zdroje, mimo zdroj nebo v hořáku pro svařování. To vidíme na schématickém obrázku č. 6. Podávací zařízení umožňuje podávání drátu konstantní rychlostí do místa odtavování [13].



- podávací mechanismus vně svařovacího agregátu
- podávací mechanismus umístěný v hořáku a vně agregátu
- pomocné podávací zařízení mimo agregát

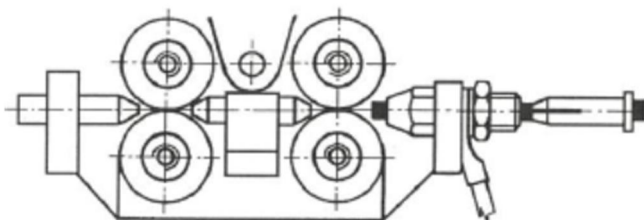
Obrázek 6 Schéma umístění podávacího zařízení

Na obrázku č. 7 vidíme hlavní části podávacího zařízení. Jehož součásti jsou čistič drátu (1), rovnací a podávací kladky (2 a 3). Podávací zařízení má různou konstrukci v závislosti na ceně, spolehlivosti a vhodnosti použití.



Obrázek 7 Schéma podávacího zařízení [15]

Nejlevnější podávací zařízení je konstruováno pomocí spodní poháněné kladky, která je opatřena po obvodu drážkou, a vrchní pouze přítlačné kladky. Dochází zde k velké deformaci svařovacího drátu z důvodu velkého přítlaku. Pro menší deformaci drátu se použije dvoukladkový popřípadě čtyřkladkový mechanismus, kde jsou poháněny všechny kladky a jsou taktéž opatřeny drážkou pro lepší vedení svařovacího drátu.

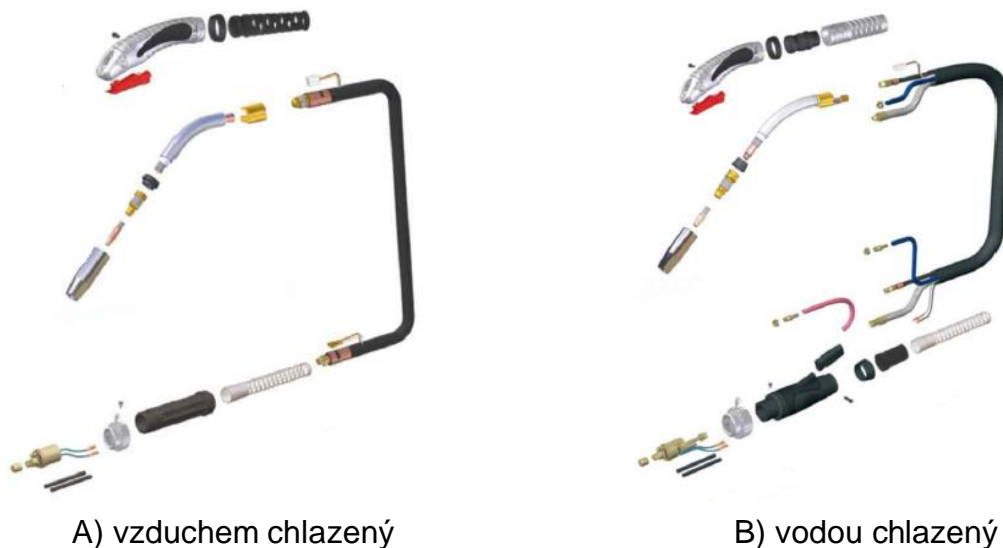


Obrázek 8 Čtyřkladkový mechanismus [16]

**Mezipodavače drátu** slouží pro svařování na delší vzdálenost od svařovacího zdroje. Délka propojení může být 30÷50 metrů. Mezipodavač se od klasického mechanismu moc neliší. Obsahuje navíc elektroniku pro řízení rychlosti, a tím je nutné toto zařízení napájet. Největší problém s mezipodavači je přesné seřízení rychlostí. Většinou se však volí větší otáčky na mezipodavači, aby popotahoval drát a odlehčil tak mechanismu ve svařovacím agregátu.

## 2.8 Svařovací hořáky pro MIG/MAG

Svařovací hořáky slouží k přívodu svařovacího drátu, k usměrnění ochranného plynu do místa svařování pomocí tzv. hubice a přívodu svařovacího proudu na elektrodu pomocí kontaktní koncovky (špičky). Hořáky jsou konstrukčně řešeny tak, aby vyhovovaly svařovacím parametrům a podmínkám. Nejvíce namáhaným dílem hořáku je jeho kontaktní koncovka (špička) a dýza ochranného plynu (hubice), proto se při konstrukci hořáku řeší, jak tyto části nejlépe chladit. Vyrábějí se chlazené vzduchem pro svařování do 200 A, viz obr. 9a a vodou pro proud vyšší jak 200 A pro ruční a strojní svařování viz obrázek 9b a dále speciální hořáky.



Obrázek 9 Svařovací hořáky [17]

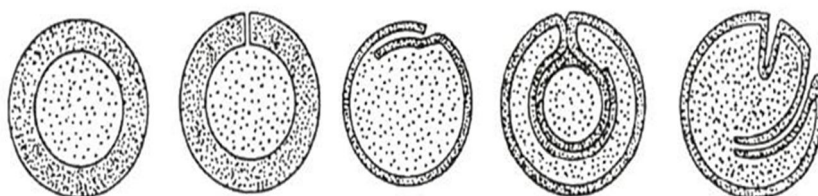
Mezi speciální svařovací hořáky patří hlavně ty, které mají zabudované podávací zařízení tzv. PUSH-PULL. Zde se jedná o určitou zmenšeninu podávacího zařízení v rukojeti hořáku, viz obrázek č. 10. Rychlost podávání můžeme nastavit buď na svařovacím agregátu, nebo na hořáku. Tento hořák se používá pro délky okolo 20 metrů. Dalším typem je tzv. SPOOL-GUN, který má cívku s přídavným materiálem v těle. Největší nevýhodou tohoto typu je hmotnost.



Obrázek 10 Speciální svařovací hořáky [17]

## 2.9 Přídavné materiály

Přídavné materiály pro svařování mají různý průřez počínaje kruhovým (drát) přes obdélníkový (pásky) až po plněný drát (trubičky) s různým profilem průřezu, který vidíme na obrázku 11. Přídavný materiál by měl mít shodné chemické a mechanické vlastnosti jako základní materiál. Přídavné materiály se do automatizovaných provozů dodávají ve formě drátů, cívek od 1 kg až po 200 kg.



Obrázek 11 Profily plněného drátu

Přídavný materiál vyplňuje svarovou lázeň do požadovaného tvaru a průřezu. Nahrazuje díky podobnému chemickému složení prvky, které se vypálily nebo snížily svoji koncentraci. Dráty pro svařování jsou dodávány o průměru 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,6; 2,0 mm atd. Nejvíce se používají dráty s průměrem 0,8÷1,6 mm.

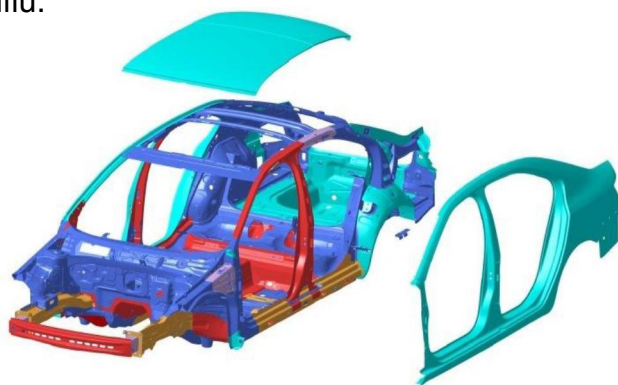
Pro svařování jsou drátové elektrody uvedeny a rozříděny dle normy ČSN EN ISO 14341 [18] a trubičkové elektrody dle ČSN EN ISO 17632 [19].

### 3 Druhy materiálů při výrobě karoserie

Pro dosažení vysoké pevnosti a dostatečné plasticity u samonosných karoserií v automobilovém průmyslu se nejvíce používají ocelové plechy. Některé automobilky se snaží tyto plechy nahrazovat plechy z hliníkových slitin, různých druhů plastů nebo s využitím karbonových vláken. Při snížení hmotnosti karoserie je otázkou cena těchto technologií. Automobilky se snaží redukovat hmotnost automobilu používáním vysokopevnostních plechů. Tímto způsobem se alespoň trochu přiblíží k hmotnosti hliníkových plechů.

#### 3.1 Použité materiály ke stavbě karoserie

Karoserie je vyrobena z několika druhů plechů, jak vidíme na obrázku č. 12. Každý plní svoji vlastní roli a podle jeho vlastností je použit na výrobu jednotlivých dílů.



Obrázek 12 Druhy plechů karoserie - ŠKODA [20]

Tabulka 3 Hodnoty meze kluzu jednotlivých materiálů [20]

Využití materiálu	Druh oceli	Mez kluzu
21,2%	Hlubokotažná ocel (LSS)	< 200MPa
33,6%	Vysokopevnostní ocel (HSS)	200 – 400MPa
16,2%	Ultra vysokopevnostní ocel (UHSS)	400 – 700MPa
2,9%	Speciální vysokopevnostní ocel (AHSS)	700 – 1000MPa
26,1%	Za tepla tvářená vysokopevnostní ocel (PHS)	1000 – 1200MPa



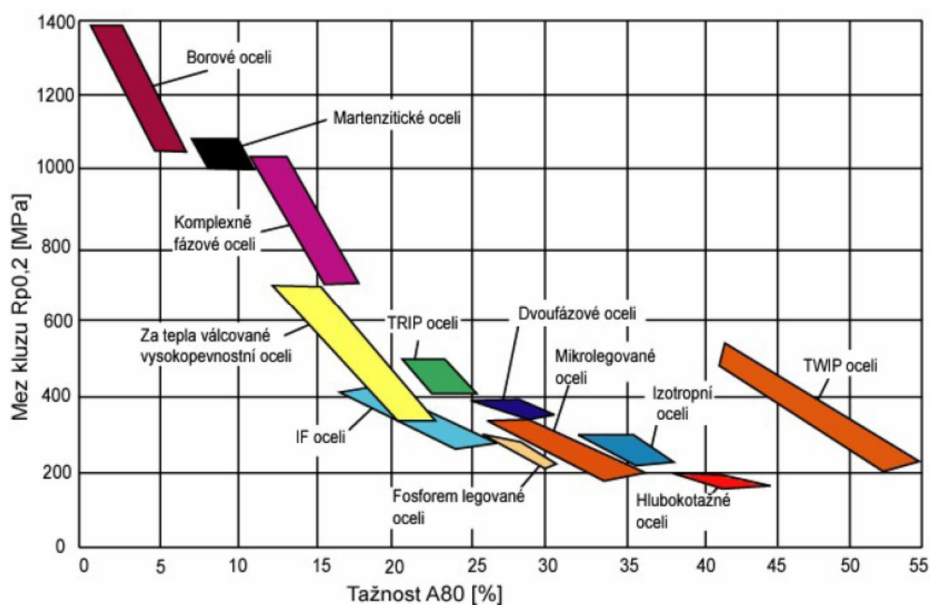
Díky EU a jejím pravidlům na snižování emisí se výrobci snaží snížit hmotnost karoserie a tím spotřebu paliva. Proto je v tabulce 4 vidět, jak firma ŠKODA AUTO a.s. měnila jednotlivé síly plechů u modelu Octavia

Tabulka 4 Porovnání tloušťky materiálu u tří generací ŠKODA Octavia [20]

	OCTAVIA I	OCTAVIA II	OCTAVIA III
	Tloušťka materiálu		
Kapota	0,75	0,7	0,68
Přední blatník	0,75	0,75	0,65
Střecha	0,8	0,75	0,7
Postranice	0,75	0,75	0,7
Povrchový díl dveří	0,8	0,7	0,68
Vnitřní díl dveří	0,8	0,75	0,7

### 3.2 Jednotlivé typy ocelí

Oceli můžeme rozdělit do několika skupin. Mezi, které patří skupina metalurgie, dále konvekční vysokopevnostní HSS (High Strength Steel) a pokročilé AHSS (Advanced High Strength Steel). Na obrázku č. 13 jsou znázorněny jednotlivé typy ocelí v závislosti na tažnosti a mezi kluzu.



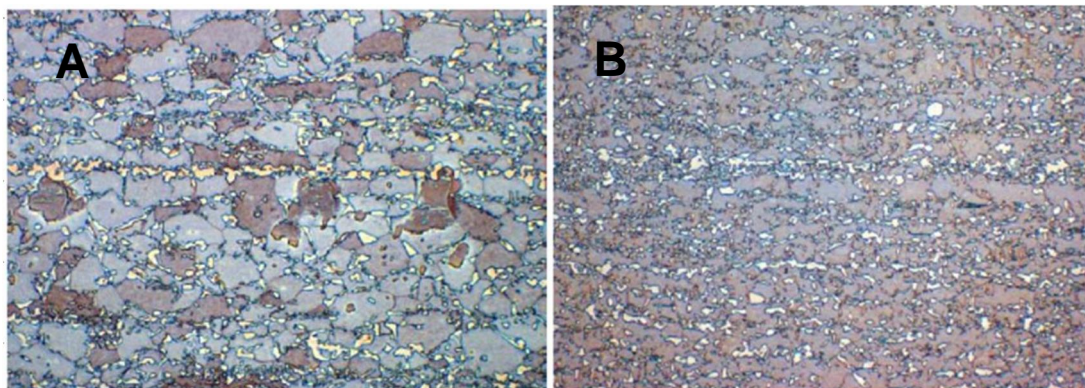
Obrázek 13 Závislost tažnosti na mezi kluzu [21]

### 3.2.1 Nízkopevnostní oceli (LSS – Low Strength Steel )

Do této skupiny patří *Mild steel* a *Interstitial free (IF) ocel*.

**Mild steel** – nízkouhlíková ocel s nižší pevností, feritická struktura, která je stabilizována mikrolegujícími prvky (Ti, Nb), snadno svařitelná, maximální mez kluzu  $R_p = 220$  MPa, tažnost  $A = 30-45$  %, nejvíce používaná ocel, ovšem její podíl ve výrobě karoserie klesá [22].

**Interstitial steel** – ocel bez intersticií s nízkým obsahem uhlíku, feritická struktura je legována Ti a Nb, které jsou silně karbidotvorné a nitridotvorné, čímž snižují obsah C a N v oceli na hodnotu okolo 0,005 %. Díky intersticiím má ocel vysokou tažnost, proto je ideální pro hlubokotažné plechy v automobilovém průmyslu. Na obrázku č. 14 vidíme strukturu před a po legování Nb [22].



a) nelegováno Nb, b) legováno Nb

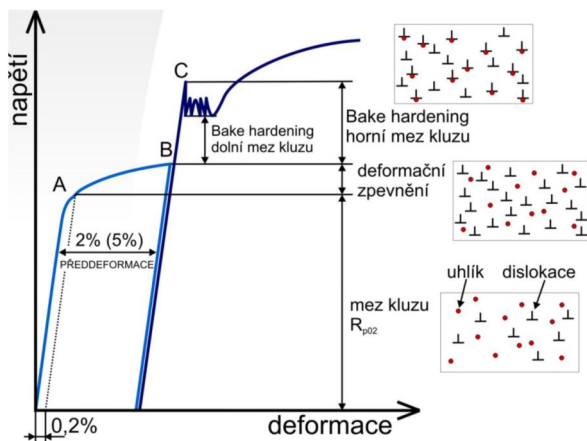
Obrázek 14 Intersticiální ocel [23]

### 3.2.2 Standartní oceli (HSS – High Strength Steel)

Do této skupiny patří nepoužívanější oceli s vysokou pevností, používané hlavně v automobilovém průmyslu

**Vysokopevnostní oceli bez intersticií (IF-HSS)** – ocel poskytuje vynikající kombinaci tažnosti a mechanické pevnosti díky jemnějšímu zrně, které se vytváří precipitáty karbidů nebo nitridů. Další legující prvky Mn, Si, a P pro zpevnění se přidávají do tuhého roztoku feritu. Tato ocel je vhodná zejména pro tváření složitějších součástí, které vyžadují vysokou pevnost. Používají se na kapoty, podběhy kol atd.

**BH ocel (Bake Hardenable)** – toto není přesné označení, ale spíše se jedná o oceli IF s BH efektem. Tímto efektem se dosáhne větší meze kluzu. Jedná se vlastně o proces, kterého docílíme při teplotě používané k vypalování laku karoserie (cca 20minut při teplotě 180°C). Zde dochází k precipitaci atomů uhlíku a dusíku, a tím se zabrání pohybu dislokací, které vidíme na obrázku č. 29 [23].



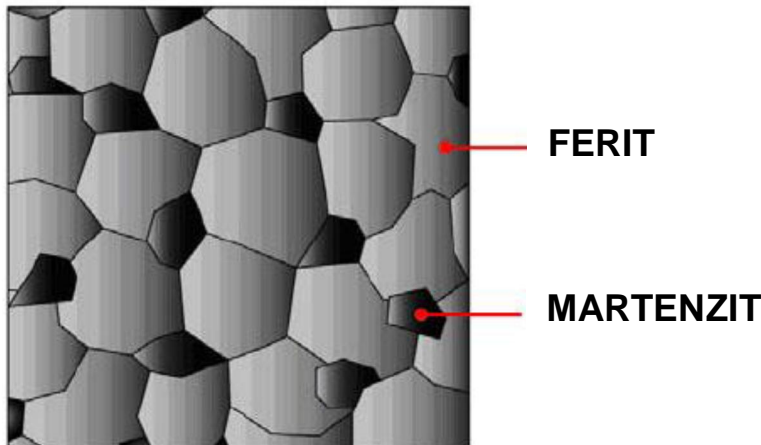
Obrázek 15 BH efekt u oceli s dislokacemi [23]

**HSLA oceli (High Strength Low Alloy)** – vysokopevnostní nízkolegované oceli s dobrými mechanickými vlastnostmi. Pomocí legujících prvků (Ti, Nb, V) dochází k precipitačnímu zpevnění. Vysoké pevnosti oceli je dosaženo zjemněním zrna při řízeném válcování. Výhodou oceli je možnost využití dobrých vlastností, jako je pevnost, houževnatost, tvárnost, odolnost proti korozi a svařitelnost při konstrukci karoserie. Tím mohou mít konstrukční prvky menší hmotnost. Používají se pro závěsné výztuhy, příčnický a podélné nosníky [23].

### 3.2.3 AHSS oceli (Advance High Strength Steel)

V této skupině jsou oceli někdy také označovány jako UHSS a mají ještě větší pevnost než HSS, např.: DP, CP, TRIP, TWIN a MS. Jejich využití je vhodné pro bezpečnostní a nosné prvky karoserie.

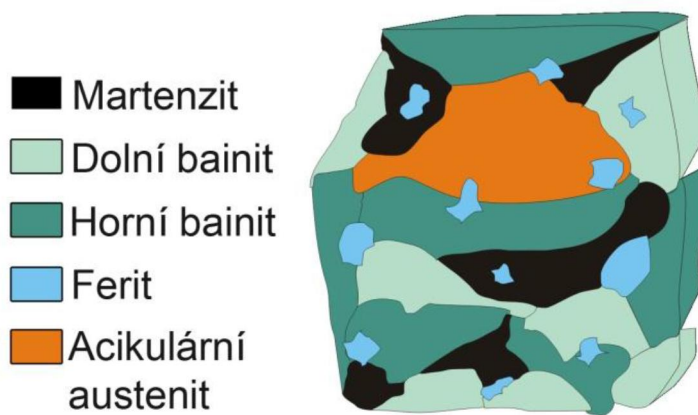
**DP oceli (Dual Phase)** - dvoufázové oceli nabízejí vynikající kombinaci pevnosti a tažnosti jako důsledek mikrostruktury, ve které je tvrdá martenzitická nebo bainitická fáze rozptýlena v měkké feritické matrici. Pevná martenzitická struktura (maximálně 20 %) tvoří v měkké feritické struktuře jakési ostrůvky, které vidíme na obrázku č. 16. Martenzitická fáze ovlivňuje pevnost. Nositelem plastických vlastností je ferit.



Obrázek 16 Mikrostruktura DP oceli [24]

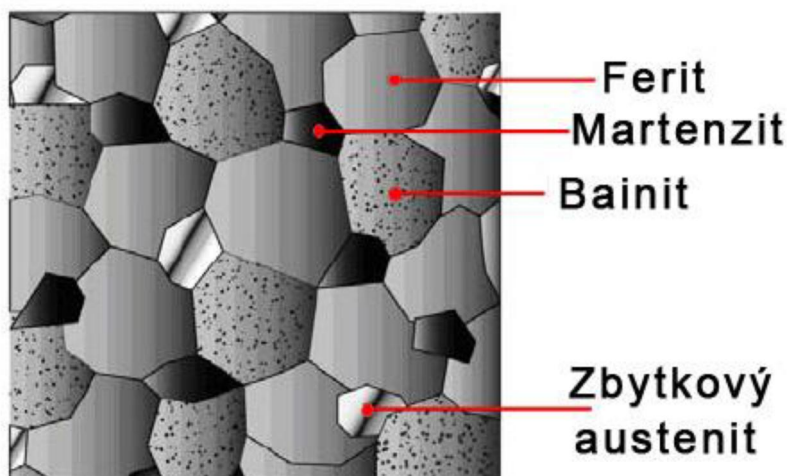
Tyto oceli mají vysoké mechanické vlastnosti a to jim dává dobrou deformační schopnost, a tím i tažnost, což vede ke zvýšení meze kluzu po tváření. Mez kluzu můžeme ještě zvýšit díky BH efektu. Mez pevnosti se pohybuje do 1000 MPa. Díky dobré absorpční schopnosti a odolnosti proti únavě materiálu se využívají při stavbě karoserie na bezpečnostní prvky, jako jsou přední výztuha, zadní příčník aj. [24].

**CP oceli (Complex Phase)** – struktura CP ocelí je tvořena malým množstvím martenzitu, zbytkového austenitu a perlitu ve feriticko-bainitické matrici, viz obrázek 17. Pomalá rekrystalizace vede ke zjemnění zrna, čehož můžeme dosáhnout i mikrolegováním pomocí Ti nebo Co. Jako předešlé oceli i oceli CP jsou tvářeny za studena. Tyto oceli mají jako DP oceli vysoké absorpční schopnosti a vysokou únavovou pevnost, a proto jsou při konstrukci karoserie vhodné pro bezpečnostní prvky, které vyžadují dobrou odolnost proti nárazu, jako výztuže bočních dveří, závěsné rameno aj. [24].



Obrázek 17 Mikrostruktura CP oceli [24]

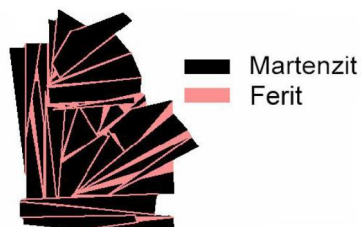
**TRIP oceli (TRansformation Induced Plasticity)** – TRIP oceli nabízejí vynikající kombinaci pevnosti a tvárnosti v důsledku jejich mikrostruktury. Jsou tedy vhodné pro složité tvarované vyztužující díly. Mikrostruktura těchto ocelí je složena z ostrůvků tvrdého zbytkového austenitu a bainitu rozptýlených v měkké feritické matrici, kterou vidíme na obrázku 18. Austenit se transformuje na martenzit popřípadě na bainit při plastické deformaci. Vyšší obsahu křemíku a uhlíku u TRIP ocelí může vést ke zvýšení zbytkového austenitu ve finální mikrostruktuře. TRIP ocel má nižší míru počátečního zpevnování než ocel DP [24].



Obrázek 18 Mikrostruktura TRIP oceli [24]

**TWIP oceli ( TWinning Induced Plasticity)** - Oceli s vysokým obsahem Mn (10-30 %), Al a Si. Mangan způsobuje, že má ocel při pokojové teplotě austenitickou strukturu. Deformace probíhá pomocí dvojčatění při běžných teplotně-rychlostních podmínkách. Mají vysokou pevnost (až 1200 MPa) při extrémních tažnostech (více jak 50 %). Je to vývojový materiál vhodný pro pevnostní výlisky složitých tvarů a deformačních členů karoserie [25].

**MS oceli (Martensitic Steel)** - jak už z názvu vyplývá, jedná se o ocel s martenzitickou strukturou, kterou můžeme vidět na obrázku č. 19.



Obrázek 19 Mikrostruktura martenzitické struktury [24]

Tyto oceli v rámci skupiny AHSS mají největší mez pevnosti a to až 2500 MPa. Takovýchto pevností lze dosáhnout až po vytvarování jednotlivých dílů, které mají pevnost okolo 600 MPa. MS oceli po zakalení často popouštíme pro zlepšení tažnosti, a tím získáme přiměřenou tvárnost i při vysokých pevnostech. Proto se tento materiál používá převážně ve stavbě karoserie pro pevnostní prvky, jako jsou „B“ sloupky, podélníky,



příčnický aj., které jsou na obrázku č. 20. Přidáním uhlíku a dalších prvků v různých kombinacích (Cr, Mo, B, V, Ni) se MS ocelím zvyšuje kalitelnost a zpevňuje martenzit [25].

Obrázek 20 Použití 22MnB5 oceli při konstrukci karoserie [20]

## 4 Za tepla tvářená ocel 22MnB5

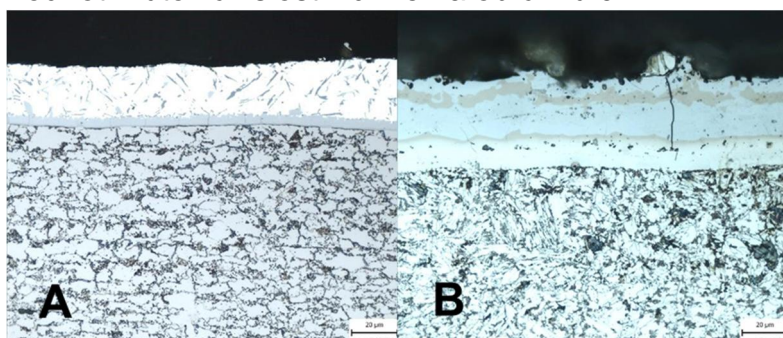
Ocel s označením 22MnB5 (boritá) patří do skupiny ocelí tvářených za tepla (HF - Hot Formed nebo PHS - Press Hardened Steel). Výrobci pro tuto ocel používají různá označení jako MBW 1500 (ThyssenKrupp) nebo Usibor 1500 (ArcelorMittal). Vzhledem k následnému experimentu se blíže seznámíme s jejími vlastnostmi.

Svoji strukturou patří tato ocel mezi martenzitické, které navíc obsahují 0,002 ÷ 0,005 % bóru. Chemické složení je v tabulce č. 5. Svými dobrými mechanickými vlastnostmi po tváření jsme schopni dosáhnout úspory hmotnosti materiálu o 30 % (někdy až 50 %) oproti konvekčním materiálům.

Tabulka 5 Chemické složení oceli 22MnB5 (Usibor 1500) [26]

C	Si	Mn	Cr	Mo	P	S	Ti	Al	B	Cu
[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
0,20	0,15	1,10					0,02	0,2	0,002	
až	až	až	≤0,35	≤0,35	≤0,025	≤0,005	až	až	až	≤0,2
0,25	0,40	1,40					0,05	0,6	0,005	

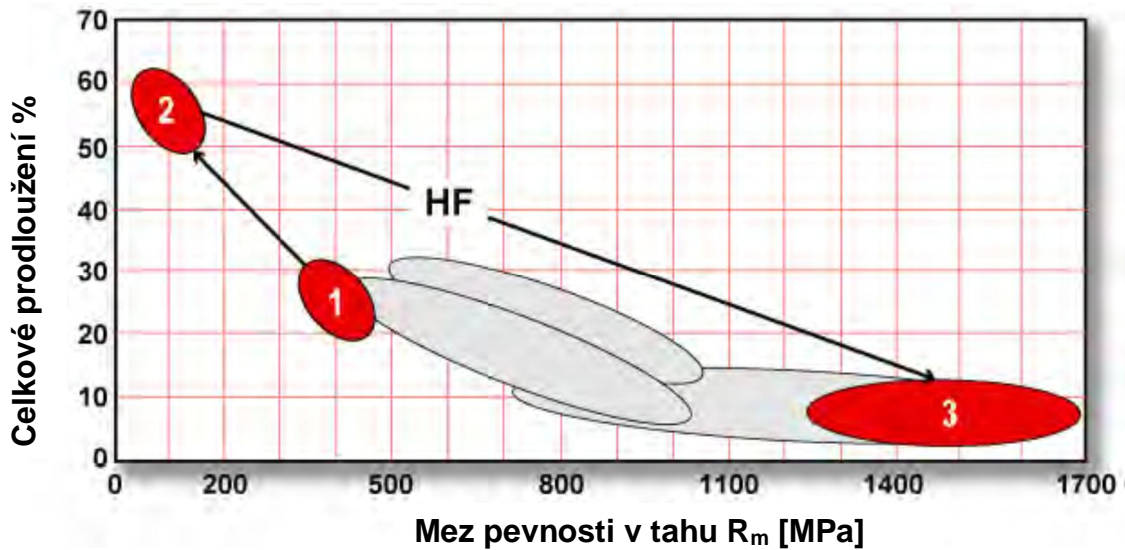
Po dodání výrobcem mají materiály feriticko-perlitickou strukturu obrázek č.21a, která má nižší hodnoty meze kluzu a pevnosti v tahu. Po tváření za tepla dojde ke změně struktury na martenzitickou obrázek č. 21b, která zajistí nárůst hodnot. Tuto závislost vidíme na obrázku č. 22.



A) feriticko-perlitická struktura před vytvrzením v nástroji

B) martenzitická struktura s povrchovou Al-Si vrstvou

Obrázek 21 Velikost a složení Al-Si vrstvy



1 – před tvářením, 2 – ohřev na teplotu  $A_{c3}$ , 3 – tepelně zpracováno

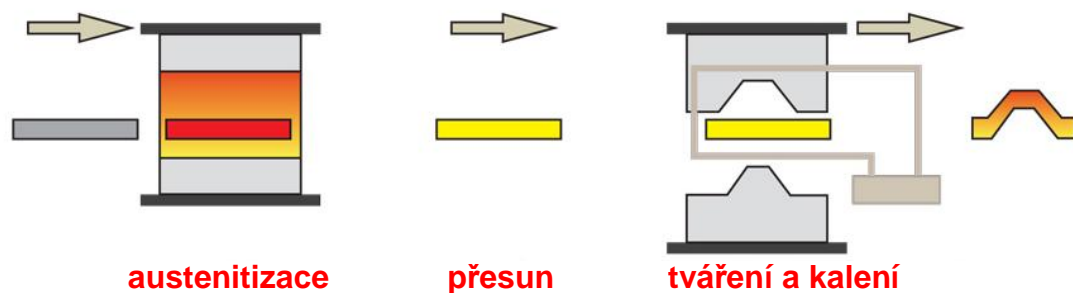
Obrázek 22 Vliv tvářením za tepla na celkové prodloužení a meze pevnosti v tahu [25]

Hlavními výhodami ocelí tvářených za tepla jsou:

- stejné mechanické vlastnosti v celém dílu,
- absence odpružení po lisování,
- dobrá tvárnost za tepla umožňuje vyrobit složitější díly, což má za následek odstranění vyztužujících dílů a podstatné snížení hmotnosti,
- vysoká pevnost a odolnost proti nárazu.

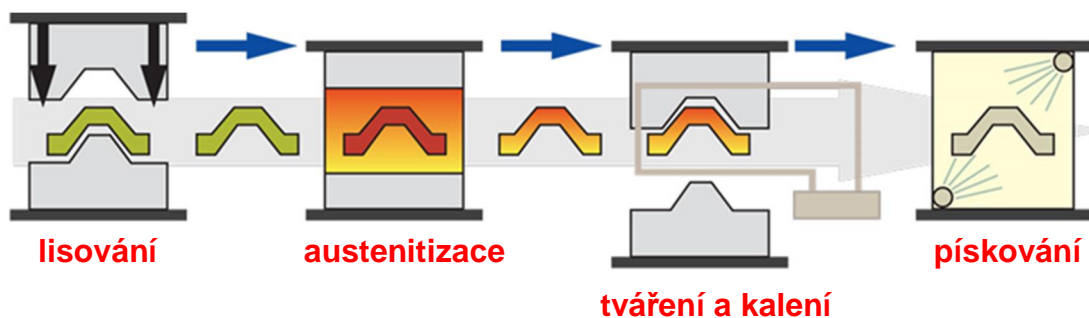
Pro získání martenzitické struktury z feriticko-perlitické při tvářením za tepla je možné využít jednu z metod hot-stampingu, a to buď přímou, nebo nepřímou. Výroba dílu je tak rozdělena do několika fází. Prvním krokem je austenitizace základního materiálu, kdy použijeme indukčního ohřevu. V případě přímé metody se materiál nejdříve ohřeje na teplotu 900-950 °C po dobu 4 až 10 minut, dle tloušťky materiálu. Většinou se ohřev z důvodu teplených ztrát při manipulaci provádí o cca 100 °C vyšší než je teplota austenitizace. Posledním krokem je tvarování do požadovaného tvaru, při kterém dochází k současnému ochlazování, a tím i ke kalení, viz obrázek č. 23.





Obrázek 23 Hot-stamping metoda přímá [27]

Nepřímá metoda se liší od přímé tím, že se materiál nejdříve tvaruje za studena. Poté se pokračuje jako u metody přímé, a to austenitizací, dotvarováním za tepla a kalením. Následnou operací může být pískování, které vidíme na posledním místě obrázku u č. 24.



Obrázek 24 Hot-stamping metoda nepřímá [27]

Nejdůležitějším parametrem pro tváření těchto materiálů je čas, nutný k vytvoření martenzitické struktury. Proto musí být rychlost ochlazování větší, než je kritická. Jelikož tváříme tenké plechy, dochází k martenzitické struktuře v celém objemu materiálu. V případě nesprávné rychlosti ochlazování může dojít k různorodosti struktury (bainitická či jiná).

## 5 Zkoušení svarových spojů

Kontrolu svarů můžeme rozdělit do několika skupin. Před zahájením svařování, se zaměříme na správnou volbu vhodné technologie. Poté následuje samotné svařování. Zde se zaměřujeme na dodržování zvolené technologie a postupů. Poslední je kontrola svaru po skončení svařování.

Po ukončení svařování se mohou provádět destruktivní nebo nedestruktivní zkoušky.

### 5.1 Nedestruktivní zkoušky svarů

Základní nedestruktivní zkoušky pro kontrolu svarů dělíme dle toho, zda kontrolujeme vady na povrchu nebo vady vzniklé uvnitř svaru.

Zkoušky pro kontrolu vad svaru na povrchu:

- vizuální (ČSN EN ISO 17637),
- magnetické práškové (ČSN EN ISO 17638),
- penetrační - kapilární (ČSN EN ISO 3452-1).

Zkoušky pro vady vzniklé uvnitř svaru:

- prozáření (ČSN EN 12517-1),
- ultrazvuk (ČSN EN ISO 16810).

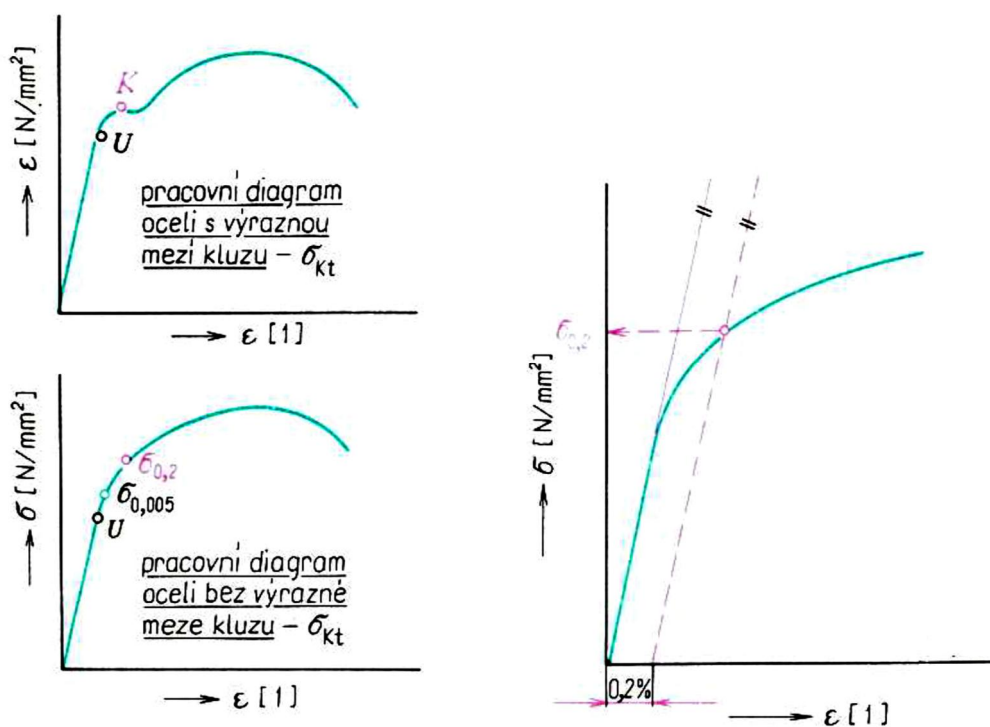
### 5.2 Destruktivní zkoušky svarů

Destruktivní zkoušku provádíme vždy, když dojde k trvalé deformaci (zničení) daného svaru (rozřezáním, rozlomením, přetržením, leptáním atd.). Druhy destruktivních zkoušek jsou:

- zkouška tahem (ČSN EN ISO 6892-1),
- zkouška rázem v ohybu (ČSN EN ISO 9016),
- zkouška lámavosti (ČSN EN ISO 5173),
- zkouška tvrdosti (ČSN EN ISO 9015-1),
- makroskopická a mikroskopická zkouška kovových materiálů (ČSN EN ISO 17693),
- zkouška rozlomením (ČSN EN ISO 9017).

### 5.2.1 Zkouška tahem

Zkouška tahem patří mezi nezákladnější mechanické zkoušky, při které můžeme zjistit více vlastností materiálu, jako jsou hodnoty mez pevnosti  $R_m$  [MPa], mez kluzu  $R_e$  [MPa] nebo smluvní mez kluzu  $R_{p0,2}$  [MPa] u materiálů, které nemají výraznou mez kluzu, ale také tažnost  $A$  [%], kontrakce  $Z$  [%] a ukazatel zásoby plastičnosti. Tato zkouška se provádí dle normy ČSN EN 10002-1. Zkušební tělísko je zatěžováno statickou silou, při které vzniká jednoosé zatížení. Rychlost zatěžování závisí na druhu materiálu. Po přetržení zkušebního tělíska se z naměřených hodnot před zkouškou a po zkoušce určí vlastnosti daného materiálu. Trhací stroje pro zkoušku jsou vybaveny elektronickým systémem pro snímání a zaznamenání použité síly a prodloužení zkušebního tělíska. Z průběhu zkoušky dostáváme tahový diagram, viz obrázek č. 25.



Obrázek 25 Průběh tahové zkoušky - diagram [28]

Počáteční úsek diagramu má tvar přímky a odpovídá elastické deformaci. Po uvolnění zatěžující síly se materiál vrátí do původního stavu. Tato přímka je popsána Hookeovým zákonem

$$R = E \cdot \varepsilon \quad [MPa] \quad (1)$$

kde **E** je modul pružnosti v tahu materiálu zkušební tělesa a  $\varepsilon$  poměrné prodloužení

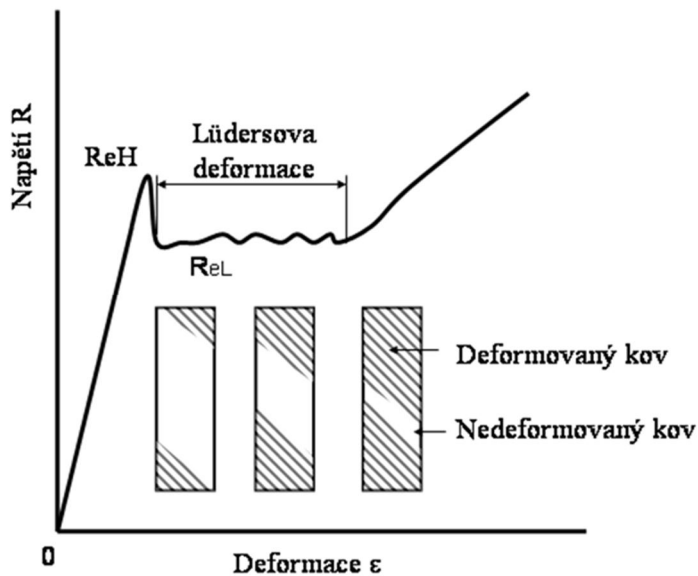
$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \quad [-] , \quad \varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} * 100 \quad [\%] \quad (2)$$

$L_0$  je původní délka zkušební tělesa (výraz  $L - L_0$  vyjadřuje přírůstek délky  $L_0$ , a proto se často označuje  $\Delta L$ ).

V další části diagramu pokračujeme křivkou, vyjadřující přechod do plastické deformace. Přírůstek napětí je závislý na deformaci (deformační zpevnění). Až do maximální pevnosti  $R_m$  se zkušební tyč deformuje rovnoměrně. Po překročení meze dochází k poklesu napětí a vzniku krčku na zkušebním tělísku. Mez pevnosti v tahu ( $R_m$ ) vypočítáme pomocí poměru maximální dosažené síly ( $F_{max}$ ) při zkoušce a původního průřezu ( $S_0$ ) zkušební tělesa, viz vztah (3)

$$R_m = \frac{F_{max}}{S_0} \quad [MPa] \quad (3)$$

Podle obrázku č. 25 považujeme odklon od přímky za mez kluku. Jelikož je tato hodnota závislá na citlivosti snímače prodloužení, zavádí se smluvní mez kluzu  $R_{p0,2}$ , což je napětí vyvolané plastickou deformací o velikosti  $\varepsilon_p = 0,002$  (0,2%). Výrazná mez kluzu ( $R_e$ ) je pojmem, kde napětí odpovídá nespojitosti v diagramu. Na konci přímkové části dochází k výraznému poklesu napětí. Tento pokles je spojen s rozšířením plastické deformace v úzkém pásu přes celý nosný průřez zkušební tyče. V diagramu označujeme symbolem  $R_{eH}$  (horní mez kluzu). Z hodnoty  $R_{eH}$  dochází k poklesu na hodnotu  $R_{eL}$  (dolní mez kluzu). Při napětí dolní meze kluzu se skluzové pásy postupně rozšiřují přes celou měrnou délku zkušební tyče.



Obrázek 26 Lüdersova deformace [28]

Doba deformace, po kterou zůstává napětí konstantní, se označuje pojmem Lüdersova deformace. Tu vidíme na obrázku č. 26.

Z tahového diagramu můžeme ještě ze získaných hodnot před a po ukončení zkoušky určit deformační charakteristiku materiálu, kterými jsou tažnost (A) a kontrakce (Z)

$$\text{Tažnost} \quad A = \frac{L-L_0}{L_0} \cdot 100 \quad [\text{MPa}] \quad (4)$$

$$\text{Kontrakce} \quad Z = \frac{S_0-S}{S_0} \cdot 100 \quad [\text{MPa}] \quad (5)$$

kde L je délka zkušebního tělíska po zkoušce.  $L_0$  je délka zkušebního tělíska před zkouškou, S je průřez zkušebního tělesa po zkoušce a  $S_0$  je průřez tělíska před zkouškou.

Tyto deformační schopnosti nám vyjadřují rozsah plastické deformace, jež materiál snese bez porušení. Tato schopnost je důležitá pro technologické operace (lisování, tváření, válcování aj.). Vysoké hodnoty zaručují jistou schopnost materiálu se lokálně deformovat bez porušení [28].

### 5.2.2 Zkouška tvrdosti a mikrotvrdosti

Tvrlost materiálu je další z mechanických vlastností. Jedná se o odolnost (odpor) materiálu, který klade proti vniknutí cizího tělesa do povrchu. Hodnoty tvrdosti se udávají bez jednotek, abychom si je nepletli s pevností. Proto tvrdost značíme **H** a dle typů přidáme další označení. Zkoušky tvrdosti rozdělujeme na vrypové (Martens HMA), vnikací (Brinell HB, Rockwel HR a Vickers HV) a odrazové (Shore HSh). Díky svojí jednoduchosti a přesnosti patří mezi nepoužívanější. Rozdíly mezi jednotlivými zkouškami jsou v použitém zkušebním tělísku, které vniká do materiálu (kužel, kulička, jehlan).

**Mikrotvrlost** určujeme u tenkých materiálů s plochou vtisku menší než  $1 \text{ mm}^2$ . Definice mikrotvrdosti je stejná jako u klasické, s tím rozdílem, že se používají zatěžující síly od několika mN, až po jednotky N. Na zkoušení se používá výhradně vnikací zkouška s diamantovým jehlanem. V úvahu přichází zkouška dle Vickerse. K proměření vtisku se používají přesná optika.

Mikrotvrlost dle Vickerse je dána normou ČSN EN ISO 6507-1 a zkoušku provádíme na metalografických mikroskopech, viz obrázek č. 42. Zkušební tělísko se po výbrusu a leštění položí na pevnou podložku zajištěnou proti pohybu. Zatížení se pohybuje v rozmezí 0,098 N do 1,97 N, přičemž doba vlačování se volí v rozmezí 2-8 sekund současně s rychlostí, která

nepřekročí rychlost vtisku 0,2 mm/s. Doba plného zatížení je předepsána normou na 10-15 s [29].



Obrázek 27 Metalografický mikroskop AFFRI DM2 SEMI [30]

### 5.2.3 Metalografické zkoušky

Struktury materiálu se kontrolují pomocí řezu zkušebního tělesa provedeného na metalografické pile. Plocha řezu musí být řádně obroušena a vyleštěna pomocí brusných papírů a leštících kotoučů. Nakonec se zkušební materiál naleptá vhodným leptadlem (nital, kyselina solná apod.). Takto nerovnoměrně naleptaná struktura se pozoruje pomocí mikroskopu při šikmém osvětlení.

**Makroskopické zkoušky.** Makrostrukturu můžeme pozorovat pouhým okem i s malým zvětšením. Sleduje se výskyt vad (zejména studených spojů, vměstků pórů aj.), uložení jednotlivých vrstev svarového spoje a pásmo teplem ovlivněné oblasti. Při přípravě vzorků dbáme na to, aby vzorek nebyl tepelně ovlivněn nebo plasticky deformován, byl dostatečně rovný, zbavený mastnoty a dostatečně vysušený.

**Mikroskopické zkoušky.** Pro sledování a rozložení všech součástí struktury materiálu je třeba použít světelný mikroskop se 100 až 2 000 násobným zvětšením, kdy je možno pozorovat jednotlivá zrna. Dokumentace struktur se provádí fotograficky.

## 6 Experimentální část

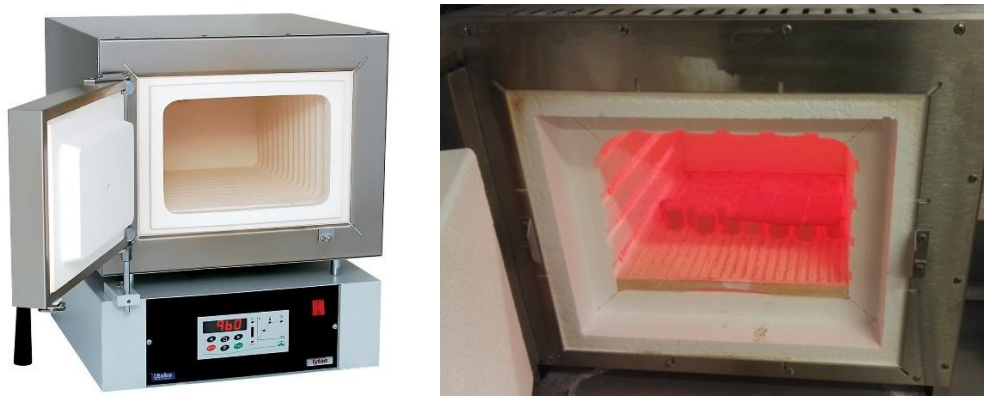
Základem experimentální práce bylo svařování zkušebních vzorků s různou tloušťkou Al-Si vrstvy a jejich následné vyhodnocení. Práce bude zaměřena na zkoušku tahem, zkoušku mikrotvrdosti materiálu a metalografickou zkoušku.

### 6.1 Pořízení zkušebních vzorků s různou tloušťkou Al-Si vrstvy

Pro experiment byl použit materiál 22MnB5, který se používá ve firmě ŠKODA AUTO a.s. na výrobu pevnostních dílů. Byly nastříhány vzorky o rozměrech 80x40x1,3 mm, na které byly vyraženy číslice. První číslo znamená sadu požadované Al-Si vrstvy a druhé číslo vzorku (11 až 115, 21 až 215 a 31 až 315).

#### Zhotovení jednotlivých vzorků s proměnnou tloušťkou vrstvy Al-Si

Jednotlivé vzorky se zakalily v laboratorních podmínkách, kdy se simulovala výroba jednotlivých dílů karosérie. Jednalo se o ohřátí materiálu s různým časem výdrže při teplotě 900 °C a následovalo zchlazení mezi dvěma ocelovými deskami pro získání různé vrstvy. Ohřev se prováděl v indukční peci, kterou vidíme na obrázku č. 28.



Obrázek 28 Indukční pec a ohřev vzorků [31]

Dle požadavků byl u první sady vzorků zvolen čas doby v indukční peci na 8 minut při teplotě 900 °C. Druhá sada vzorků byla v indukční peci po dobu 10 minut a třetí sada vzorků byla v indukční peci po dobu 20 minut. Tím se získala různá Al-Si vrstva.



## 6.2 Vyhotovení svarů pro experiment

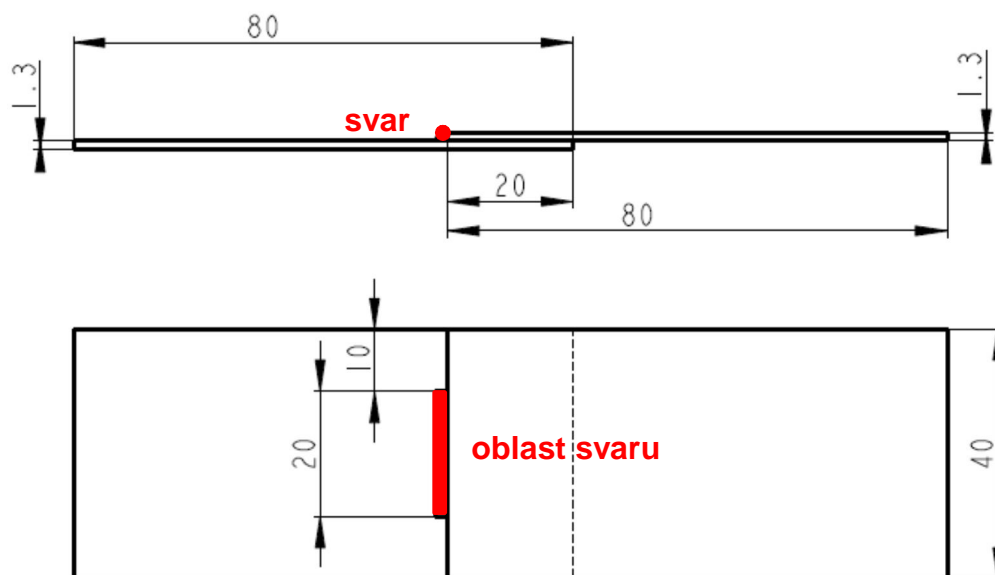
Pro experiment byl zvolen přeplátovaný spoj, viz obrázek č. 29. Hodnoty jsou uvedeny v milimetrech. Simulujeme opravu daného dílu a případné pojištění bodového svaru při opravě příčné stěny a podlahy. Vzorokly pro experiment byly zhotoveny zkušeným pracovníkem s dlouholetou praxí a znalostí, aby byly dodrženy základní podmínky pro experiment, co se sklonu a postupové rychlosti hořáku týče. Následující vstupní podmínky byly stanoveny pro svar takto:

### Základní materiál

Jako základní materiál byla použita ocel 22MnB5 předepsaného chemického složení, které je uváděno v materiálových listech výroby oceli dle normy TL4225 po předešlém vytvoření jednotlivých vrstev.

### Postup a poloha svařování

Pro vedení hořáku byl zvolen postup vpřed a poloha PB – vodorovná šikmo shora je snadno proveditelná a neklade velké nároky na svářeče.



Obrázek 29 Rozměry a oblast svaru

## Přídavný materiál

Přídavným materiálem byl drát s označením OK Autrod 12.56 o průměru 0,8 mm vhodný pro svařování v ochranné atmosféře. Vyrábí ho firma ESAB VAMBERK, s.r.o.

## Ochranný plyn

Jako ochranný plyn byl při svařování použit směsný plyn Corgon 18, který obsahuje 82 % argonu Ar a 12 % oxidu uhličitého CO<sub>2</sub>.

## Použité svařovací zařízení

Použitým svařovacím zařízením byla poloautomatická svářečka Neomig 320 od firmy SELCO opatřená měřicím zařízením pro měření proudu a napětí.

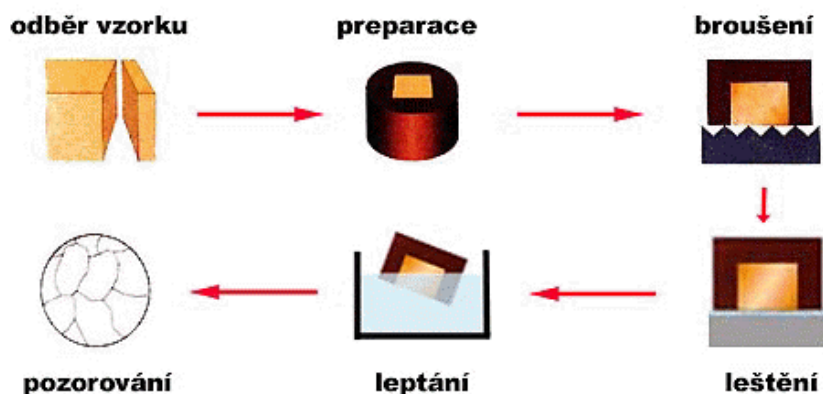
## Parametry svařování

Při svařování jednotlivých vzorků se velikost proudu pohybovala mezi 73÷78 A a napětí 18÷18,5 V s kolísáním ochranného plynu mezi 12 a 14 litry za minutu

# 7 Vyhodnocení experimentu

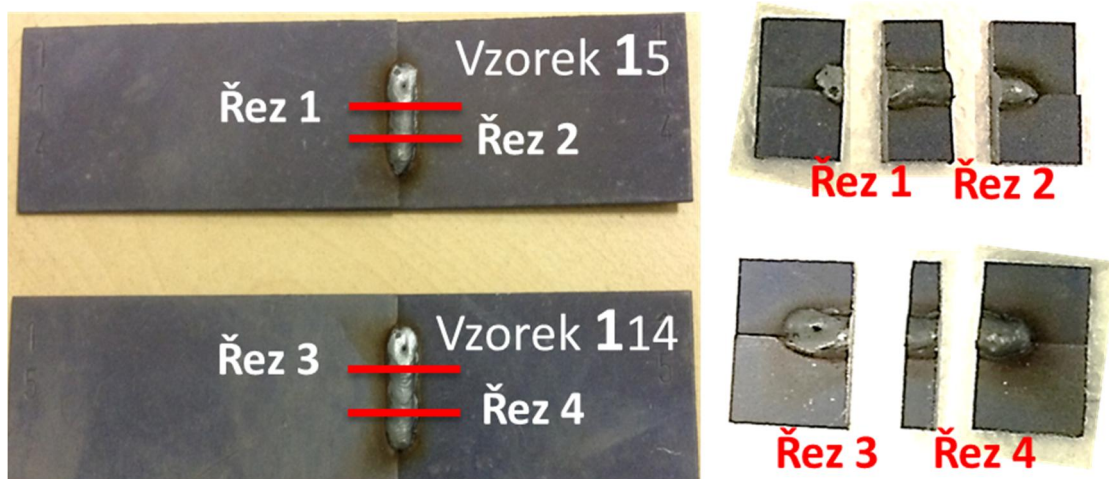
## 7.1 Zhotovení metalografických zkoušek

Pro zhotovení metalografických zkoušek byly náhodně vybrány dva vzorky od každé sady, na kterých jsem sledoval velikost Al-Si vrstvy. Celý postup zkoušky vidíme na obrázku č. 30

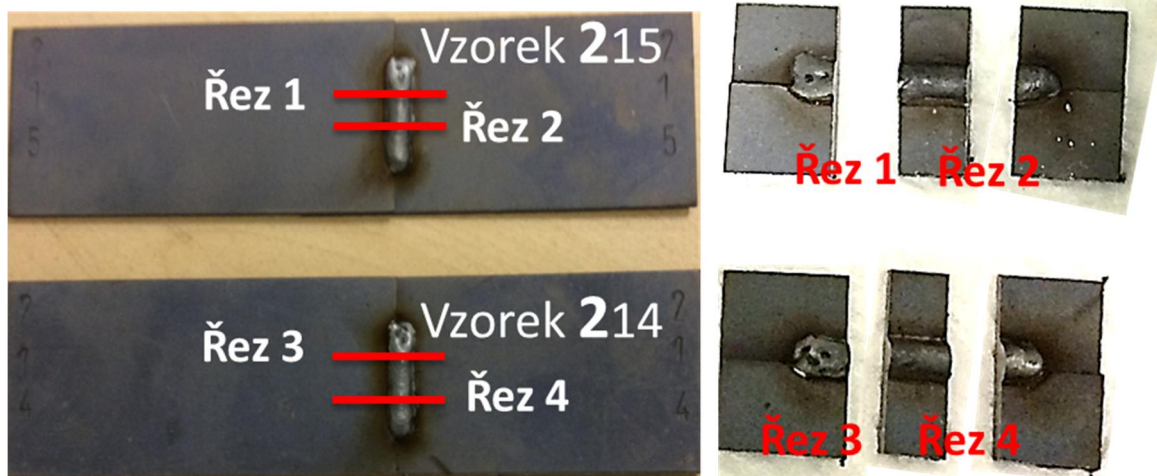


Obrázek 30 Postup metalografické zkoušky [32]

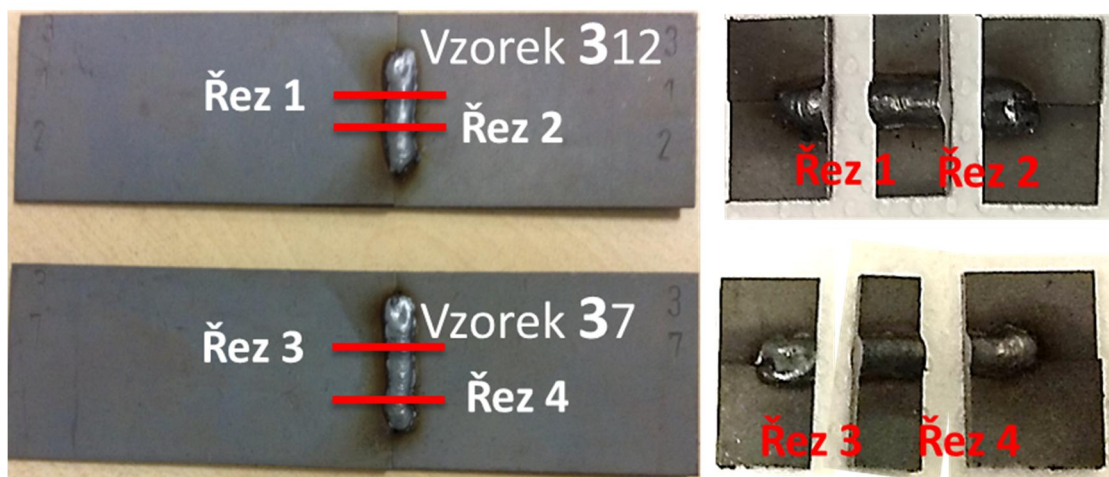
**Odběr vzorků** – z první sady byly vybrány vzorky s označením **15** a **114**, druhou sadu reprezentovaly vzorky **214** a **215**, pro třetí sadu pak **37** a **312**. Místa řezů vidíme na obrázku č. 31, 32 a 33 a jsou označeny červenou čarou. Tyto řezy byly provedeny na metalografické pile, viz obrázek č. 34.



Obrázek 31 Vzorky 1. sady svarů pro metalografickou zkoušku



Obrázek 32 Vzorky 2. sady svarů pro metalografickou zkoušku



Obrázek 33 Vzorky 3. sady svarů pro metalografickou zkoušku



Obrázek 34 Metalografická pila AbrasivMet™250 [33]

**Preparace** – odebrané vzorky označené barevnými držáky (světle hnědá sada č. 1, tmavě hnědá sada č. 2 a zelená sada č. 3) se vložily do válcové formy, viz obrázek č. 35, a následovalo zalití zalévací hmotou KM-U míchanou ve váhovém poměru 2:1 (prášek:roztok). Vzorky se nechaly dvě hodiny v tlakovém hrnci kvůli odstranění vzduchových bublinek ze zalévací hmoty, zalití a tlakový hrnec vidíme na obrázku č. 36. Po vytvrzení následovalo vyjmutí z formy.



Obrázek 35 Barevné označení jednotlivých vzorků



Obrázek 36 Zalévání jednotlivých vzorků a tlakový hrnec pro odstranění bublinek

**Broušení a leštění** – jednotlivé vzorky se brousily na metalografických papírech se zrnitostí 320, 600 a 1 200 po dobu 1,5 minuty se sousledným otáčením a smáčením vodou, která zabraňovala tepelnému ovlivnění plochy vzorků. Mezi použitím jednotlivých drsností se vzorky i kotouče omývaly vodou, abychom se zbavili zbytků brusiva a nevytvářeli si zbytečné škráby na vzorcích. Leštění probíhalo na stejném stroji jako broušení, viz obrázek č. 37. Leštění začínalo na drsnosti 9 mikronů v opačném (nesousledném) směru otáčení než bylo u broušení. K chlazení se zde používala místo vody suspenze, ve které jsou pomocné látky pro získání zrcadlového lesku. Po 5 minutách následovala výměna leštícího kotouče na velikost zrna 3 mikrony se sousledným otáčením po dobu 3,5 minut. Předposlední drsnost zrna byla 1 mikron se sousledným otáčením po dobu 2 minut. I zde se používalo smáčedlo. Poslední leštící operace byla s velikostí zrna 0,05 mikronů s nesousledným otáčením a chlazením vodou.

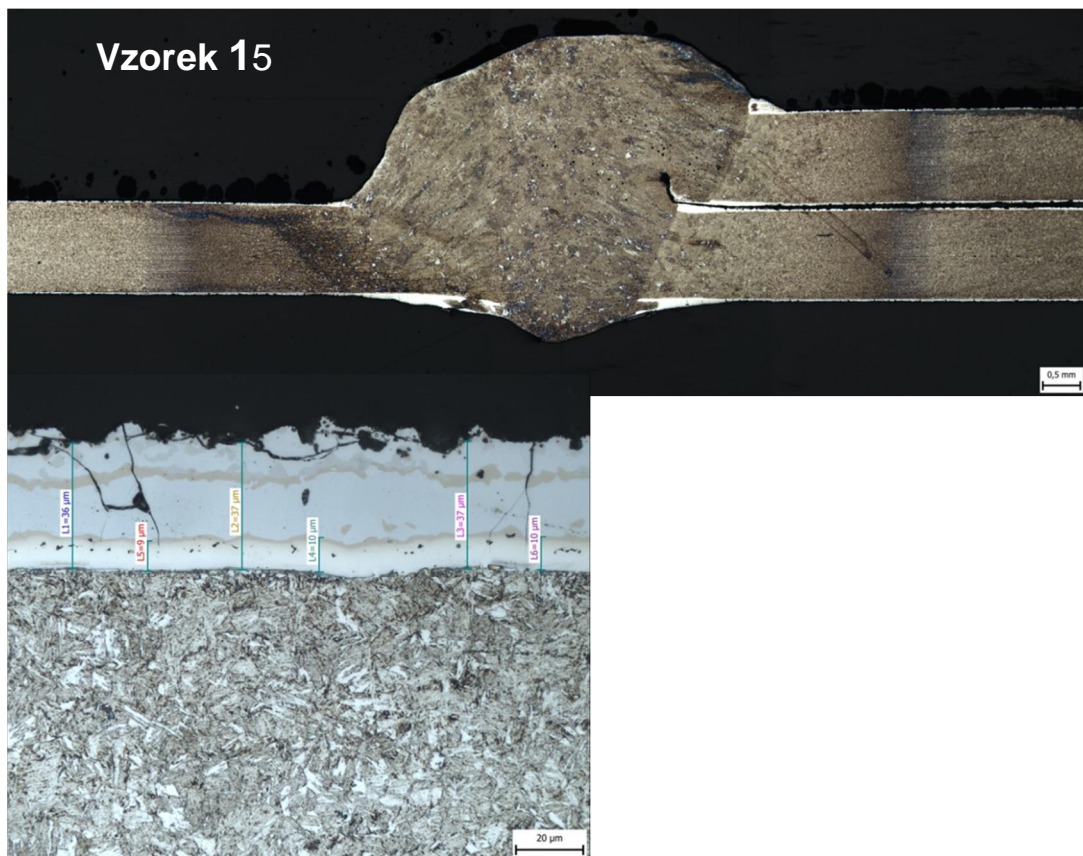


Obrázek 37 Příklad na metalografické broušení a leštění [34]

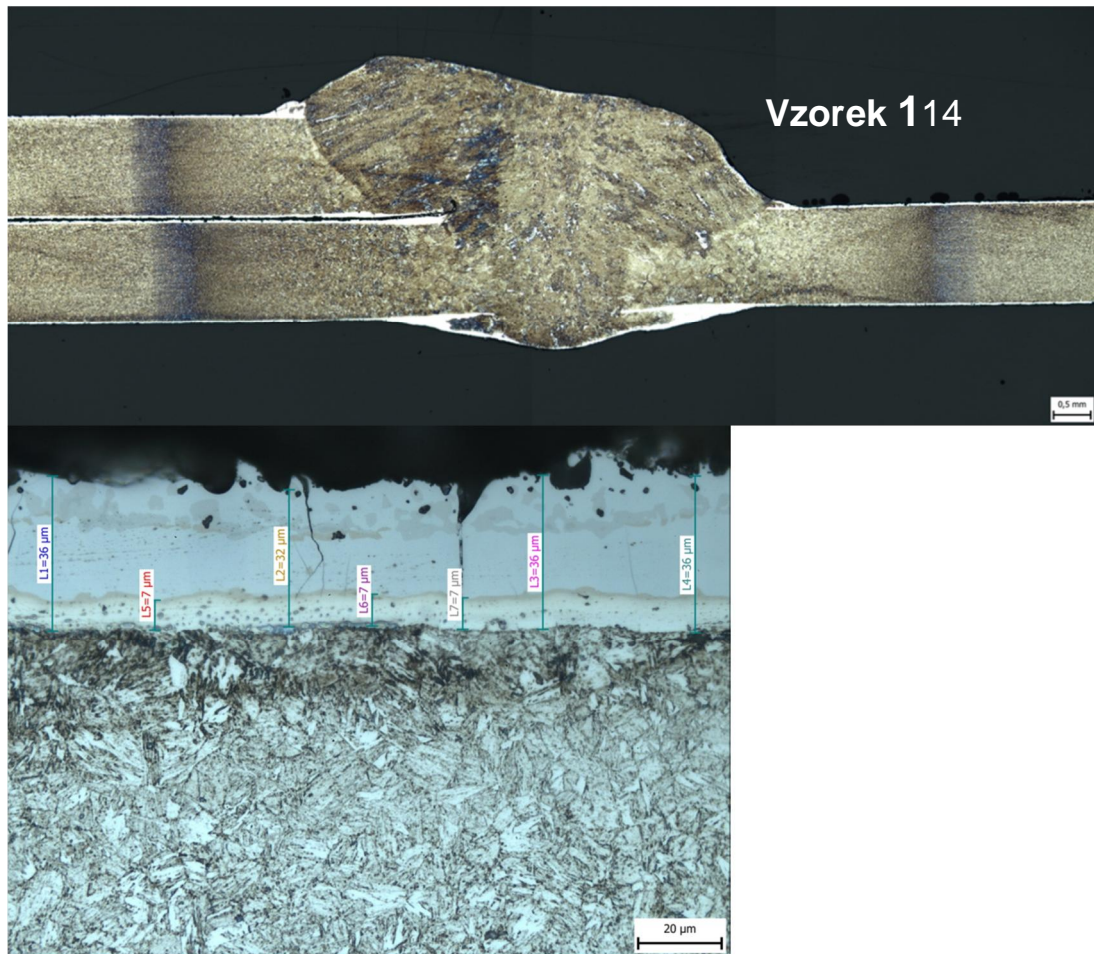
**Leptání vzorků** – slouží v k vytvoření mikrostruktury, kterou poté můžeme sledovat pod mikroskopem. K naleptání povrchu došlo pomocí ponoření vzorků do leptacího roztoku. Pro experiment bylo použito leptadlo 5 % roztoku kyseliny dusičné v etylalkoholu (Nital). Leptání probíhalo pouze 3 vteřiny a po té byly vzorky opláchnuty lihem a osušeny horkým vzduchem. Následně byla provedena makroskopie jednotlivých vzorků pomocí 100násobného zvětšení.

## 7.2 Vyhodnocení velikosti vrstev

Změření jednotlivých vrstev proběhlo pomocí již naleptaných vzorků a pomocí mikroskopu opatřeného fotoaparátem. U vzorků **15** a **114** byly naměřeny hodnoty, které vidíme na obrázcích č. 38 a 39. Souhrn je v tabulce č. 6.



Obrázek 38 Naleptaný střed svaru a velikost vrstvy vzorku **15**



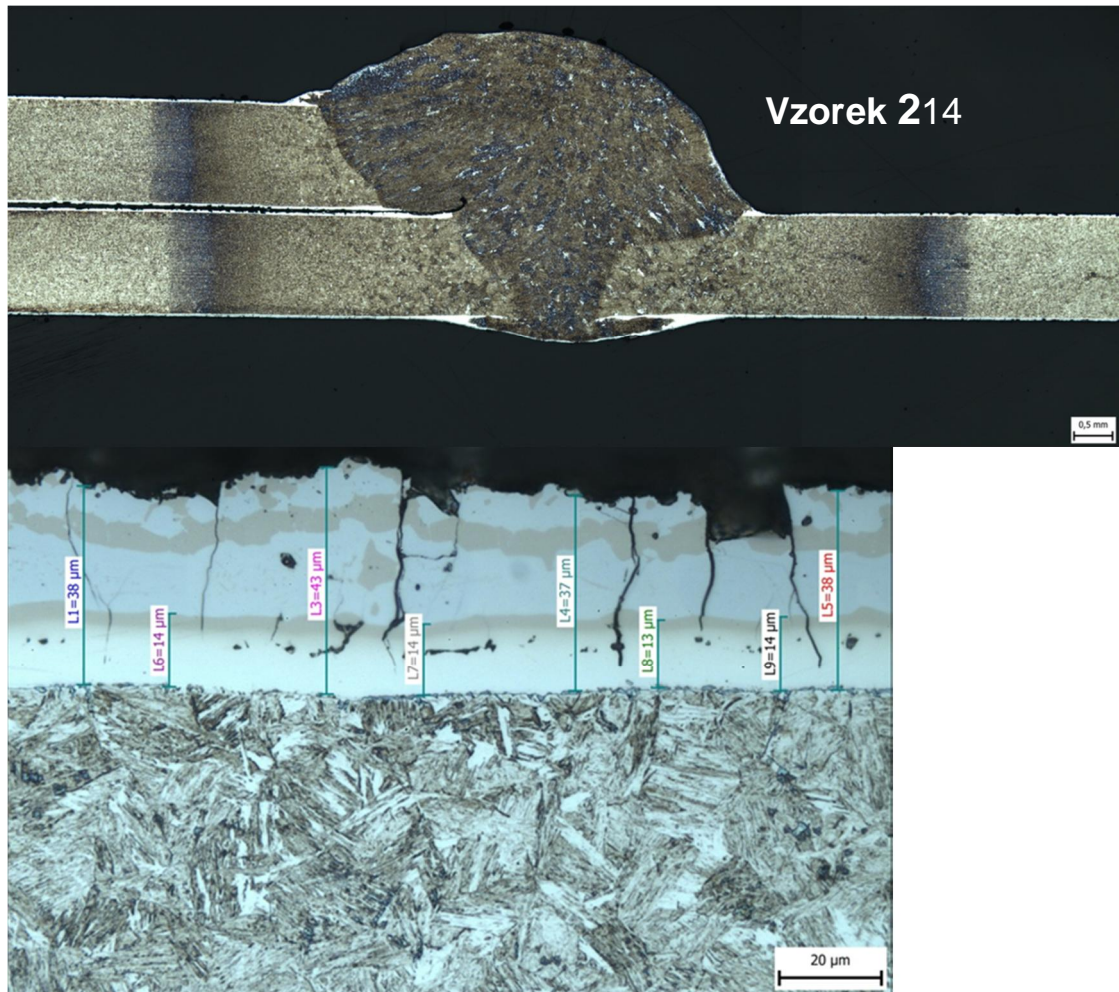
Obrázek 39 Naleptaný střed svaru a velikost vrstvy vzorku **114**

Tabulka 6 Velikost Al-Si vrstev u sady číslo **1**

vzorek		1	2	3	4	5	6	7	8
<b>15</b>	difúzní vrstva	9	9	10	9	10	10		
	celková vrstva	32	34	33	36	37	37		
<b>114</b>	difúzní vrstva	7	7	7	8	9	7		
	celková vrstva	36	32	36	36	34	40	34	31

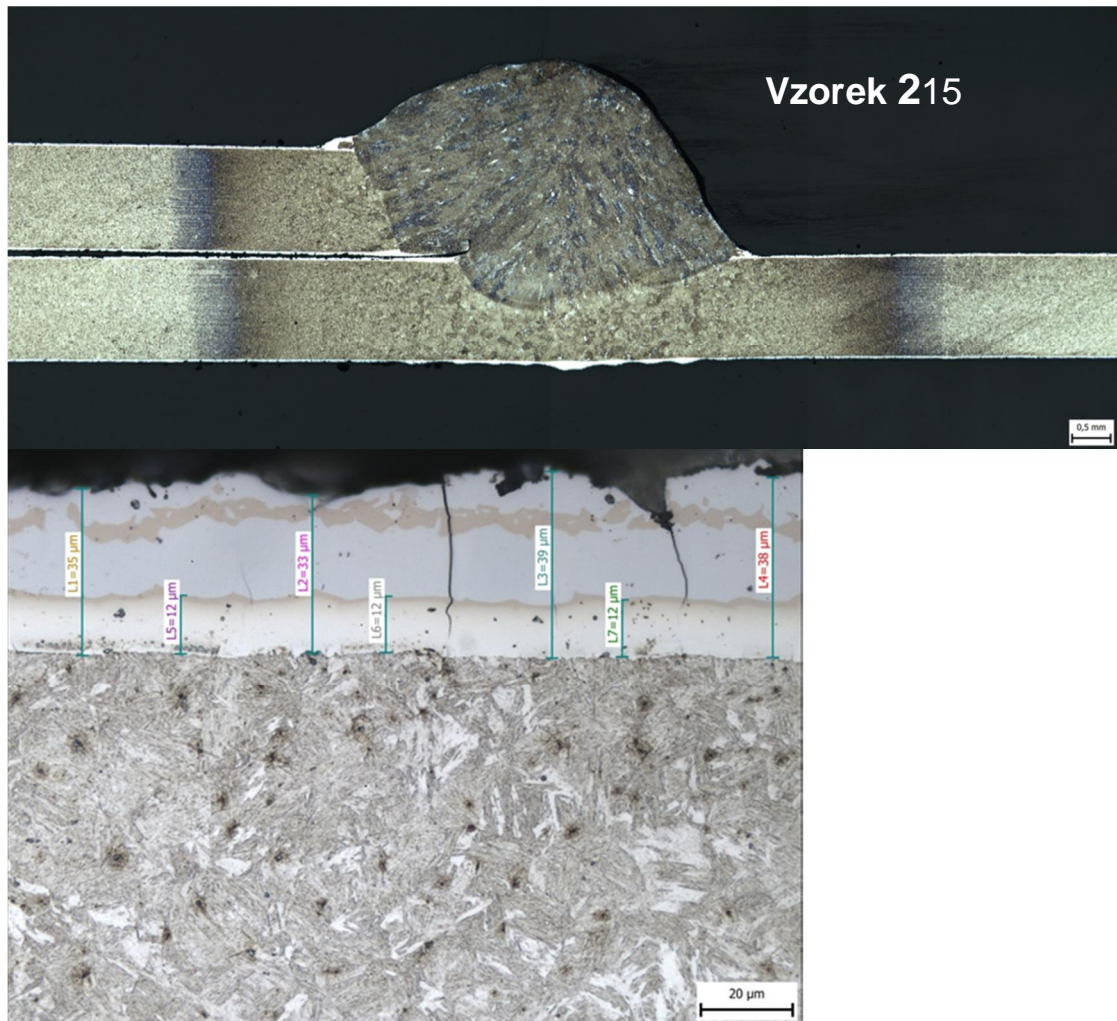
Hodnoty v tabulce jsou uvedeny v mikrometrech

U vzorků **214** a **215** byly naměřeny hodnoty, které vidíme na obrázcích č. 40 a 41. Souhrn najdeme v tabulce č. 7.



Obrázek 40 Naleptaný střed svaru a velikost vrstvy vzorku **214**





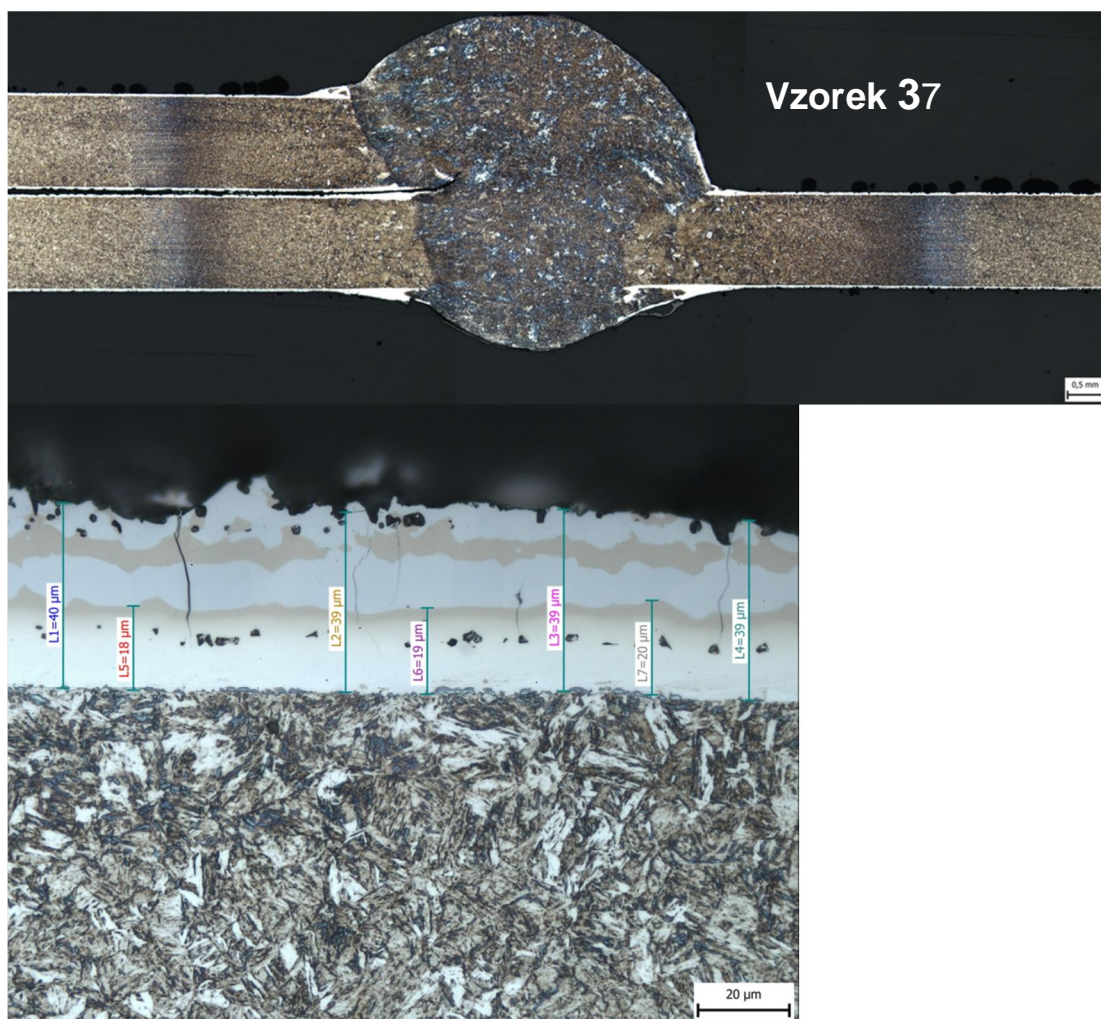
Obrázek 41 Velikost vrstvy vzorku **215**

Tabulka 7 Velikost Al-Si vrstev u sady číslo **2**

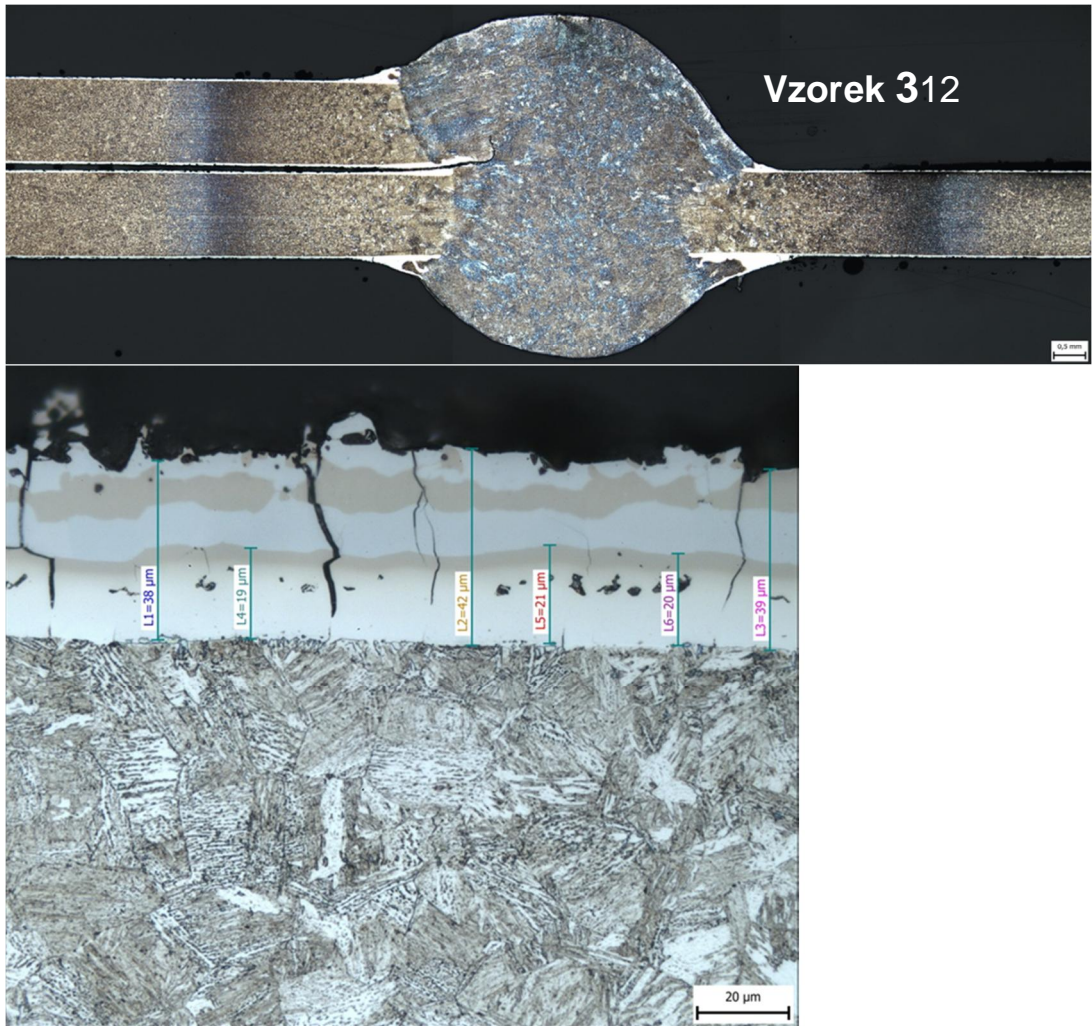
vzorek		1	2	3	4	5	6	7	8
214	difúzní vrstva	14	14	13	9	12	15	14	14
	celková vrstva	38	43	37	38	39	34	45	37
215	difúzní vrstva	12	12	12	13	14	13		
	celková vrstva	36	32	36	34	38	40	42	36

Hodnoty v tabulce jsou uvedeny v mikrometrech

U vzorků **37** a **312** byly naměřeny hodnoty, které vidíme na obrázcích č. 42 a 43. Souhrn je v tabulce č. 8.



Obrázek 42 Velikost vrstvy vzorku **37**



Obrázek 43 Velikost vrstvy vzorku **312**

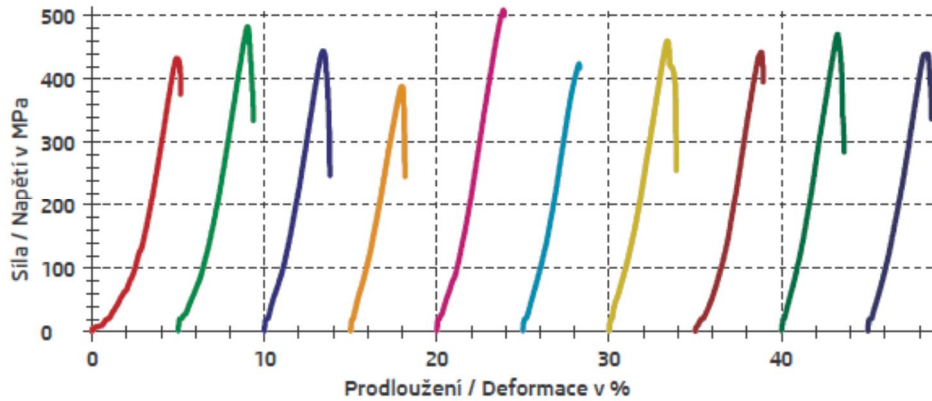
Tabulka 8 Velikost Al-Si vrstev u sady číslo **3**

vzorek		1	2	3	4	5	6	7
<b>37</b>	difúzní vrstva	18	19	20	18	20	18	
	celková vrstva	40	39	39	39	41	42	41
<b>312</b>	difúzní vrstva	18	18	18	19	21	20	
	celková vrstva	43	41	40	38	42	39	

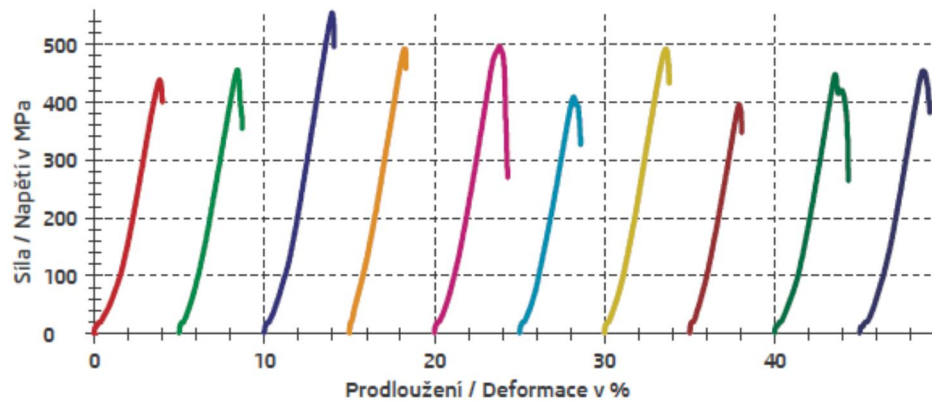
Hodnoty v tabulce jsou uvedeny v mikrometrech

### 7.3 Vyhodnocení mechanických zkoušek

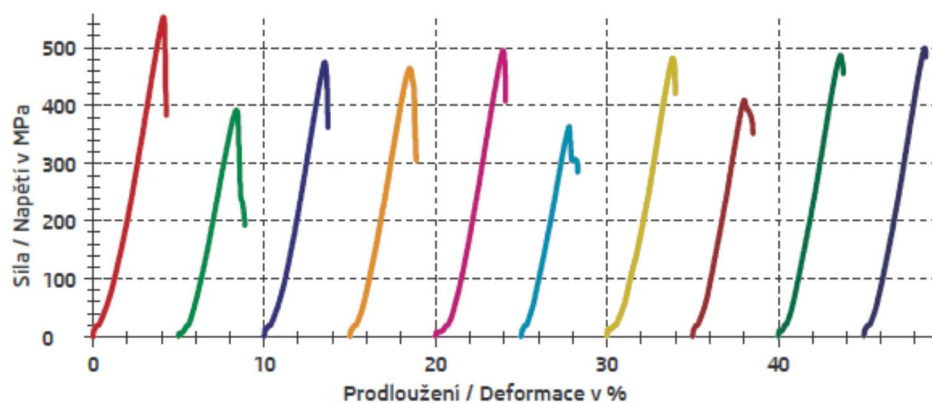
Pro mechanickou (tahovou) zkoušku bylo vybráno 10 kusů z každé sady. Zkouška byla provedena v měrovém středisku plechových dílů pro svařovnu firmy ŠKODA AUTO a.s. Průběhy jednotlivých zkoušek pro dané sady vidíme v grafech č. 1, 2 a 3.



Graf 1 Průběh tahové zkoušky 1. sady svarů



Graf 2 Průběh tahové zkoušky 2. sady svarů



Graf 3 Průběh tahové zkoušky 3. sady svarů

Z naměřených hodnot, které vidíme v tabulce č. 9. je patrná velikost pevnosti v tahu  $R_m$ , která se pohybuje od 388 MPa do 509 MPa s průměrnou hodnotou vzorků u první sady 450 MPa. U druhé sady se hodnoty pohybovaly od 395 MPa do 553 MPa s průměrem 463 MPa. Hodnoty třetí sady vzorků máme v rozmezí od 364 MPa do 522 MPa s průměrnou hodnotou 462 MPa. Z naměřených hodnot můžeme usuzovat, že velikost Al-Si vrstvy nemá velký vliv na mechanické vlastnosti po svařování, jelikož hodnoty průměru se liší pouze o jednotky MPa, proto je můžeme považovat za stejné. Došlo však k celkovému snížení pevnosti základního materiálu, proto nelze tímto způsobem spojování docílit stejné pevnosti jako u celistvého materiálu.

*Tabulka 9 Výsledné hodnoty  $R_m$*

vzorek sada	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\bar{x}$ $R_m$
1	433	483	444	388	509	424	460	443	471	440	450
2	438	455	553	492	496	409	492	395	448	454	463
3	522	392	475	465	496	364	482	410	487	499	462

*Hodnoty v tabulce jsou udávány v MPa.*

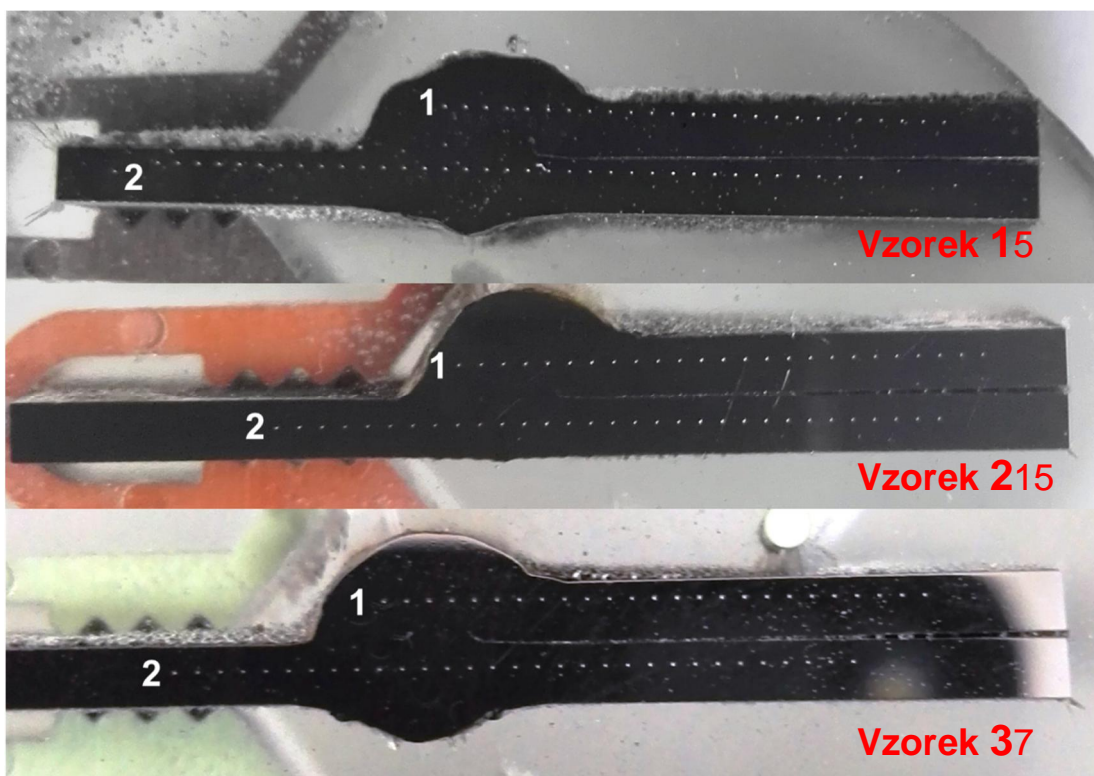
## 7.4 Hodnocení mikrotvrlosti

Vyhodnocení mikrotvrlosti probíhalo na vzorcích zhotovených pro hodnocení metalografie. Po přešetření naleptané vrstvy jednotlivých sad se přistoupilo k měření vzorků **15**, **215** a **37** na mikrotvrdoměru (pomocí přístroje AFFRI DM2 Semi, který vidíme na obrázku č. 44), v měrovém a zkušebním středisku společnosti ŠKODA AUTO.



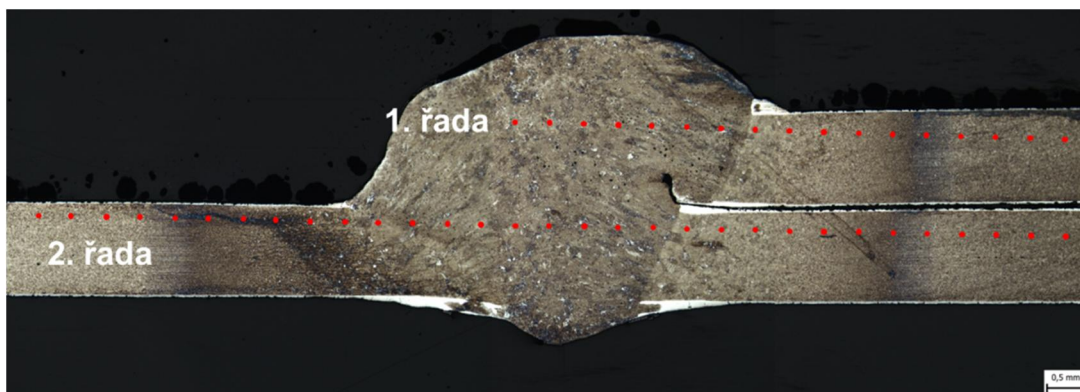
Obrázek 44 Mikrotvrdoměr DM2 Semi [30]

Sledování průběhu jednotlivých zkoušek na vzorku vidíme na obrázku č. 45.

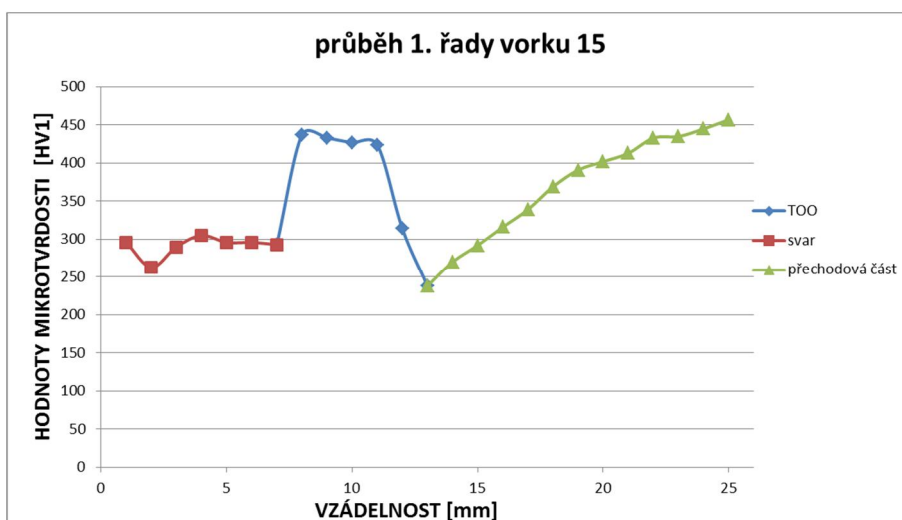


Obrázek 45 Sledování mikrotvrlosti jednotlivých vzorků

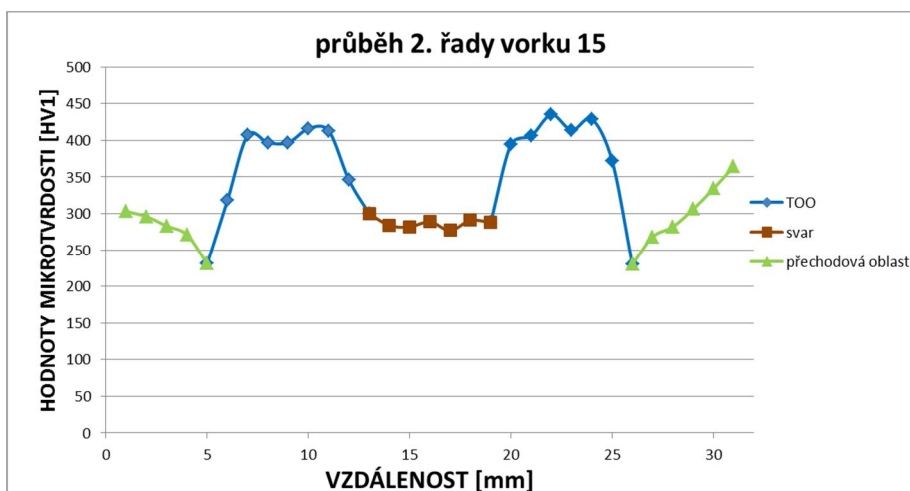
Červené body na naleptaném stavu svaru, které vidíme na obrázku č. 46, nám ukazují, kde se přímo měřila mikrotvrdość svaru **15** a následné vyhodnocení vidíme v grafu č. 4 a 5, kde sledujeme jednotlivé hodnoty.



Obrázek 46 Vzorek **15** po měření mikrotvrdości

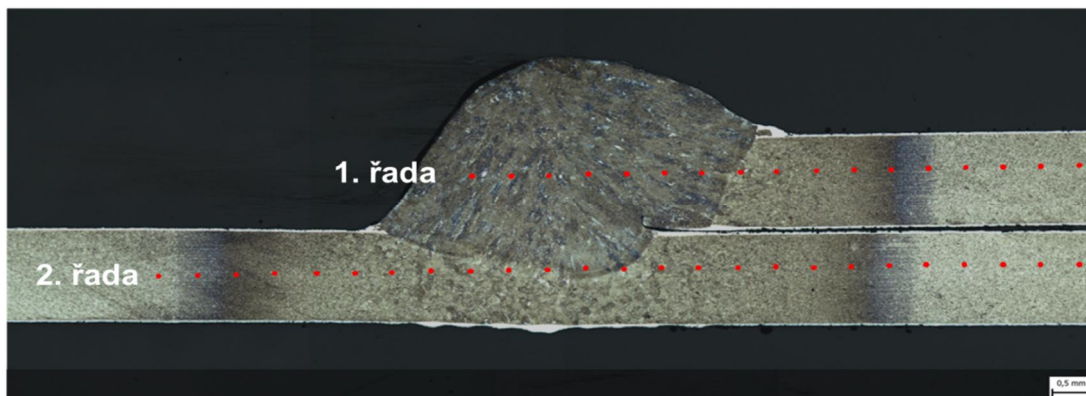


Graf 4 Průběh mikrotvrdości 1. řady vzorku **15**

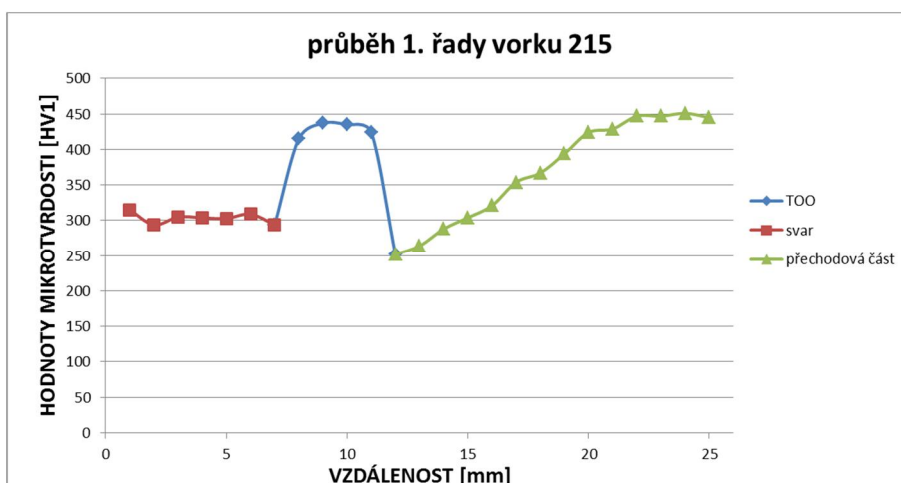


Graf 5 Průběh mikrotvrdości 2. řady vzorku **15**

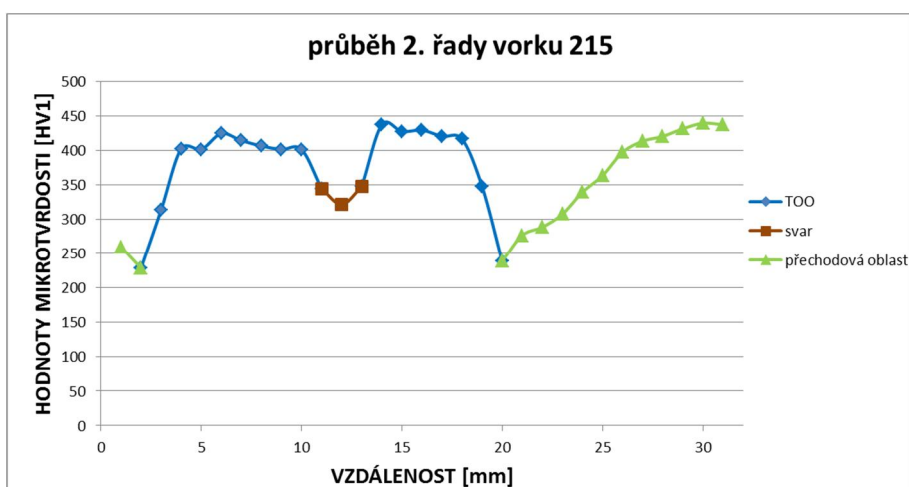
Červené body opět znázorňují místa, kde se na naleptaném svaru měřila mikrotvrdość, svar **215** obrázek č. 47. Následné vyhodnocení vidíme na grafech č. 6 a 7, kde jsou uvedeny jednotlivé hodnoty.



Obrázek 47 Vzorek **215** po měření mikrotvrdości



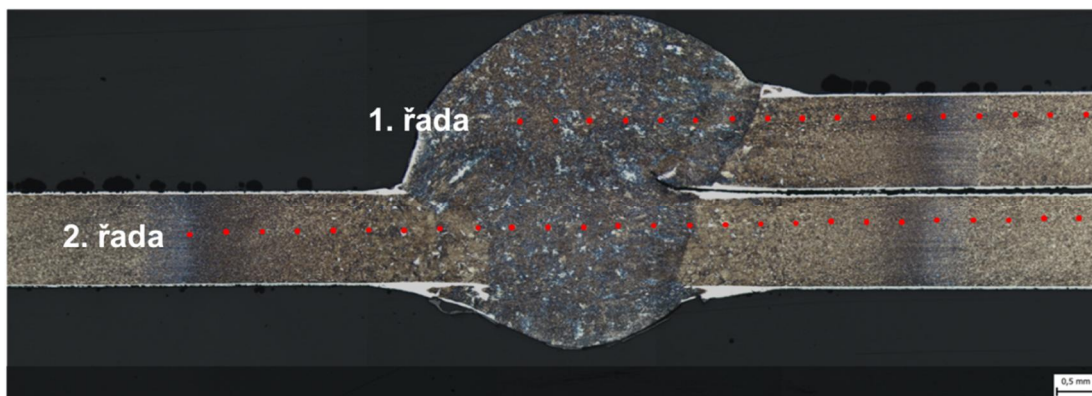
Graf 6 Průběh mikrotvrdości 1. řady vzorku **215**



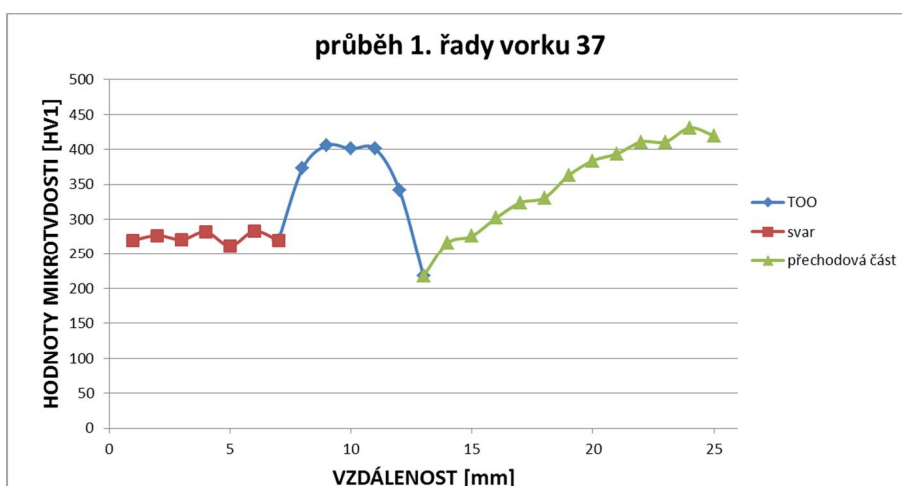
Graf 7 Průběh mikrotvrdości 2. řady vzorku **215**



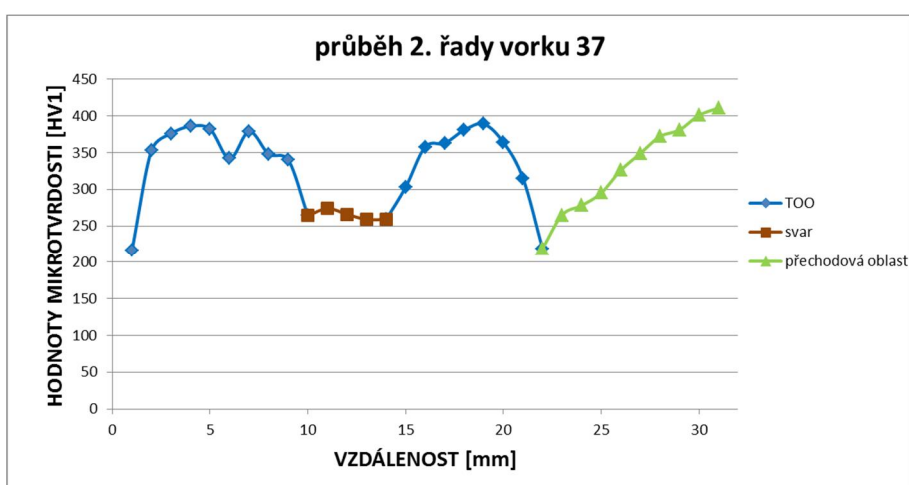
Červené body opětovně ukazují místa, kde se na naleptaném svaru, obrázek č. 48, přímo měřila mikrotvrdost svaru **37**. Následné vyhodnocení vidíme na grafech č. 8 a 9, kde jsou zaznamenány jednotlivé hodnoty.



Obrázek 48 Vzorek **37** po měření mikrotvrdosti



Graf 8 Průběh mikrotvrdosti 1. řady vzorku **37**



Graf 9 Průběh mikrotvrdosti 2. řady vzorku **37**

Výsledné hodnoty vzorků vidíme v tabulce č. 10.

Tabulka 10 Hodnoty tvrdosti vzorků dle Vickerse [HV1]

	Vzorek 15		Vzorek 215		Vzorek 37	
	1. řada	2. řada	1. řada	2. řada	1. řada	2. řada
1	296	303	315	259	270	216
2	263	296	294	228	277	353
3	290	283	305	313	271	376
4	305	271	304	402	282	386
5	296	231	303	401	262	382
6	296	318	309	424	283	342
7	293	407	294	414	270	379
8	437	397	415	406	373	348
9	433	397	437	401	406	340
10	427	416	435	401	401	264
11	424	413	424	344	401	274
12	314	346	252	321	342	266
13	238	300	264	347	218	259
14	270	284	288	437	266	259
15	292	282	304	427	276	303
16	316	289	321	429	302	358
17	339	277	354	420	324	363
18	369	291	367	416	331	381
19	391	288	394	347	363	389
20	402	394	424	238	384	364
21	413	406	429	276	394	315
22	433	435	447	288	411	219
23	435	414	447	307	411	265
24	445	429	451	339	431	278
25	457	372	445	363	420	295
26		230		397		326
27		268		413		349
28		282		420		372
29		306		431		381
30		334		439		401
31		364		437		411

Z naměřených hodnot vyplývá, že tvrdost svaru se pohybuje v hodnotách od 260 ÷ 300 HV1. V TOO (teplem ovlivněná oblast) prudce vzrostla na hodnoty 400 ÷ 440 HV1 a to díky zjemnění martenzitické struktury. V přechodové oblasti mezi TOO a základním materiálem spadly hodnoty na 240 HV1 z důvodu popuštění základního materiálu. Tyto hodnoty dále postupně rostly na tvrdost základního materiálu bez tepelného ovlivnění.

## 8 Závěr

Diplomová práce byla zaměřena na vliv velikosti jednotlivých Al-Si vrstev na mechanické vlastnosti při svařování tavící se elektrodou v ochranném plynu MAG. Tato vrstva slouží jako ochrana plechů zabraňující tvorbě okují při tváření za tepla. Vzorky byly zkontrolovány dle předepsaných zkoušek a příslušných norem, které jsou uvedeny v textu.

V experimentální části bylo z metalografických rozborů ověřeno, jak velká vrstva vznikne po tepelném zpracování při simulované výrobě jednotlivých dílů. Pro určení velikosti dané vrstvy byly náhodně vybrány vždy dva vzorky z jednotlivých sad. Díky rozdílným časovým hodnotám pobytu jednotlivých vzorků v peci je zřejmé, že s rostoucí dobou výdrže na teplotě 900 °C se zvyšovala i velikost Al-Si vrstvy. Právě toto měření také prokázalo lokální rozdíly jednotlivých vrstev vzorků v jednotkách mikrometrů.

Pro zkoušku tahem byly svařeny vždy dva materiály o stejné tloušťce Al-Si vrstvy. Zkouška tahem je považována pro hodnocení vlastností materiálu za jednu z nejdůležitějších mechanických zkoušek, kterou bylo zjištěno, že při změně jednotlivých Al-Si vrstev nedochází k velkým rozdílům pevnosti v tahu jednotlivých vzorků, zatímco pevnost v tahu základního materiálu vůči svařovanému se snížila na třetinu.

Z hodnocení mikrotvrdomosti je jasně vidět, jak svařování ovlivnilo hodnoty tvrdosti. Vlivem rozdílných schopností vedení tepla v oblasti svaru a v základním materiálu jsou hodnoty mnohem menší než v TOO (teplem ovlivněné oblasti). Zde došlo u materiálu ke zjemnění struktury a zvýšení tak naměřených hodnot. V přechodové části mezi TOO a základním materiálem poté došlo k opětovnému snížení a poté pomalému nárůstu hodnot v důsledku popuštění okolního materiálu. Měření také ukázalo, že velikost jednotlivých vrstev nemá vliv na jednotlivé hodnoty tvrdosti.

Svařování je složitý proces, jehož zvládnutí vyžaduje sladění všech faktorů, které tento proces ovlivňují. Proto je zapotřebí správně nastavit základní parametry, které vedou ke vzniku kvalitního spojení základních materiálů, aby byla zabezpečena požadovaná jakost a správná funkce konečného dílu.

Pro opravdu kvalitní spoj montovaných nebo opravovaných dílů vozu, autor práce doporučuje zaměřit se v dalším výzkumu na výrobu daného dílu z jednoho kusu nebo použití jiných přídavných materiálů a metod svařování, abychom docílili stejných mechanických a chemických vlastností, jaké má základní materiál, a nesnižovali tyto vlastnosti svařováním.

Vzhledem k neustále se zvyšujícím požadavkům na bezpečnost vozů a tím i na kvalitu a jakost spojů budou nejen firmy zabývající se svařováním hledat nové postupy, které by vedly ke zvyšování kvality daných spojů při snížení vstupních nákladů na konstrukci.

## Literatura

- [1] **KOUKAL, J., SCHWARZ D., HAJDÍK J.** *Materiály a jejich svařitelnost.* Ostarva : Český svářečský ústav s.r.o. Ostrava, VŠB - TU Ostrava, 2009. ISBN 978-80-248-2025-5.
- [2] **ČSN 05 0000.** *ZVARANIE KOVOV - Základné pojmy.* Praha : Vydavatelství ÚNM, 1987. str. 24. Třídící znak 05 0000.
- [3] **NEUMANN, H.** *Teorie svařování a pájení - část 1. Tavné svařování.* Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2014. str. 167. 978-80-7494-171-9.
- [4] **KUBÍČEK, J.** *Technologie svařování.* [Online] Ústav strojírenské technologie, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, 1994. [Citace: 20. 3. 2017.]  
[http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory\\_soubory/technologie\\_vyroby\\_I\\_svarovani\\_kubicek.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/technologie_vyroby_I_svarovani_kubicek.pdf).
- [5] **ČSN EN 14610.** *Svařování a příbuzné procesy - Definice metod svařování.* Praha : Český normalizační institut, 2005. str. 98. Třídící znak 05 0007.
- [6] **ČSN EN ISO 4063.** *Svařování a příbuzné procesy - přehled metod a jejich číslování.* Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a statní zkušebnictví, 2011. str. 24. Třídící znak 05 0011.
- [7] **BARTÁK, J., KOVAŘÍK, R., PILOUS, V., a kolektiv.** *Učební texty pro evropské svářečské specialisty, praktiky a inspektory.* Ostarva : Zeross, 2002. ISBN 80-85771-97-7.
- [8] *Docplayer.cz.* [Online] 2016. [Citace: 23. 2. 2017.]  
<http://docplayer.cz/docs-images/36/17407936/images/50-0.png>.
- [9] **DORZIN, E.** *Temperature of a MIG Welder.* [Online] Příprava vydání Glenn Elert., 2003. [Citace: 27. 3. 2017.]  
<http://hypertextbook.com/facts/2003/EstherDorzin.shtml>.
- [10] **R. GSCHEIDLE, a kolektiv.** *Příručka pro automechanika.* Praha: Europa - Sobotáles, 2007. ISBN: 80-86706-17-6.
- [11] **AMBROŽ, O., KANDUS, B. KUBÍČEK, J.** *Technologie svařování a zařízení.* Ostrava : Česká svářečská společnost ANB, Zeross, 2001. str. 395. ISBN 80-85771-81-0.
- [12] **KANDUS, B., KUBÍČEK, J.** *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svařečských inženýrů a technologů. 1 vyd.* Ostrava : Zeross, 2001. ISBN 80-857-7181-0.
- [13] **MINAŘÍK, V.** *Obloukové svařování.* Praha : Scientia, spol. s.r.o., pedagogické nakladatelství, 2003. ISBN 80-7183-285-5.

- [14] **MALINA, Z.** *Učebnice pro základní kurz svařování tavící se elektrodou (MIG/MAG svařování).* Ostarva : Zeross - svářečské nakladatelství, 2007. ISBN 80-85771-19-X.
- [15] **MINAŘÍK, V.** *Obloukové svařování 3.vyd.* Praha : Scientia, spol.s.r.o., 2007. str. 165. ISBN 978-80-86960-28-9.
- [16] **MALINA, Z.** *Učebnice pro základní kurz svařování tavící se elektrodou (MIG/MAG svařování), 5. vydání.* Ostrava : Zeross, 2000.
- [17] Trafimet Distribution. [Online] 2017. [Citace: 2. 4. 2017.] <http://asp-it.secure-zone.net/v2/295/410/1239/Trafimet-Distribution---torches-and-spare-parts-catalogue.pdf>.
- [18] **ČSN EN ISO 14341.** *Svařovací materiály - Drátové elektrody pro obloukové svařování nelegovaných a jemnozrných ocelí v ochranném plynu a jejich svarové kovy - Klasifikace.* Praha : Úřad pro technickou normalizaci a staátní zkušebnictví, 2011. Třídící znak 05 5311.
- [19] **ČSN E ISO 17632.** *Svařovací materiály - Plněné elektrody pro obloukové svařování nelegovaných a jemnozrných ocelí s ochranou plynu a bez ochrany plynu - Klasifikace.* Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016. Třídící znak 05 5501.
- [20] **PILVOUSEK, T.** *Interní dokument ŠKODA AUTO a. s. - Technologie ve výrobě karoserie.* 2015.
- [21] **KOLNEROVÁ, M.** TUL, Fakulta strojní: Katerdra strojírenské technologie - Oddělení tváření kovů a plastů. [Online] 2016. [Citace: 10. 3. 2017.] [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/spt/pevnostni%20plechy.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/spt/pevnostni%20plechy.pdf).
- [22] Extract from the product catalogue. *Arcelormittal.* [Online] [Citace: 9. 3. 2017.] <http://automotive.arcelormittal.com/saturnus/sheets/ArcelorMittal%20Automotive%20product%20offer%20EN.pdf>.
- [23] **SOLFRONK, P.** *Tváření plechů v automobilovém průmyslu - podpůrný text.* Liberec : TUL, 2017.
- [24] **GEOFFREY, D.** *Materials for automobile bodies (second edition).* místo neznámé : Elsevier, 2012. ISBN 978-0-08-096979-4.
- [25] Steel Types. *World Auto Steel.* [Online] [Citace: 9. 3. 2017.] <http://www.worldautosteel.org/steel-basics/steel-types/>.
- [26] **TL 4225.** *Alloyed Quenched and Tempered Steel for Press Quenching – Uncoated or Pre-coated.* 2016.

- [27] **Image.thefabricator.** [Online] 2017. [Citace: 7. 4. 2017.]  
<http://image.thefabricator.com/a/new-coil-applied-nonmetallic-coating-protects-press-hardenable-steel-2.jpg>.
- [28] **HLUCHÝ, M. a kolektiv.** *Strojírenská technologie 1 - Nauka o materiálu.* Praha : SNTL - nakladatelství technické literatury, 1976.
- [29] **ČSN EN ISO 6507-1.** *Kovové materiály - Zkouška tvrdosti podle Vickerse - část1: Zkušební metoda.* Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006.
- [30] *Hardness Testers AFFRI.* [Online] 2017. [Citace: 11. 4. 2017.]  
<http://www.affri.com/index.php/hardness-testers/vickers/vickers-hardness-tester-dm-series>.
- [31] Tytan 50A 3 cykly. *CompleteDental.* [Online] 2017. [Citace: 12. 4. 2017.]  
<http://eshop.completedental.cz/cs/202-tytan-50-a-3-cykly-15-programů.html>.
- [32] *Docplayer.cz.* [Online] 2017. [Citace: 14. 4. 2017.]  
<http://docplayer.cz/docs-images/55/37301462/images/31-0.png>.
- [33] *Buehler, a division of Illinois Tool Works Inc.* [Online] 2017. [Citace: 12. 4. 2017.] <https://www.buehler.com/abrasiMet-250-abrasive-cutter.php>.
- [34] *Buehler, a division of Illinois Tool Works inc.* [Online] 2017. [Citace: 12. 4. 2017.] <https://www.buehler.com/planarmet-300-planar-grinder.php>.

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Oblasti svařovacího oblouku [8].....	13
Obrázek 2 Zařízení pro svařování MIG / MAG [10].....	14
Obrázek 3 Statická (voltampérová) charakteristika.....	16
Obrázek 4 Tvrdá a měkká dynamická charakteristika.....	17
Obrázek 5 Typy přenosu kovů [12] .....	17
Obrázek 6 Schéma umístění podávacího zařízení .....	20
Obrázek 7 Schéma podávacího zařízení [15].....	21
Obrázek 8 Čtyřkladkový mechanismus [16].....	21
Obrázek 9 Svařovací hořáky [17].....	22
Obrázek 10 Speciální svařovací hořáky [17].....	23
Obrázek 11 Profily plněného drátu.....	23
Obrázek 12 Druhy plechů karoserie - ŠKODA [20] .....	24
Obrázek 13 Závislost tažnosti na mezi kluzu [21] .....	25
Obrázek 14 Intersticiální ocel [23].....	26
Obrázek 15 BH efekt u oceli s dislokacemi [23].....	27
Obrázek 16 Mikrostruktura DP oceli [24].....	28
Obrázek 17 Mikrostruktura CP oceli [24].....	29
Obrázek 18 Mikrostruktura TRIP oceli [24] .....	29
Obrázek 19 Mikrostruktura martenzitické struktury [24] .....	30
Obrázek 20 Použití 22MnB5 oceli při konstrukci karoserie [20] .....	30
Obrázek 21 Velikost a složení Al-Si vrstvy.....	31
Obrázek 22 Vliv tváření za tepla na celkové prodloužení a meze pevnosti v tahu [25].....	32
Obrázek 23 Hot-stamping metoda přímá [27] .....	33
Obrázek 24 Hot-stamping metoda nepřímá [27] .....	33
Obrázek 25 Průběh tahové zkoušky - diagram [28] .....	35
Obrázek 26 Lüdersova deformace [28].....	37
Obrázek 27 Metalografický mikroskop AFFRI DM2 SEMI [30].....	38
Obrázek 28 Indukční pec a ohřev vzorků [31].....	40
Obrázek 29 Rozměry a oblast svaru.....	41
Obrázek 30 Postup metalografické zkoušky [32] .....	42



Obrázek 31 Vzorky 1. sady svarů pro metalografickou zkoušku.....	43
Obrázek 32 Vzorky 2. sady svarů pro metalografickou zkoušku.....	43
Obrázek 33 Vzorky 3. sady svarů pro metalografickou zkoušku.....	44
Obrázek 34 Metalografická pila AbrasivMet™250 [33] .....	44
Obrázek 35 Barevné označení jednotlivých vzorků .....	44
Obrázek 36 Zalévání jednotlivých vzorků a tlakový hrnec pro odstranění bublinek.....	45
Obrázek 37 Příklad na metalografické broušení a leštění [34].....	45
Obrázek 38 Naleptaný střed svaru a velikost vrstvy vzorku <b>15</b> .....	46
Obrázek 39 Naleptaný střed svaru a velikost vrstvy vzorku <b>114</b> .....	47
Obrázek 40 Naleptaný střed svaru a velikost vrstvy vzorku <b>214</b> .....	48
Obrázek 41 Velikost vrstvy vzorku <b>215</b> .....	49
Obrázek 42 Velikost vrstvy vzorku <b>37</b> .....	50
Obrázek 43 Velikost vrstvy vzorku <b>312</b> .....	51
Obrázek 44 Mikrotvrdoměr DM2 Semi [30].....	54
Obrázek 45 Sledování mikrotvrdosti jednotlivých vzorků .....	54
Obrázek 46 Vzorek <b>15</b> po měření mikrotvrdosti .....	55
Obrázek 47 Vzorek <b>215</b> po měření mikrotvrdosti .....	56
Obrázek 48 Vzorek <b>37</b> po měření mikrotvrdosti .....	57

## Seznam grafů

Graf 1 Průběh tahové zkoušky 1. sady svarů.....	52
Graf 2 Průběh tahové zkoušky 2. sady svarů.....	52
Graf 3 Průběh tahové zkoušky 3. sady svarů.....	52
Graf 4 Průběh mikrotvrdosti 1. řady vzorku <b>15</b> .....	55
Graf 5 Průběh mikrotvrdosti 2. řady vzorku <b>15</b> .....	55
Graf 6 Průběh mikrotvrdosti 1. řady vzorku <b>215</b> .....	56
Graf 7 Průběh mikrotvrdosti 2. řady vzorku <b>215</b> .....	56
Graf 8 Průběh mikrotvrdosti 1. řady vzorku <b>37</b> .....	57
Graf 9 Průběh mikrotvrdosti 2. řady vzorku <b>37</b> .....	57