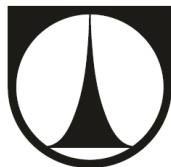


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní



Katedra strojírenské technologie

**ZAJIŠTĚNÍ KVALITY ODPOROVÝCH BODOVÝCH
SVARŮ NA ZÁKLADĚ ANALÝZY ČASOVÝCH
PRŮBĚHŮ VYBRANÝCH VELIČIN SVAŘOVACÍHO
PROCESU**

DISERTAČNÍ PRÁCE

Studijní program: P2303 – Strojírenská technologie
Studijní obor: 2303V002 - Strojírenská technologie

Autor práce: Ing. Jiří Pacák
Vedoucí práce: doc. Ing. Heinz Neumann, CSc.

Liberec 2016

TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC

Faculty of Mechanical Engineering



Department Engineering Technology

**ENSURING THE QUALITY OF RESISTANCE POINT
WELDS BASED ON THE ANALYSIS OF SELECTED
QUANTITIES OF A WELDING PROCESS AND THEIR
VARIATION IN TIME**

Dissertation

Study programme: P2303 – Strojírenská technologie
Study branch: 2303V002 - Strojírenská technologie

Author: Ing. Jiří Pacák
Supervisor: doc. Ing. Heinz Neumann, CSc.

Liberec 2016

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou disertační 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 disertační práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li disertační 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.

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

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

Datum:

Podpis:

Poděkování

Rád bych poděkoval svému školiteli doc. Ing. Heinzovi Neumannovi, CSc. za cenné rady, odborné konzultace a vedení v průběhu doktorského studia.

Poděkování patří rovněž mé ženě, která mne během studia podporovala.

Práce byla zhotovena s podporou projektu studentské grantové soutěže SGS 21122 řešeném na Katedře strojírenské technologie, Technické univerzity v Liberci.

ANOTACE

Hlavním tématem disertační práce je vyhodnocení provedeného odporového bodového svaru z průběhu naměřených hodnot elektrických veličin při svařovacím procesu. Pozornost bude věnována celkové životnosti svařovacích elektrod v automobilovém průmyslu při robotickém odporovém bodovém svařování včetně technologické operace frézování svařovacích elektrod. Hledání nových způsobů hodnocení provedených bodových svarů v automobilovém průmyslu je velmi žádané. Je to z důvodů většího nasazení vysokopevnostních plechů při výrobě karosérie, u kterých je velmi obtížné aplikovat současné zkušební metody. V disertační práci jsou popsány jednotlivé faktory, které ovlivňují výslednou kvalitu provedeného odporového bodového svaru. Dále je popsán současný způsob řízení odporového bodového svařovacího procesu.

V experimentální části disertační práce je řešena problematika bodového svařování vysokopevnostních plechů na konkrétním svařenci modelu Škoda Octavia. Stanovení vlivu tloušťky povlaku u termomechanicky zpracovaných ocelí na stabilitu svařovacího procesu. Druhým experimentem je frézování svařovacích elektrod a následná automatická kontrola kvality ofrézování svařovacích elektrod na základě průběhu elektrických veličin v čase. Kvalita frézování svařovacích elektrod je velmi důležitá pro stabilitu svařovacího procesu a celkovou životnost svařovacích elektrod. Vadně provedená technologická operace frézování je velmi častou příčinou nevyhovujících bodových svarů v automobilovém průmyslu.

Na základě výsledků jednotlivých experimentů bude možné stanovit hlavní příčiny nestability svařovacího procesu při odporovém bodovém svařování vysokopevnostních plechů. Při nalezení vzájemné závislosti průběhu elektrických veličin v čase při odporovém bodovém svařování bude možné definovat automatický kontrolní systém pro vyhodnocení kvality při technologické operaci frézování svařovacích elektrod a výsledné kvality bodového svaru.

Klíčová slova: odporové bodové svařování, vysokopevnostní plechy, kvalita odporového bodového svaru

ABSTRACT

Assessing resistance point welds on the basis of the variation of electrical quantity values measured during the welding process is the main theme of the dissertation. The second theme examined is the overall life expectancy of welding rods in robotic resistance welding, including a technical operation, i.e. milling welding rods. Searching for new methods of the assessment of resistance point welds in automotive industry is in great demand. This is due to the implementation of high-strength metal sheets into the car body. The high-strength metal sheets present considerable difficulties for existing testing methods. The dissertation describes respective factors affecting the resulting quality of an executed resistance point weld. Third, a current method of the welding process management is described.

The experimental part of the dissertation examines the resistance welding of high-strength metal sheets of a particular weldment in the Škoda Octavia model, in other words determines influence of coating metal in thermomechanically treated steel on the welding process. The second experiment involves the welding rod milling and a subsequent automatic check of the milling quality of welding rods based on the variation of electrical quantities in time. The quality of welding rods is essential for the stability of the welding process and the overall life expectancy of welding rods. A faulty milling operation very often brings about unsatisfactory point welds in automotive industry.

Respective experiments will enable identification of the main instability causes in the process of the resistance point welding of high strength metal sheets. If a mutual dependence between respective variations of electrical quantities in spot resistance welding is found, it will enable us to define automatic control system assessing the quality of welding rod milling and therefore the resulting quality of the point weld.

Keywords: Spot resistance welding, high strength sheet metal, quality of resistance point welds

Obsah

Seznam hlavních použitých symbolů	9
1.0 Úvod	10
2.0 Stanovení cílů disertační práce	12
3.0 Fyzikální děje při bodovém odporovém svařování	14
3.1 Fyzikální veličiny při odporovém bodovém svařování	17
4.0 Životnost svařovacích elektrod	21
5.0 Svařitelnost	25
6.0 Hodnocení kvality odporových bodových svarů	36
6.1 Geometrie svarového bodu	36
6.2 Povrchová kvalita svarového bodu	40
6.3 Destruktivní zkoušky svarových bodů	42
6.4 Nedestruktivní zkoušky svarových bodů	45
7.0 Regulace a řízení odporového svařovacího procesu	48
7.1 Svařovací parametry odporového svařovacího procesu	52
7.2 Systémy s vyhodnocováním a měřením elektrických veličin	59
8.0 Vysokopevnostní oceli v automobilovém průmyslu	65
9.0 Experimentální část disertační práce	66
9.1 Stanovení tloušťky povlaku vysokopevnostních ocelí	67
9.2 Analýza povrchové vrstvy Al-Si	70
9.3 Rozbor chemického složení svařovaného materiálu	83
9.4 Strukturní analýzy	88
9.5 Kontrola frézovacího procesu na základě analýzy časových průběhu elektrických veličin	98

9.6	Kontrola bodových svarů na základě analýzy časových průběhů elektrických veličin při svařovacím procesu	106
10.0	Přínos disertační práce	110
11.0	Doporučení pro další postup	111
12.0	Závěr – diskuse výsledků	112
13.0	Seznam použité literatury	114
14.0	Přehled publikací k dané problematice	120
15.0	Seznam příloh	122

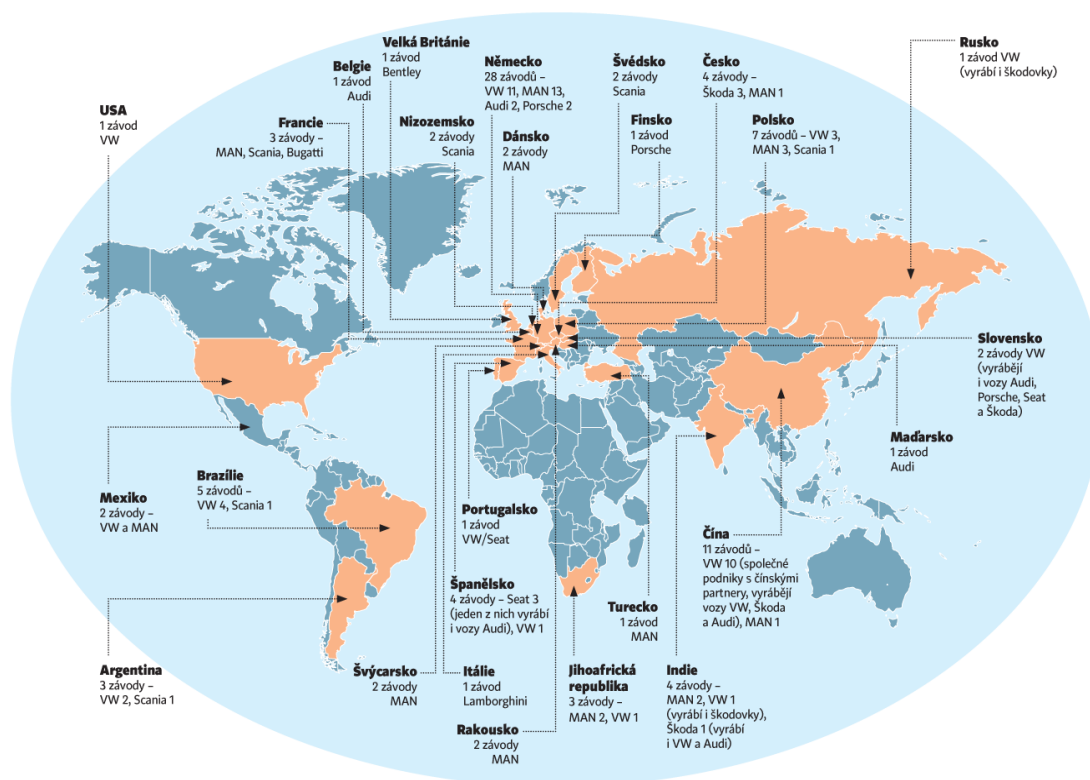
SEZNAM HLAVNÍCH POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Q	- celkové množství tepla vyvinuté při průchodu svařovacího proudu	[J]
I	- svařovací elektrický proud	[A]
R	- elektrický odpor	[Ω]
t_{SV}	- doba svařování	[ms], [per]
q_V	- intenzita objemového zdroje tepla	[$J \cdot m^{-3} \cdot s^{-1}$]
c	- měrné teplo	[$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$]
γ	- hustota	[$kg \cdot m^{-3}$]
a	- součinitel teplotní vodivosti	[$m^2 \cdot s^{-1}$]
T	- teplota	[K]
r	- poloměr elektrody	[mm]
t_l	- hloubka vniknutí svarového bodu	[mm]
t_S	- rozměr spáry	[mm]
t_E	- průměr vniknutí	[mm]
$t_{1,2}$	- tloušťka materiálu	[mm]
t_r	- minimální zbytková tloušťka plechu v oblasti vtisku elektrody	[mm]
d_p	- průměr svarového bodu	[mm]
d_L	- průměr svarové čočky	[mm]
F	- svařovací síla	[N]

1.0 Úvod

Bodové odporové svařování je výrobní technologie, která si našla své místo v řadě odvětví průmyslu. První informace o technologii odporového svařování se datují k roku 1877 [1]. Dnešní vyspělý svět motivovaný tvořením kapitálu nutí výrobní firmy neustále zvyšovat produktivitu práce a snižovat výrobní náklady. V automobilovém průmyslu při plánování nové svařovny jsou výrobní čas, výrobní takt hlavní premisy projektu.

Dnešní globální svět je propojen pomocí různých technologií. Velké nadnárodní firmy staví své továrny po celém světě, pokud to politická a hlavně ekonomická situace umožňuje. Přední automobilový výrobce Toyota z důvodů prodeje svých vozů na americkém kontinentu vše přizpůsobil od vzhledu až po název vozu zákazníkovi. Koncern Volkswagen expanduje také po celém světě. Výrobní závody jsou v Rusku, v Číně, v USA a v dalších zemích. Přehled zemí, kde jsou umístěny výrobní závody je na obr. 1. Firma Škoda Auto a.s. má strategický cíl vyrábět 1,5 miliónů vozů ročně od roku 2018. Například celková roční kapacita výroby koncernu Volkswagen A.G. všech značek je 10 miliónů vozů za rok.



Obr. 1: Výrobní závody koncernu Volkswagen A. G.

Při výrobě karoserie jsou používány různé svařovací technologie.

- a) laserové svařování a pájení
- b) MAG a MIG obloukové svařování
- c) bodové odporové svařování

Aktuálním trendem v automobilovém průmyslu je elektromobilita. Z důvodů neustálého snižování emisí ve výfukových plynech se vozidla na elektrický pohon dostávají do popředí zájmu. Pro dosažení optimálního výkonu je potřeba snížit celkovou hmotnost vozidla. Snížení hmotnosti lze dosáhnout např.: použitím materiálů na bázi slitin hliníku. Dalším materiálem je karbon, který uspoří až polovinu hmotnosti karoserie. Avšak tento materiál není svařitelný pomocí odporového svařování. Výrobce vozů BMW tyto karoserie vyrábí sériově právě pro verze s elektromotorem. Pro spojení jednotlivých dílů karoserie je použito technologie lepení. Lze diskutovat o určitých inovacích v automobilovém průmyslu od předních výrobců, a to ve využití plastů pro díly jako např.: přední blatník u vozů Audi, páté dveře Škoda Roomster. Značka Porsche používá slitiny hliníku pro motorovou kapotu, přední blatník. Dle mého názoru tento trend bude pokračovat, ale vždy bude hrát hlavní roli ekonomická návratnost.

V současné době lze říci, že všichni výrobci automobilů svařují karoserie pomocí technologie bodového odporového svařování. Svařovací metoda odporového bodového svařování je velmi produktivní. Zejména v automobilovém průmyslu, kdy na karoserii vozu je vytvořeno přes pět tisíc bodových svarů. Tato technologie samozřejmě nachází uplatnění v dalších oborech jako je elektrotechnický průmysl a další.

Vlivem zvyšování produktivity jsou svařovny robotizovány. Konkrétní příklad uvádím svařovnu v Mladé Boleslavi pro model Octavia III generace. Veškeré údaje jsou uvedeny v příloze č. 1. Stupeň automatizace svařovny Octavia je na úrovni 83 [%]. Stupeň automatizace je počítán z maximálního možného stupně automatizace výrobní linky.

Například uvádím data pro svařovnu Škoda Octavia:

- a) počet robotů Kuka a Fanuc v lince 622 [ks]
- b) počet svařovacích robotových kleští Düring 480 [ks]

- c) takt linky mezi jednotlivými operacemi 51 [s]
- d) počet pracovníků 238 ve směně pro výrobu 430 karoserií
- e) hloubka výroby 73 [%]

Hloubka výroby je údaj, který stanovuje kolik svařenců pro karoserii je zhotoveno ve výrobním závodě Škoda Auto a.s.

2.0 Stanovení cílů disertační práce

Předložená práce je zaměřena na návržení systému ověřování kvality bodových svarů na základě průběhu elektrických veličin při odporovém bodovém svařovacím procesu. Zaměření je na vysokopevnostní ocelové plechy, které se používají při výrobě karoserie. Vliv tloušťky a chemické složení povlaku těchto vysokopevnostních plechů na kvalitu bodového svaru a proveditelnost odporového bodového svaru.

Vysokopevnostní ocelové plechy pro výrobu karoserií s různými typy kovových povlaků našly své uplatnění při výrobě karoserií. Při spojení výhod technologie odporového svařování a právě mechanických vlastností těchto vysokopevnostních ocelí je problematika správného nastavení svařovacích parametrů a vyhodnocení kvality zhotovených bodových svarů velmi aktuální téma v automobilovém průmyslu. Na obr. 2 je vyznačen postupný nárůst vysokopevnostních ocelových plechů při konstrukci karoserie Škoda Octavia.



Obr. 2. Podíl vysokopevnostních ocelových plechů na modelu Škoda Octavia

Z těchto důvodů je značná část disertační práce věnována nalezení vzájemné závislosti vybraných elektrických veličin při odporovém bodovém

svařování s možností stanovení výsledné kvality bodového svaru. Důraz bude kladen především na stavbu kvalitního monitorovacího zařízení s možností záznamu průběhu svařovacího napětí a proudu v závislosti na čase. Na základě naměřených průběhů elektrických veličin při odporovém svařování bude pozornost věnována vyhodnocení těchto průběhů a definování vypočtené hodnoty odporu svaru. Výsledná kvalita bodového svaru bude sledována právě z průběhu odporu při odporovém bodovém svařování v čase.

Disertační práce je zaměřena na:

- a) Stanovení referenčních křivek průběhu vybraných svařovacích elektrických veličin v podmínkách rostoucího opotřebením svařovacích elektrod. Stanovení efektivního intervalu pro úpravu pracovní části svařovacích elektrod.
- b) Analýzu povlaku Al-Si vysokopevnostních ocelových plechů před svařováním. Porovnání výlisků od dvou různých dodavatelů vysokopevnostních plechů. Zaměření bude na jednotlivé subvrstvy povrchové vrstvy Al-Si.
- c) Analýzu chemického složení jednotlivých subvrstev.
- d) Analýzu zhotovených bodových svarů pomocí metalografických zkoušek.
- e) Stanovení metodiky hodnocení kvality bodových svarů na základě průběhu elektrických veličin v čase.
- f) Stanovení metodiky hodnocení kvality opracování pracovní části svařovacích elektrod na základě průběhu vybraných elektrických veličin svařovacího procesu v čase.

3.0 Fyzikální děje při bodovém odporovém svařování

Základním principem při odporovém svařování je vytvoření lokálního zdroje tepla přímým průchodem elektrického proudu svařovanými díly. Vznik svarového spoje je nerovnovážný děj. Podmínkou pro svařovací proces je existence teplotních, deformačních a koncentračních gradientů [2]. Hlavní podmínkou pro bodové odporové svařování je lokální zvýšení odporu v místě, kde má být vytvořen svarový spoj. Na začátku svařovacího procesu dochází k intenzivnímu vývoji tepla v místě styku svařovaných plechů. Teplo se vedením šíří do přilehlých ploch. V zahřátém materiálu se zvyšuje měrný odpor materiálu a při průchodu svařovacího proudu svařovaným materiálem se vytváří další teplo. Z plošného zdroje tepla se stává objemový zdroj tepla. Vlastní spojení svařovaných částí vzniká při odporovém svařování vždy natavením základního materiálu. Svarový kov spoje tvoří přetavený základní materiál.

Množství tepla lze vyjádřit dle Joule – Lenzova zákona:

$$Q = \int_0^{t_{sv}} R_{(t)} \times I^2_{(t)} dt \quad (1)$$

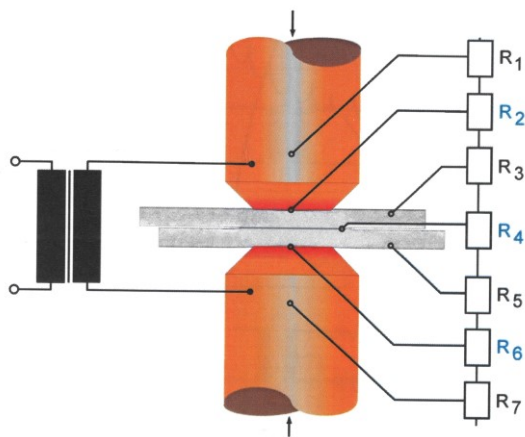
kde je:

Q... celkové množství tepla vyvinuté při průchodu svařovacího proudu [J]

R... elektrický odpor [Ω]

I ... svařovací elektrický proud [A]

Rovnice (1) popisuje celkové množství tepla při průchodu svařovacího proudu. Důležité pro výpočet jsou dosazené jednotlivé hodnoty, které tvoří základní veličiny pro vytvoření kvalitního bodového svaru. První v součtinu je celkový odpor. Tato hodnota je součtem všech jednotlivých odporů uvedených na obr. 3.



Obr. 3: Celkový odpor při odporovém bodovém svařování

Celkový odpor je vyjádřen rovnicí (2)

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

kde je:

R_1 - odpor materiálu svařovací elektrody

R_2 - přechodový odpor mezi elektrodou a svařovaným materiálem

R_3 - odpor svařovaného materiálu

R_4 - přechodový odpor mezi svařovanými materiály

R_5 - odpor svařovaného materiálu

R_6 - přechodový odpor mezi elektrodou a svařovaným materiálem

R_7 - odpor materiálu svařovací elektrody

Druhým činitelem v rovnici (1) je hodnota svařovacího proudu ve druhé mocnině. Hodnota svařovacího proudu se nastavuje pomocí svařovacího řízení a má zásadní vliv na kvalitu bodového svarového bodu.

Tepelná bilance při bodovém odporovém svařování je znázorněna na obr. 4. Pro experimentální měření je nutno stanovit skutečné teplo, které je spočteno ze vztahu (3). Ztráty jsou zobrazeny na obr. 4.

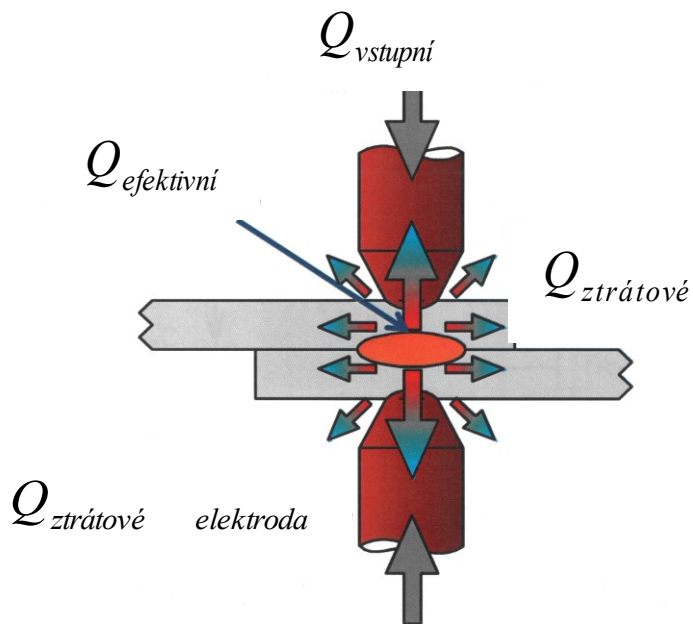
$$Q_{\text{efektivní}} = Q_{\text{vstupní}} - Q_{\text{ztrátové}} \quad (3)$$

kde je:

$Q_{\text{vstupní}}$... dodané teplo pro vznik odporového bodového svaru

$Q_{\text{ztrátové}}$... odebrané teplo při odporovém bodovém svaru

$Q_{\text{efektivní}}$... efektivní teplo nutné k vytvoření odporového bodového svaru



Obr. 4: Tepelná bilance při odporovém bodovém svařování

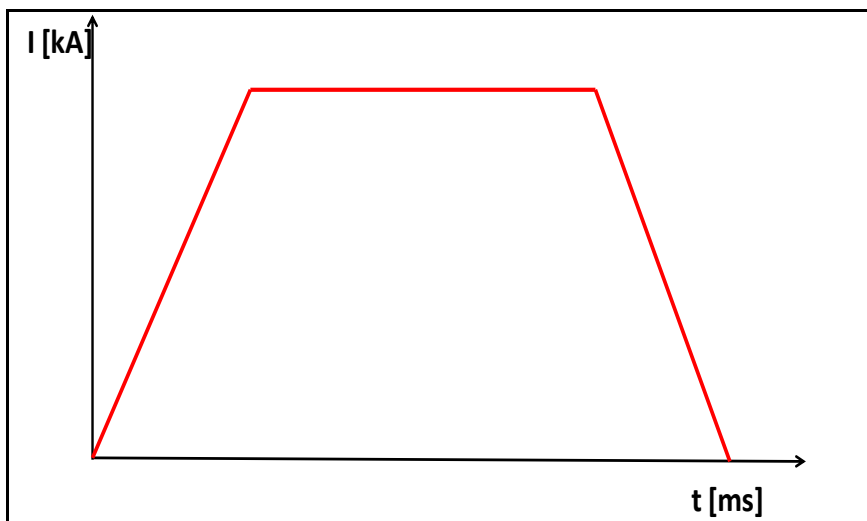
Pro zhotovení odporového bodového svaru je zapotřebí nastavení svařovacích parametrů. Dle normy ČSN 05 0003 jsou svařovací parametry všechny proměnlivé veličiny, které je zapotřebí nastavit tak, aby se zhotovil odporový bodový svar [3]. Nejdůležitější svařovací parametry jsou svařovací proud, svařovací čas a svařovací síla. Svařovací parametry bodového odporového svařování jsou veličiny, které mají zásadní vliv na kvalitu provedení odporového bodového svarového spoje.

3.1 Fyzikální veličiny při odporovém bodovém svařování

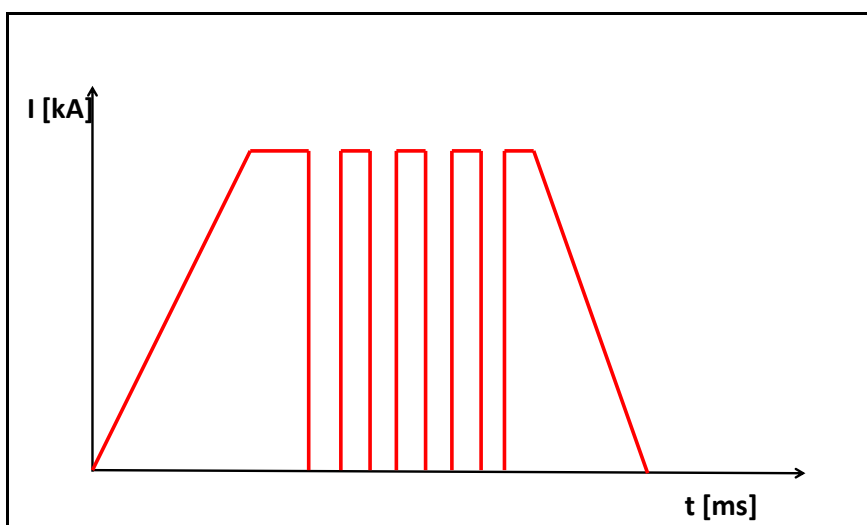
Tři základní svařovací parametry jsou:

- svařovací čas t_{sv} [per, ms]
- svařovací proud I [A]
- svařovací síla F [kN]

Svařovací čas je dle normy ČSN 05 0003 [3] časový interval, po který materiálem protéká svařovací proud. Měří se v periodách síťového kmitočtu nebo v tisícinách sekundy. Dnešní svařovací řízení umožňují nastavení různých svařovacích časů tzv.: pulsů. Jsou to možnosti přehřevu, čas svařování svařovacího proudu, pauzy u svařovacích impulsů. Na obr. 5 a 6 jsou uvedeny jednotlivé příklady průběhu svařovacího programu.

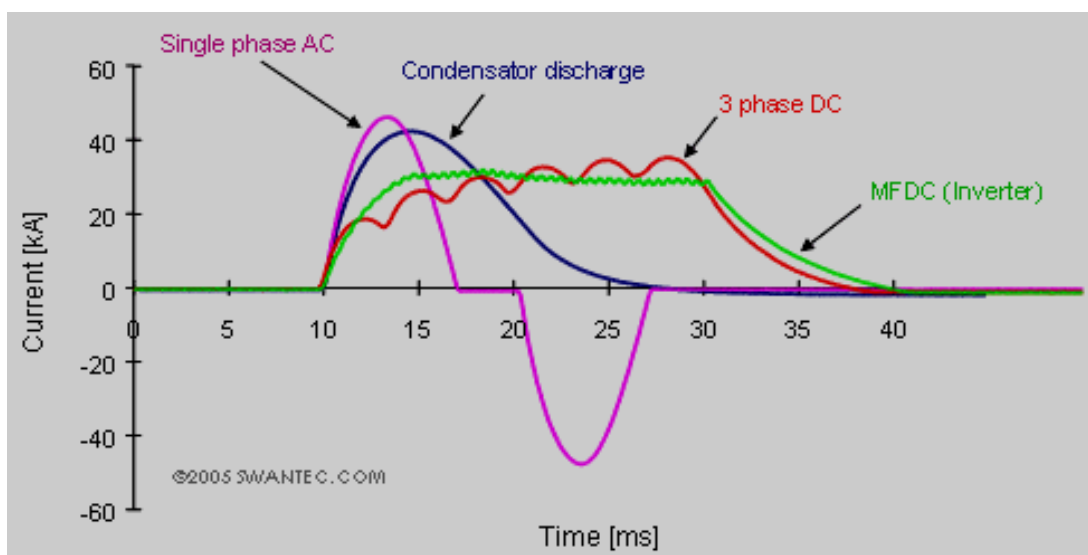


Obr. 5: Svařovací program s jedním impulsem



Obr. 6: Časový průběh svařovacího programu s impulsy

Svařovací proud je veličina, která má zásadní vliv na velikost vytvořeného tepla pro vznik bodového svaru, protože v Joulově rovnici (1) se vyskytuje v kvadratickém tvaru. V technické praxi se pro bodové odporové svařování používají různé svařovací zdroje. Jejich označení je převzato podle průběhu svařovacího proudu na sekundární straně podle obr. 7. Na základě průběhu je nutno volit hodnotu svařovacího proudu. Průběh svařovacího proudu má vliv na kvalitu provedeného bodového svaru z hlediska schopnosti svařovacího stroje řízeně dodat požadovanou energii potřebnou pro vytvoření bodového svaru. V automobilovém průmyslu se využívá středofrekvenční invertorové techniky.



Obr. 7: Průběhy svařovacího proudu na sekundární straně svařovacího transformátoru

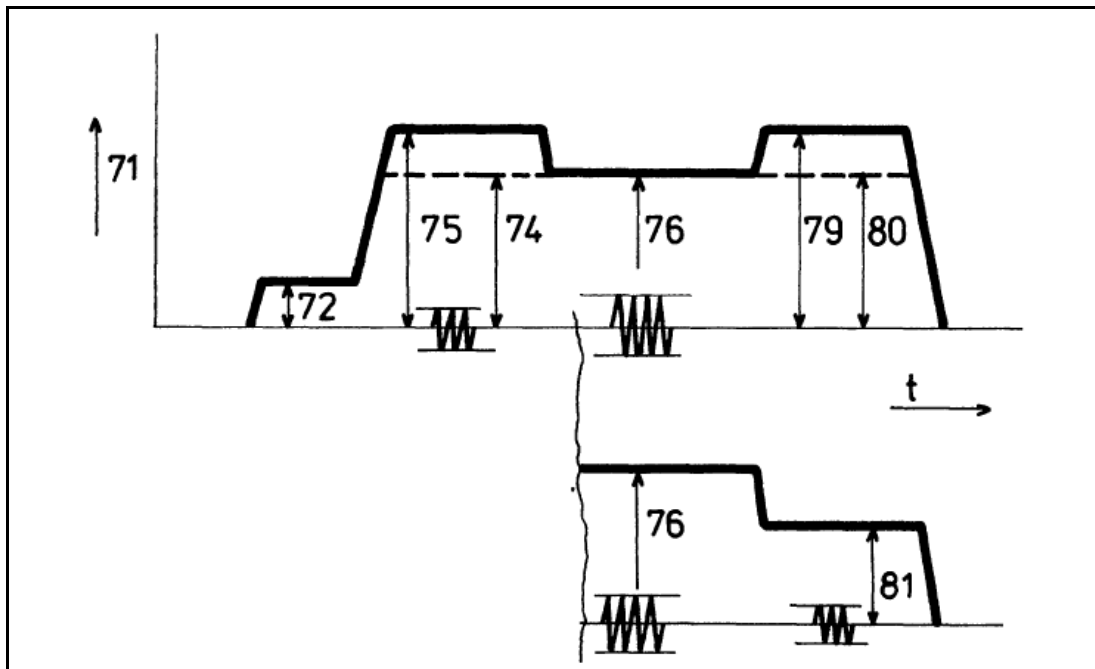
Single phase AC – jednofázový střídavý AC

Condensator discharge – vybíjení kondensátoru

3 phase DC – třífázový stejnosměrný DC

MF DC (Inverter) – středofrekvenční invertor DC

Elektrodová síla podle normy ČSN 05 0003 je síla přenášená elektrodami v průběhu svařovacího cyklu do svařovaných dílů [3]. Na obr. 8 je znázorněn průběh elektrodové síly dle normy ČSN 05 0003.



Obr. 8: Průběh elektrodové síly podle normy ČSN 05 0003 [3]

71 – elektrodová síla

72 – zavírací síla, která je potřeba na pohyb elektrody z počáteční polohy až do vytvoření ustáleného kontaktu se svařovanými plechy

74 – přitlačovací síla působící na svařované díly před prvním průchodem svařovacího proudu, tato síla může být totožná se svařovací silou

75 – předehřívací síla působící na svařované díly během průchodu předehřívacího proudu

76 – svařovací síla působící na svařované díly během protékání svařovacího proudu a nebo během pulsačního svařování

79 – kovací síla je větší jak svařovací síla a působí na svařované díly po ukončení průchodu svařovacího proudu

80 – dotlačovací síla působí na svařované díly po ukončení průchodu svařovacího proudu až do ukončení svařovacího cyklu

Pro svařovací proces je velmi důležité eliminace přechodových odporů mezi svařovací elektrodou a svařovaným materiálem. Dále má vliv na

tvorbu trhlin ve svarovém spoji. Nedílnou součástí se podílí na konečné vizuální podobě bodového svaru. Pokud by přitlačná síla byla nepřiměřeně vysoká vzhledem ke svařovaným materiálům, pak by došlo k vytlačení taveniny na okraj a provedený bodový svar by neměl požadované mechanické vlastnosti. Vtisk svařovacích elektrod od přitlačné síly by byl příliš velký a tím i vzhled provedeného bodového svaru by nevyhovoval kvalitativním požadavkům podle normy ČSN EN ISO 6520 - 2 [17] a interní normy VW 011 05 -1 [4]. V opačném případě, kdy svařovací síla je příliš malá dojde k výstřiku. Tavenina nebude udržena mezi svařovacími elektrodami v místě prováděného bodového svaru.

Vzájemnou kombinací těchto svařovacích parametrů je vytvořen svařovací režim. Ve starší literatuře je popisován svařovací režim měkký a tvrdý [1]. **Měkký režim** je kombinace delšího svařovacího času s nižším svařovacím proudem a menší svařovací silou. **Tvrdý režim** je kombinace relativně vyššího svařovacího proudu a tlaku s kratším svařovacím časem. Z hlediska tohoto rozdělení je v současné době v automobilovém průmyslu převážně používán tvrdý režim. V automobilovém průmyslu vlivem vývoje svařovacích transformátorů k nižším hmotnostem došlo ke zkrácení sekundárního obvodu svařovacích kleští. Svařovací transformátor je součástí svařovacích kleští. Tím jsou menší ztráty na sekundární straně svařovacího transformátoru a z těchto důvodů je možné aplikovat tvrdý režim. Toto rozdělení v současné době pozbývá na významu. Někteří autoři popisují intenzitu odporového svařovacího procesu [2].

Intenzita odporového ohřevu J_p je definována jako poměr velikosti svařovacího proudu a požadovaným rozměrem svarové čocky (4), což můžeme nahradit při bodovém odporovém svařování průměrem dosedací plochy svařovací elektrody [2].

$$J_p = \frac{I}{D} \quad (4)$$

kde je: J_p ... intenzita odporového ohřevu [A/mm]

I ... svařovací proud [A]

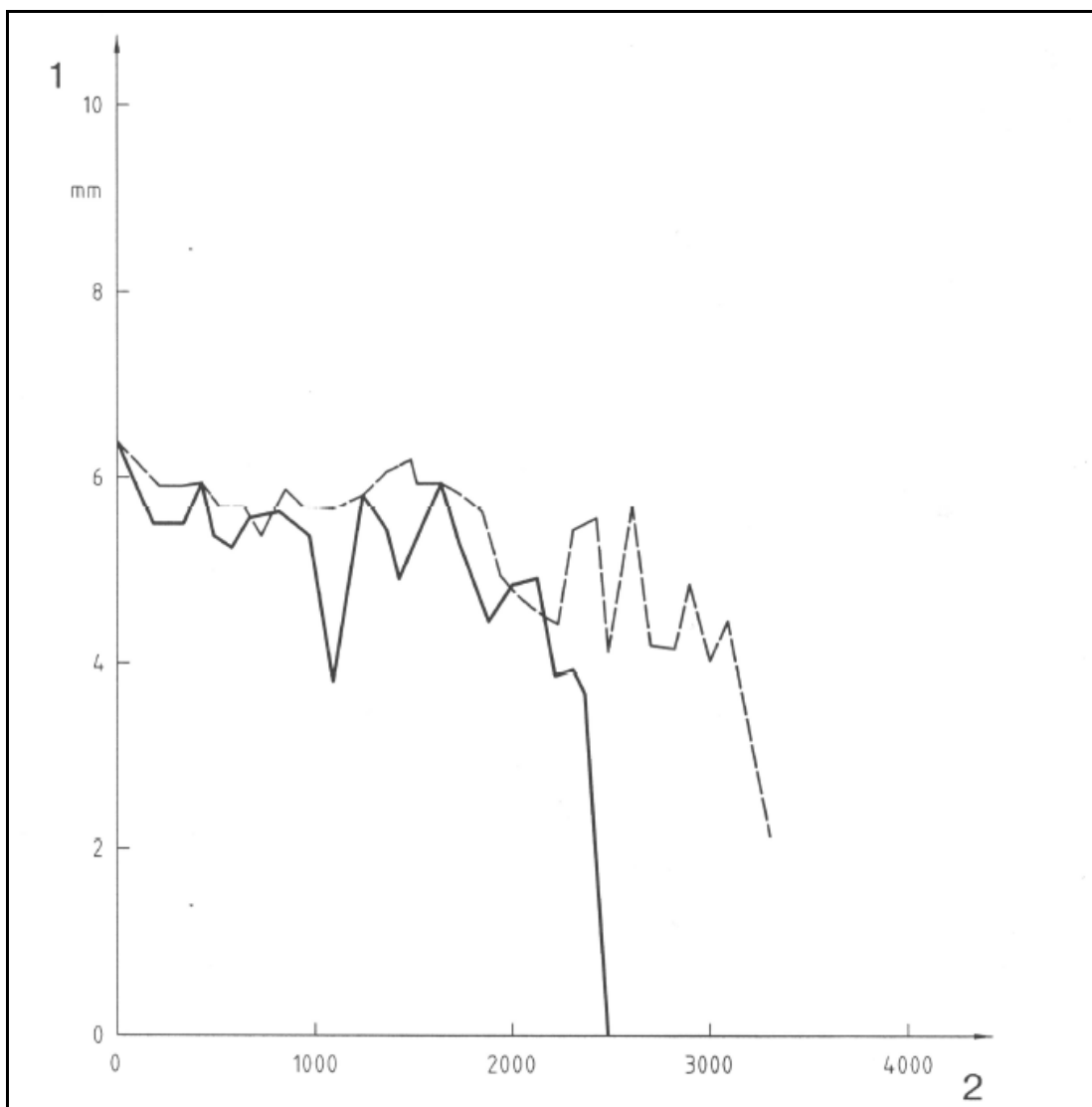
D ... průměr dosedací plochy svařovací elektrody [mm]

4.0 Životnost svařovacích elektrod

Dle normy ČSN EN ISO 8166 odporové svařování – Způsob hodnocení životnosti bodových svařovacích elektrod při konstantním nastavení stroje [5]. Tato evropská norma popisuje způsob stanovení životnosti bodovacích svařovacích elektrod pro odporové bodové svařování, za předpokladu stanoveného výrobního postupu dle normy ČSN EN ISO 15609-5 Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů – Specifikace postupu svařování - část 5: Odporové svařování [6]. Požadavky k prokázání způsobilosti výrobce vyrábět svařované konstrukce, které splňují odpovídající požadavky na jakost, definují normy ČSN EN ISO 14554 – 1 Požadavky na jakost při svařování - Odporové svařování kovových materiálů – Část 1: Vyšší požadavky na jakost [7] a ČSN EN ISO 14554 – 2 Požadavky na jakost při svařování - Odporové svařování kovových materiálů – Část 2: Základní požadavky na jakost [8]. Specifikovaný postup umožňuje určovat životnost svařovacích elektrod, to je počet odporových bodových svarů, které mohou být provedeny mezi potřebou úpravy dosedacích ploch svařovacích elektrod. V automobilovém průmyslu je životnost svařovacích elektrod vnímána jako maximální počet svarových bodů při dodržení požadované kvality bodového svaru. Pro maximální využití svařovacích elektrod se nastavuje technologie frézování svařovacích elektrod. Zkušební postup dle normy ČSN EN ISO 8166 může být použit k vyhodnocení následujících údajů:

- a) Vliv materiálu nebo tvaru a rozměrů svařovacích elektrod na životnost svařovacích elektrod při odporovém bodovém svařování určeného materiálu.
- b) Vliv svařovaného materiálu na dosaženou životnost svařovacích elektrod při použití konstantního tvaru a rozměru svařovacích elektrod.
- c) Vliv svařovacích podmínek na životnost svařovacích elektrod při použití dané kombinace materiálu a tvaru svařovacích elektrod pro svařování jakéhokoliv druhu materiálu.
- d) Vliv typu svařovacího stroje a chlazení svařovacích elektrod na životnost svařovacích elektrod.

Kritéria pro ukončení zkoušky životnosti svařovacích elektrod dle normy ČSN EN ISO 8166 [5] jsou definována jako počet odporových bodových svarů, které mohou být provedeny v požadované kvalitě svaru před nezbytnou úpravou dotykové plochy svařovací elektrody. Dosažené výsledky mohou být prezentovány v podobě tabulky nebo graficky jak je uvedeno na obr. 9.



Obr. 9: Typické křivky životnosti svařovacích elektrod dle normy ČSN EN ISO 8166

- 1 Průměr svaru
- 2 Počet svarů

Definice životnosti svařovacích elektrod je z hlediska způsobilosti svařovacího procesu definovaná jako vytvoření kvalitního svarového bodu. A zde začíná hledání kompromisu mezi hospodárným využitím svařovacích elektrod a vytvořením kvalitního svarového bodu. V automobilovém průmyslu je spotřeba svařovacích elektrod v přepočtu na vyrobenou karoserii jeden z ekonomických ukazatelů svařovny. Model Škoda Octavia třetí generace má aktuální spotřebu 2,1 svařovací elektrody na vyrobenou karoserii. Tento parametr je ovlivněn stupněm robotizace, jelikož systém frézování svařovacích elektrod lze úspěšně aplikovat na plně robotických pracovištích. Technologie pro ruční frézování samozřejmě existuje, ale velmi obtížně se nastavuje proces ručního frézování.

V roce 2005 byly provedeny zkoušky na výrobní lince rámu dveří pro model Superb první generace vyráběný v Kvasinách. Dle normy ČSN EN ISO 8166 [5] musí být počáteční průměr odporového svarového bodu přibližně roven počátečnímu průměru pracovní plochy svařovací elektrody, která je v případě komolého kuželu elektrod rovna dle vzorce (5).

$$d_0 = 5 \times \sqrt{t_1} \quad (5)$$

Nastavení intervalu pro výměnu svařovacích elektrod na ručních pracovištích je v rozmezí 800 – 1000 svařovacích bodů při svařování nízkouhlíkových nelegovaných ocelových pozinkovaných plechů. Po tomto počtu zhotovených svařovacích bodů jsou svařovací elektrody vyměněny, jejich životnost byla při tomto nastavení dosažena a celý proces se opakuje. V experimentu byly svařovány nízkouhlíkové nelegované pozinkované plechy o tloušťce materiálu $t_1 = 0,8$ [mm] a $t_2 = 1,5$ [mm]. Použité svařovací elektrody FO-16-20. Z označení svařovacích elektrod se jedná o elektrodu o průměru 16 [mm] a délce $l = 20$ [mm] [53]. Pro zavedení ručního frézování bylo nutné definovat pracovní postup frézování svařovacích elektrod na ručních pracovištích. A to z důvodů bezpečnosti pracovníků a také životnosti frézy, aby nedošlo ke spuštění frézovacího procesu s průchodem svařovacího proudu. Pokud by při frézování procházel svařovací proud, došlo by k poškození frézovacího nože atd. Svařovací

řízení bylo od firmy GF Welding FASE 334m a umožňovalo nastavení bez svařovacího proudu. Tento režim je potřeba například pro nastavení a kontrolu svařovací síly mezi elektrodami. Frézovací cyklus byl nastaven v rozmezí 180 - 250 svařovacích bodů. Svařovací proud již nebyl v rámci cyklu zvyšován, aby kompenzoval opotřebení dosedací plochy svařovací elektrody. Kvalita svarových bodů byla kontrolována ultrazvukovým přístrojem a destrukční zkouškou, při které byl kontrolován minimální průměr svarové čočky. V popisovaném případě se jednalo o $d_0 = 3,1$ [mm]. Výsledkem experimentu bylo dosažení 6 000 svařovacích bodů na elektrodu. Slabinou ručního frézování je velký rozptyl u dosedacích ploch svařovacích elektrod. Tento parametr je zcela závislý na dodržování stanoveného pracovního postupu. V současné době stupeň automatizace ve svařovnách firmy Škoda Auto a.s. je na úrovni 83 [%], z čehož plyne minimum ručních pracovišť pro bodové odporové svařování. Jako příklad uvádím svařovnu Octavia, kde je pouze jedno ruční pracoviště pro bodování držáku blatníku.

Definice životnosti svařovacích elektrod znamená nejdříve stanovit kritéria pro kvalitu bodového svaru. To je v automobilovém průmyslu zásadní kritérium, jelikož tato problematika souvisí s bezpečností cestujících. Kvalitu odporové svaru popisuje VW norma 011 05 – 1 [4]. Z této normy plyne stanovení minimálního průměru svarové čočky jako výpočet:

$$d_{L_{\min}} \geq 3,5 \times \sqrt{t_1} \quad (6)$$

Před zahájením zkoušky je důležité nastavení horní a dolní svařovací elektrody. Pokud je příprava svařovacích elektrod při svařování ocelových plechů bez povlaku nebo s povlakem předepsána, mělo by být svařeno předem před určením životnosti svařovacích elektrod 50 bodových svarů. Velmi důležité pro dosažení dobré životnosti svařovacích elektrod je stanovení svařovacích parametrů při zkoušce. Pro nalezení těch nejvhodnějších svařovacích parametrů je vhodné vycházet z normy ČSN EN ISO 14327 odporové svařování – Způsoby určení diagramu oblasti svařování při odporovém bodovém, výstupkové a švovém svařování [6].

Podle vztahu (6) je definován minimální průměr svarové čočky. Tento parametr je hlavním kritériem při destruktivním hodnocení pevnosti bodových svarů. V praxi při stavbě technologických linek je svařovací proces ověřován,

podle výsledků destrukčních a nedestrukčních zkoušek. Po převzetí svařovacích linek následuje optimalizace svařovacího procesu. Jedním ekonomickým ukazatelem je právě spotřeba svařovacích elektrod při výrobě karoserií. V této fázi probíhá optimální nastavení životnosti svařovacích elektrod při dodržení kvalitativních kritérií pro bodové svary.

Nastavení programu pro robotické frézování svařovacích elektrod je nástrojem k vysoké životnosti svařovacích elektrod a také vede k dobré technické využitelnosti strojů a zařízení. Základní parametry pro nastavení frézování jsou:

- a) Síla při frézování mezi elektrodami je zpravidla do 2 000 [N]. Nastavení tlaku je u servopneumatických svařovacích kleští velmi přesné a rychlé pomocí servoboxu. U pneumatických kleští se používá proporcionální ventil. Síla při frézování ovlivňuje životnost elektrody a frézovacího nože.
- b) Počet otáček frézovacího nože je nastaven pro první frézování při výměně svařovacích elektrod na počet 5 až 6 otáček. Při frézování mezi jednotlivými frézovacími cykly je počet otáček frézovacího nože nastaven na hodnoty 3 - 4 otáčky.

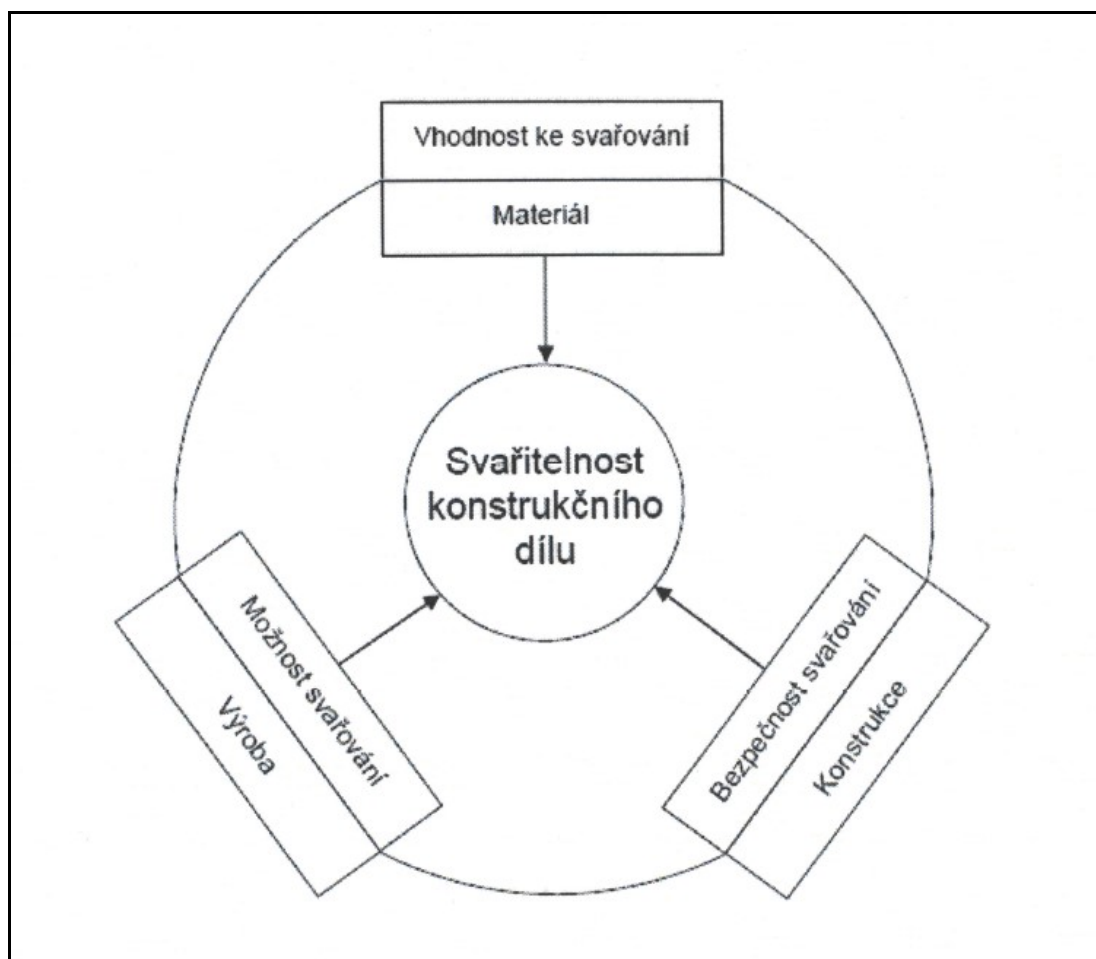
5.0 Svařitelnost

Svařitelnost kovových materiálů při odporovém bodovém svařování je definována podle norem ČSN EN ISO 18278-1 Odporové svařování – Svařitelnost – Část 1: Hodnocení svařitelnosti kovových materiálů pro odporové bodové, švové a výstupkové svařování [10] a ČSN EN ISO 18278-2 Odporové svařování – Svařitelnost – Část 2: Alternativní způsoby hodnocení ocelových plechů pro odporové bodové svařování [11], jako:

- na prvním místě schopnost vytvořit svar
- schopnost průběžného vytváření svaru
- schopnost svaru odolat stanovenému provoznímu zatížení

Dle koncernové normy VW 01105-1 Odporové bodové svařování. Konstrukce, výpočet. Nepovrstvené a povrstvené ocelové plechy [4].

- vhodnost ke svařování – materiál
- bezpečnost při bodovém odporovém svařování – konstrukce
- možnost svařování – výroba

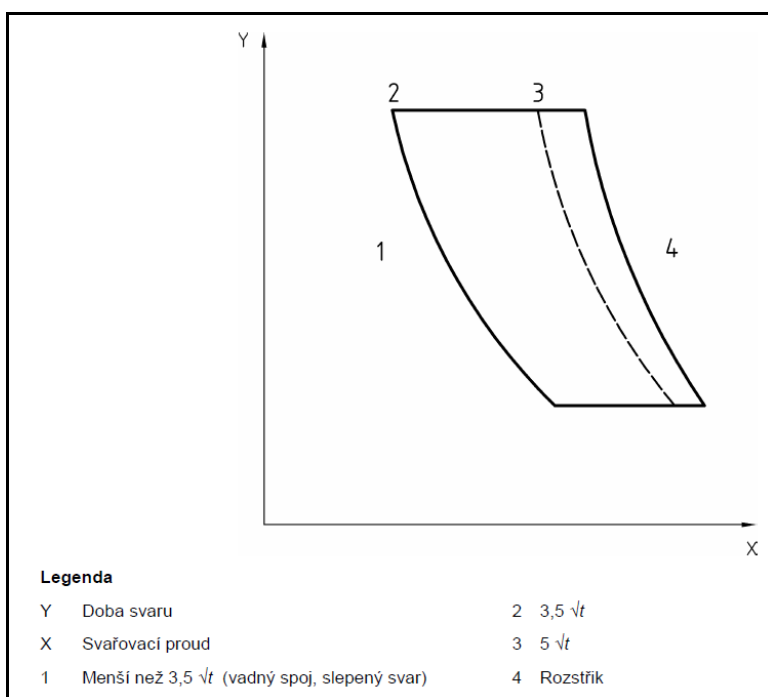


Obr. 10: Schématické zobrazení svařitelnosti dle normy VW 01105-1 [4]

Vhodnost pro bodové svařování je vlastnost materiálu, která je dána chemickým složením. Pokud vyhovuje chemické složení materiálu, lze vytvořit vyhovující bodový svar, který splňuje nastavená kritéria kvality bodových svarů. Ekvivalent uhlíku nám pomáhá pro určení vhodnosti pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí [4].

$$CE = C + \frac{Mn}{6} \quad (7)$$

Znalost životnosti svařovacích elektrod je důležitá pro stabilitu svařovacího procesu. Pro tyto účely lze stanovit diagram oblasti svařování pro konkrétní svařovaný materiál dle normy ČSN EN ISO 14327 Odporové svařování – Způsoby určení diagramu oblasti svařování při odporovém bodovém, výstupkovém a švovém svařování [13]. Diagram oblasti svařování při konstantní elektrodové síle se sestojí ze série růstových křivek svaru obr. 11. Stanovené meze jsou určeny změnami svařovacího proudu a doby svaru.

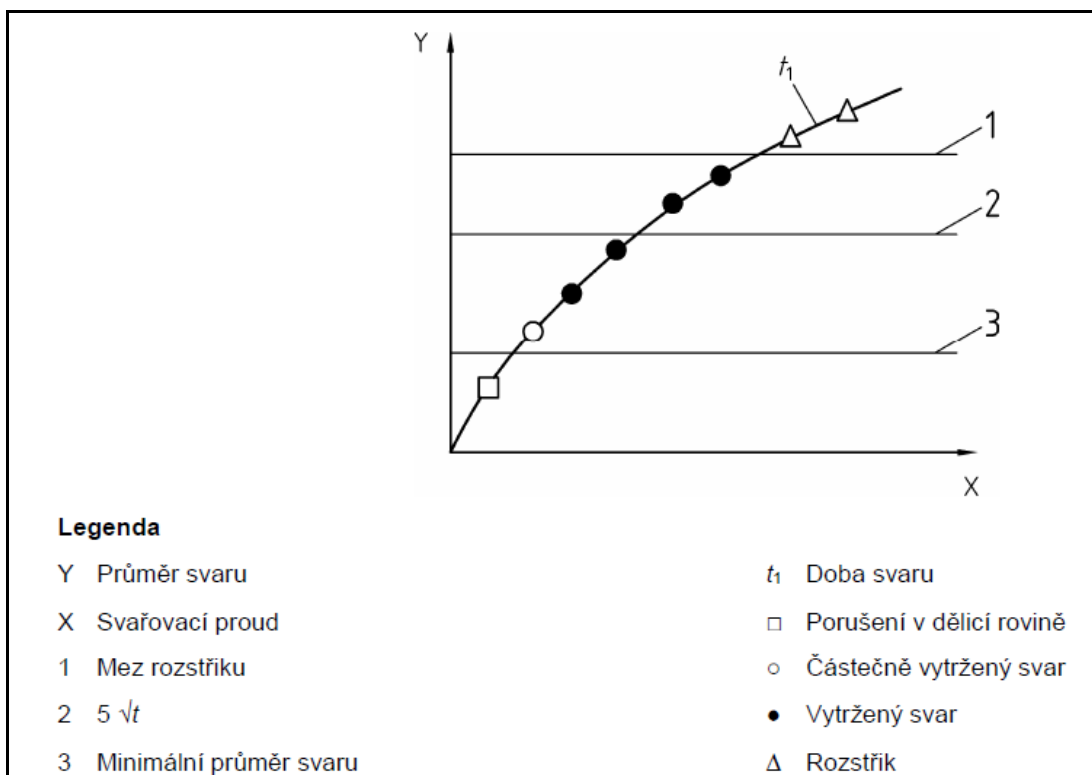


Obr. 11: Diagram oblasti svařování při konstantní elektrodové síle dle ČSN EN ISO 14327 [13]

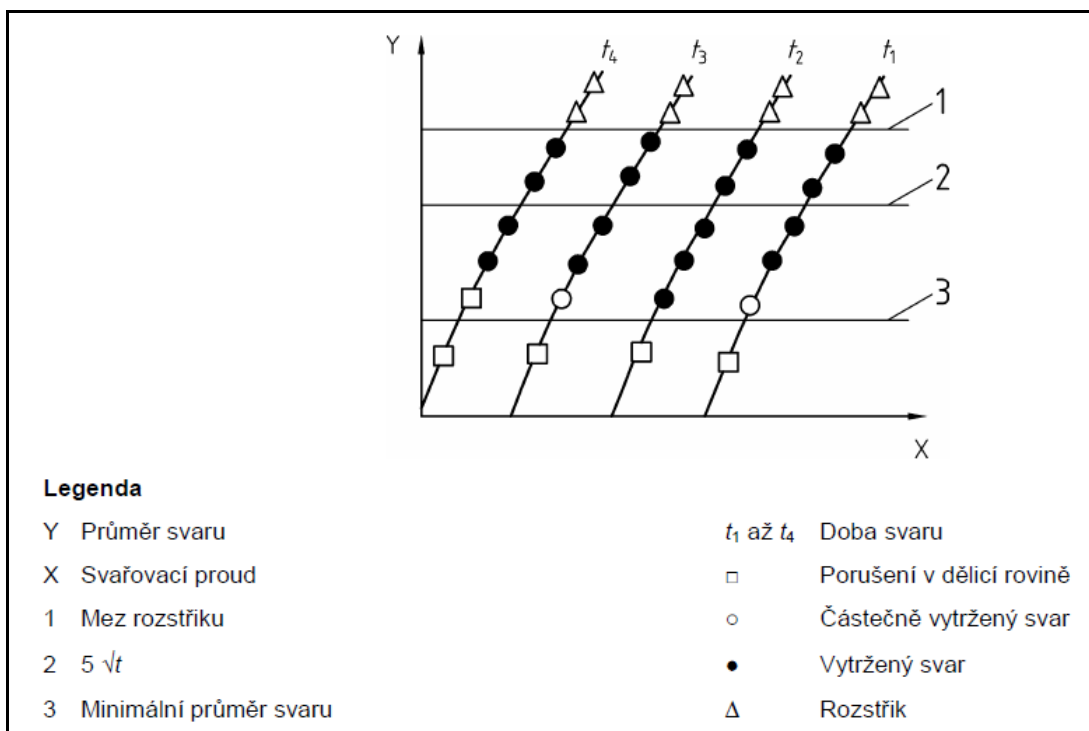
Postup pro určení diagramu oblasti svařování a svařovacího rozsahu při konstantní elektrodové síle má následující kroky dle normy ČSN EN ISO 14 327 [13]:

- a) začátek se svařovanými parametry podle norem ČSN EN ISO 14373 [14], WPS (Welding procedure test), doporučení nebo přípravné zkoušky.
- b) Zkoušení a optimalizace parametrů.

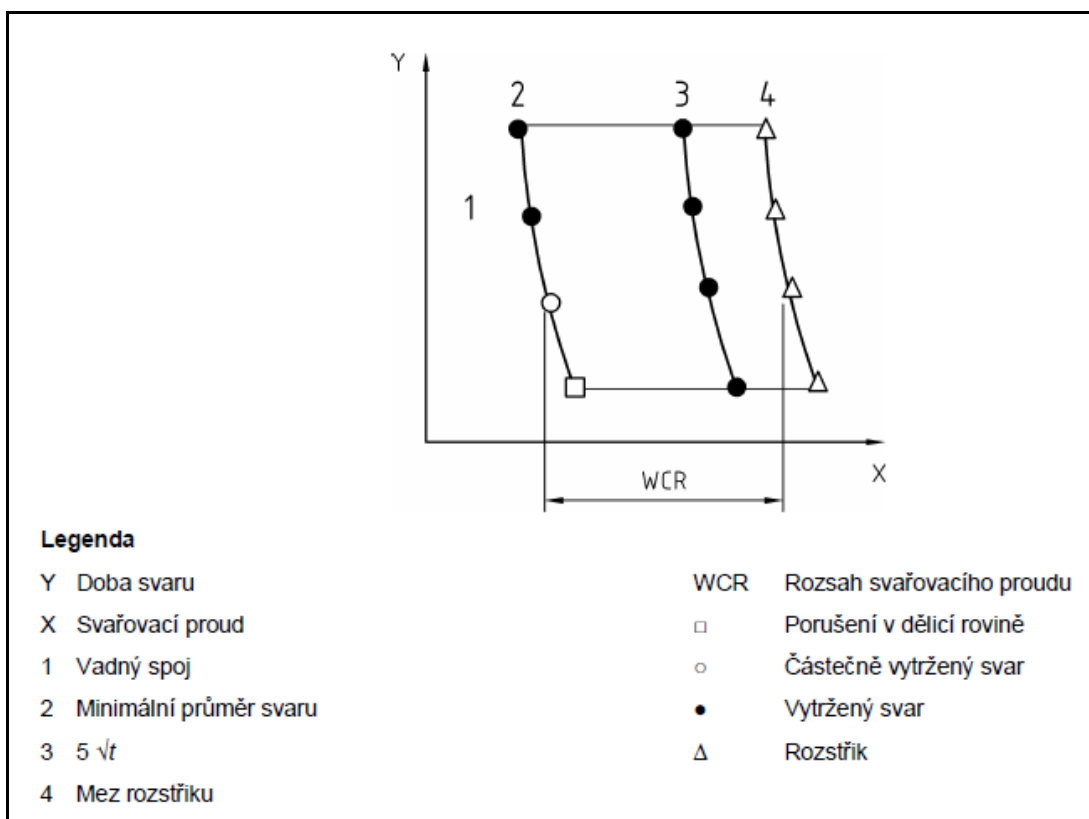
- c) Vytváření diagramu růstových křivek svaru zkouškami. Na obr. 12 je základní popis diagramu a jedné růstové křivky svaru se zvoleným svařovacím časem t_1 . Zkoušky se musí opakovat při různých dobách svaru t_1 až t_4 jak je uvedeno na obr. 13. Vlastnosti typů porušení odporového bodového svaru poskytují údaje o jakosti svařovacího procesu a svaru.
- d) Na základě vyhodnocení vad spojů, minimálního průměru svaru, průměru svaru $5\sqrt{t}$, průměru meze rozstřiku a způsobu porušení svaru se vytvoří diagram oblasti svařování při konstantní elektrodové síle, který je zobrazen na obr. 14.
- e) Výsledkem je rozsah svařovacího proudu pro plánovanou svařovací konstrukci. Předpokladem pro stabilní svařovací proces je široký rozsah svařovacího proudu.



Obr. 12: Diagram růstové křivky svaru při konstantní elektrodové síle, době svaru t_1 a různých svařovacích proudech dle ČSN EN ISO 14327 [13]

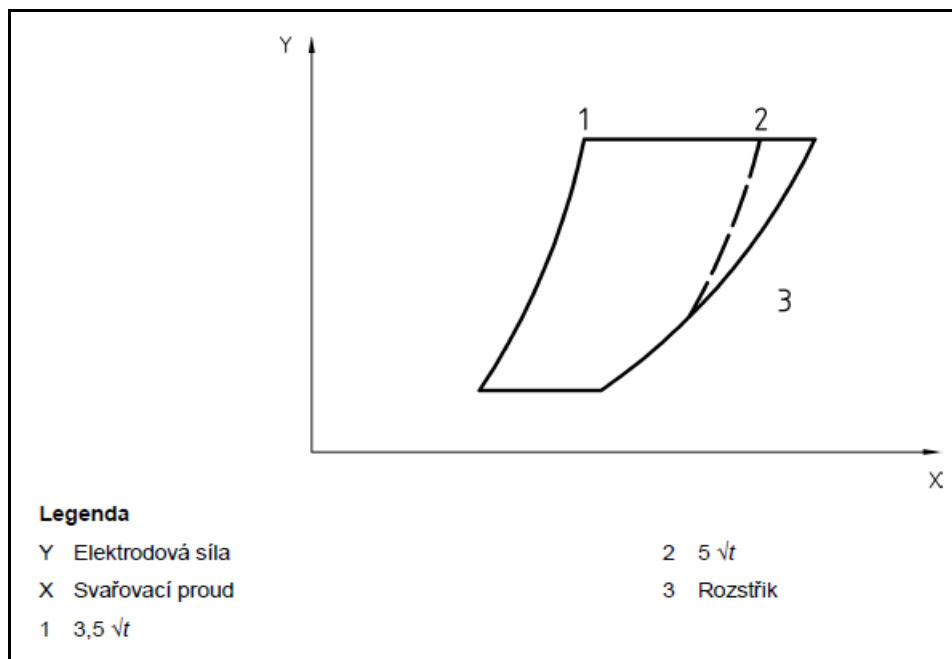


Obr. 13: Digram růstových křivek svaru při konstantní elektrodové síle, dobách svaru $t_1 < t_2 < t_3 < t_4$ a různých svařovacích proudech dle ČSN EN ISO 14327 [13]



Obr. 14: Digram oblasti svařování při konstantní elektrodové síle s příkladem rozsahu svařovacího proudu dle ČSN EN ISO 14327 [13]

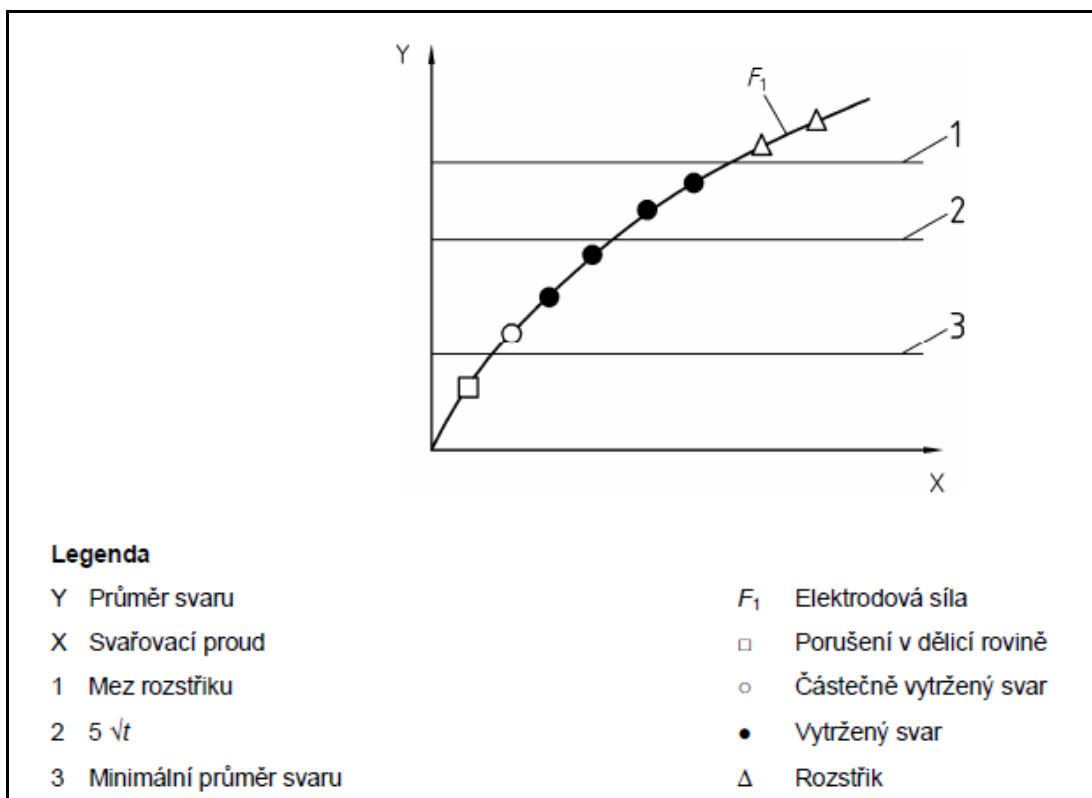
Diagram oblasti svařování při konstantní době svaru se vytvoří ze série růstových křivek svaru, jak je uvedeno na obr. 15.



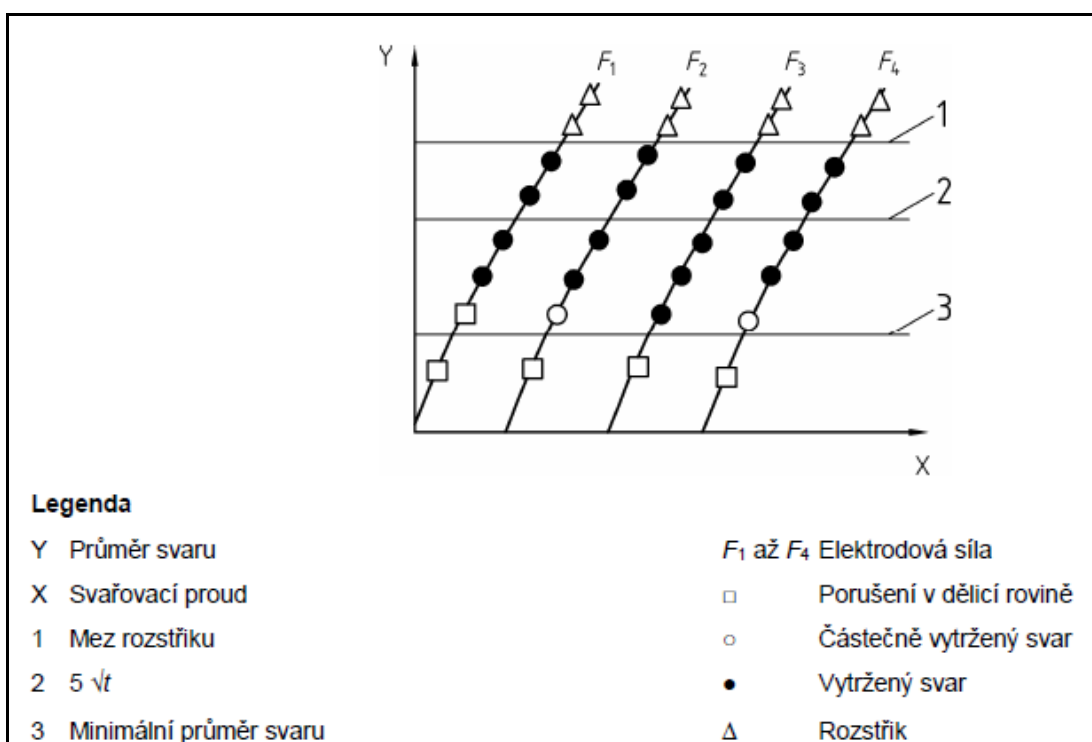
Obr. 15: Diagram oblasti svařování při konstantní době svaru dle ČSN EN ISO 14327 [13]

Postup pro určení diagramu oblasti svařování při konstantní době svaru: Body a), b), d), e) jsou shodné jako při sestavení diagramu oblasti svařování při konstantní elektrodové síle.

- c) Vytváření diagramu růstových křivek svaru zkouškami. Na obr. 16 je základní popis diagramu a jedné růstové křivky svaru při konstantní době svaru, se zvolenou silou mezi svařovacími elektrodami a různých svařovacích proudech. Zkoušky se musí opakovat při různých elektrodových silách F_1 až F_4 , jak je uvedeno na obr. 17. Vlastnosti typů porušení odporového bodového svaru poskytují údaje o jakosti svařovacího procesu a svaru.

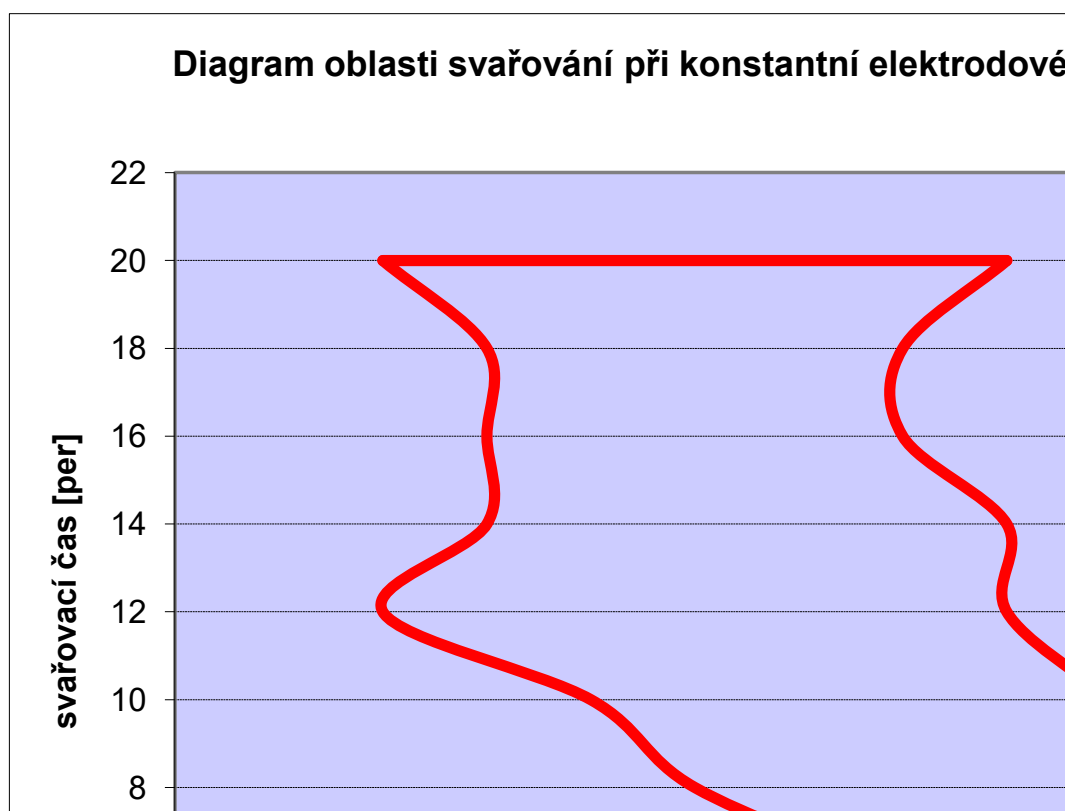


Obr. 16: Digram růstové křivky svaru při konstantní době svaru, elektrodové síly F_1 a různých svařovacích proudech dle ČSN EN ISO 14327 [13]

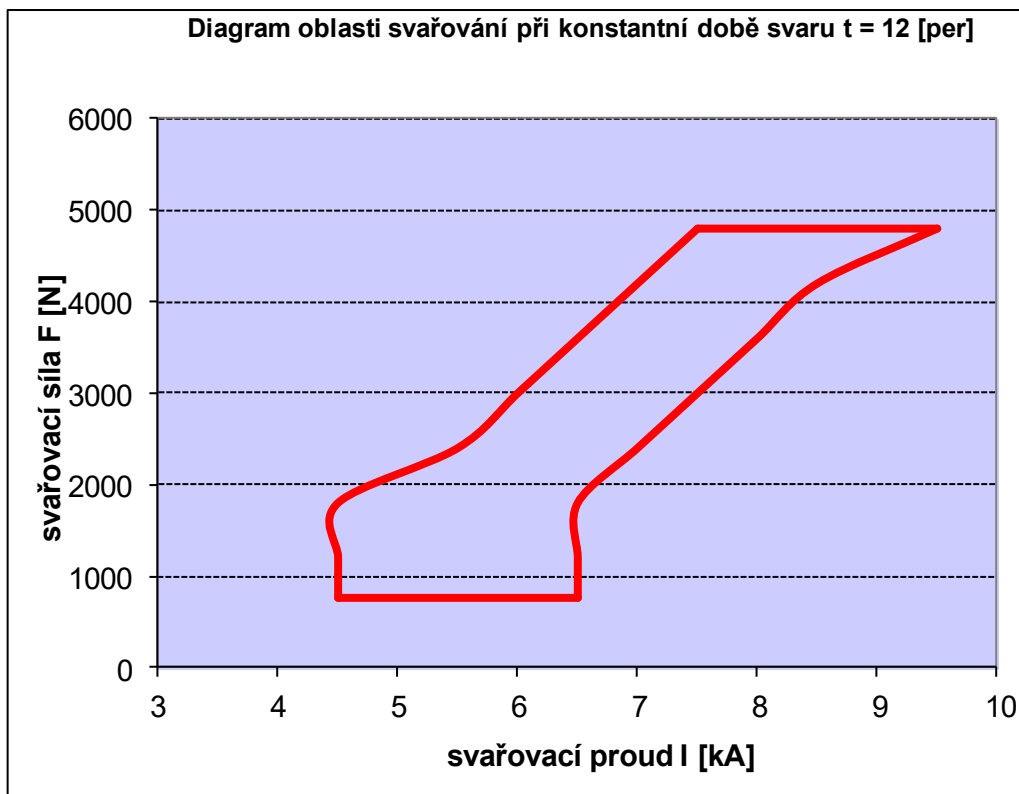


Obr. 17: Digram růstových křivek svaru při konstantní době svaru, elektrodových silách $F_1 < F_2 < F_3 < F_4$ a různých svařovacích proudech dle ČSN EN ISO 14327 [13]

Na základě tohoto teoretického rozboru byly provedeny zkoušky sestrojení diagramu oblasti svařování pro nízkouhlíkovou ocel pod označením DC 06 ZE 50/50 BPO o tloušťce svařovaných plechů $t_1 = 0,8$ [mm] a vysokopevnostní plech termomechanicky zpracovaný 22MnB5 TL 4225+AS150 $t_2 = 1,5$ [mm]. Konečný výsledek zkoušky pro vytvoření diagramu oblasti svařování dle normy ČSN EN ISO 14327 je uveden na obr. 18 a 19. Pro získání těchto hodnot je nutné sestrojení růstových křivek. Celkem bylo vytvořeno osm růstových křivek pro nalezení diagramu oblasti svařování při konstantní elektrodové síle a osm růstových křivek při konstantní době svaru. Na obr. 20 je sestrojena růstová křivka při konstantní svařovací elektrodové síle 3 000 [N], době svaru 280 [ms] a různých svařovacích proudech. Dle normy ČSN EN ISO 14 329 [15] byly realizovány destrukční zkoušky pro získání rozměru svarové čočky. Tyto hodnoty jsou zaznamenány v tab. 1. Zbývající růstové křivky jsou uvedeny v přílohách 2 - 17. Na obr. 21 jsou růstové křivky vyneseny do grafu, aby následně mohl být sestaven diagram oblasti svařování v mezích minimálního průměru svarové čočky a hodnoty rozstříku.



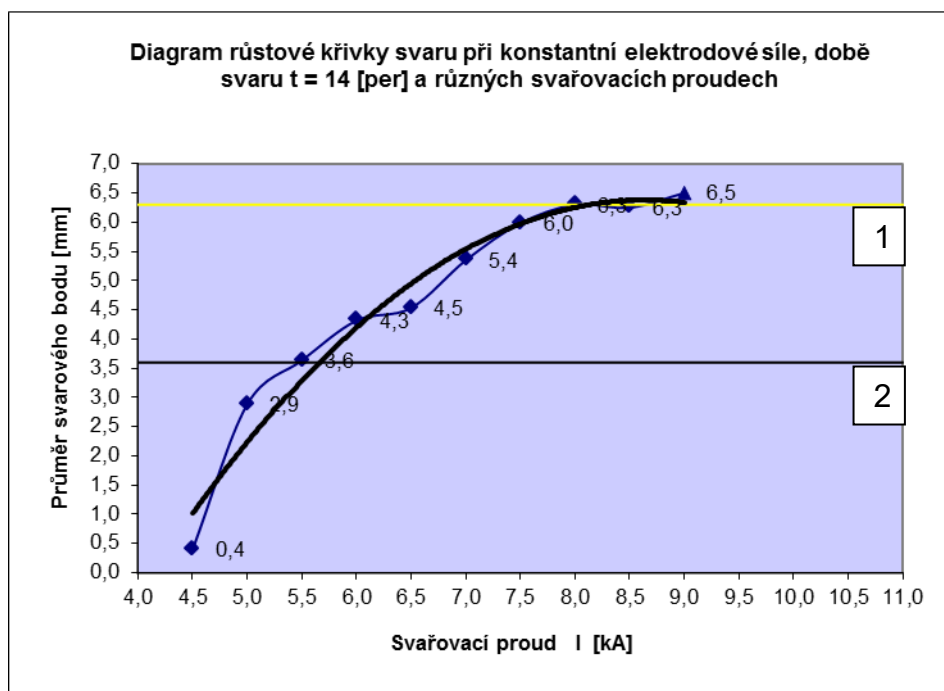
Obr. 18: Diagram oblasti svařování při konstantní elektrodové síle 3 000 [N]



Obr. 19: Diagram oblasti svařování při konstantní době svaru 12 [per]

Tab. 1: Diagram oblasti svařování při konstantní elektrodové síle 3 000 [N], svařovací čas 14 [per] a různých svařovacích proudech

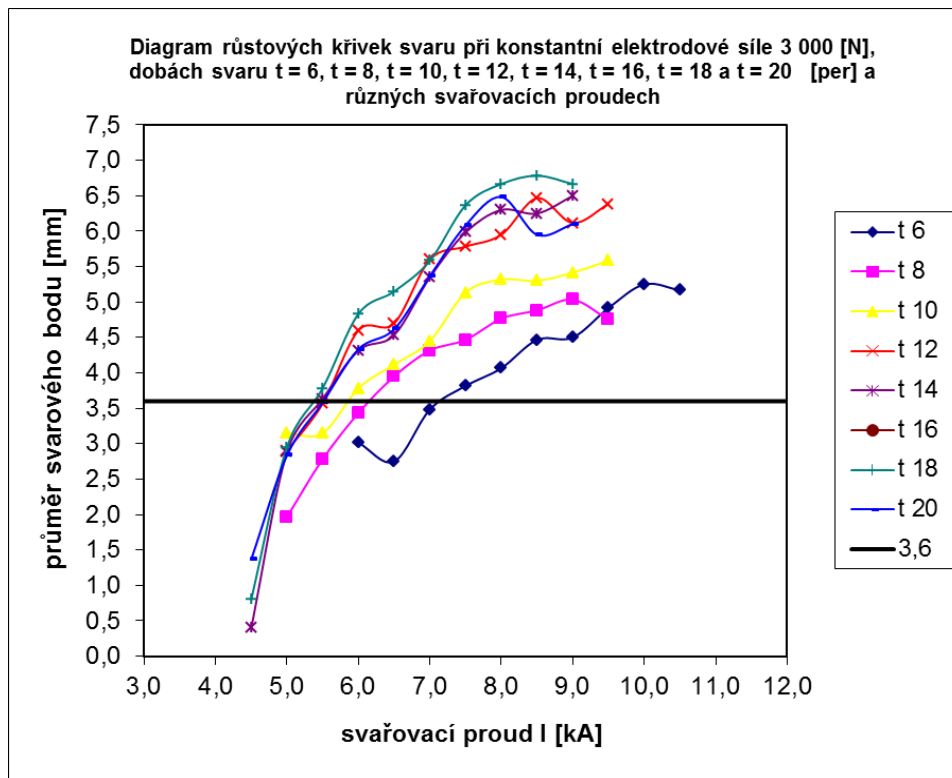
Svařovací čas t [per]	Svařovací proud I [kA]	Průměr svarového bodu [mm]						arit. průměr [mm]
		1	2	3	4	5	6	
t = 14 [per]	4,5	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
t = 14 [per]	5,0	3,0	2,8	2,7	2,8	3,1	2,9	2,9
t = 14 [per]	5,5	3,6	3,6	3,7	3,6	3,6	3,7	3,6
t = 14 [per]	6,0	4,0	4,2	4,0	4,3	4,0	5,4	4,3
t = 14 [per]	6,5	4,4	4,5	4,6	4,5	4,8	4,4	4,5
t = 14 [per]	7,0	5,3	5,3	5,3	5,2	5,6	5,4	5,4
t = 14 [per]	7,5	6,0	6,0	6,2	5,7	6,2	5,8	6,0
t = 14 [per]	8,0	6,1	6,3	6,3	6,2	6,5	6,4	6,3
t = 14 [per]	8,5	6,1	6,2	6,4	6,2	6,3	6,3	6,3
t = 14 [per]	9,0	6,4	6,3	6,6	6,6	6,8	6,3	6,5



Obr. 20: Růstová křivka při konstantní elektrodové síle 3 000[N], svařovací čas 280 [ms] a různých svařovacích proudech

1 – mez rozstříku při bodovém odporovém svařování

2 – minimální průměr svarové čočky



Obr. 21: Růstové křivky při konstantní elektrodové síle 3000 [N]

Diagram oblasti svařování stanovuje rozmezí pro nastavení základních svařovacích parametrů, jako jsou svařovací čas, sekundární svařovací proud a svařovací síla. Cílem při vytvoření jednotlivých diagramů oblasti svařování je určení rozsahu svařovacích parametrů, které zabezpečí vytvoření kvalitního bodového svaru definovaného dle nastavených přesných mezí. Aplikací tohoto postupu je možné určit:

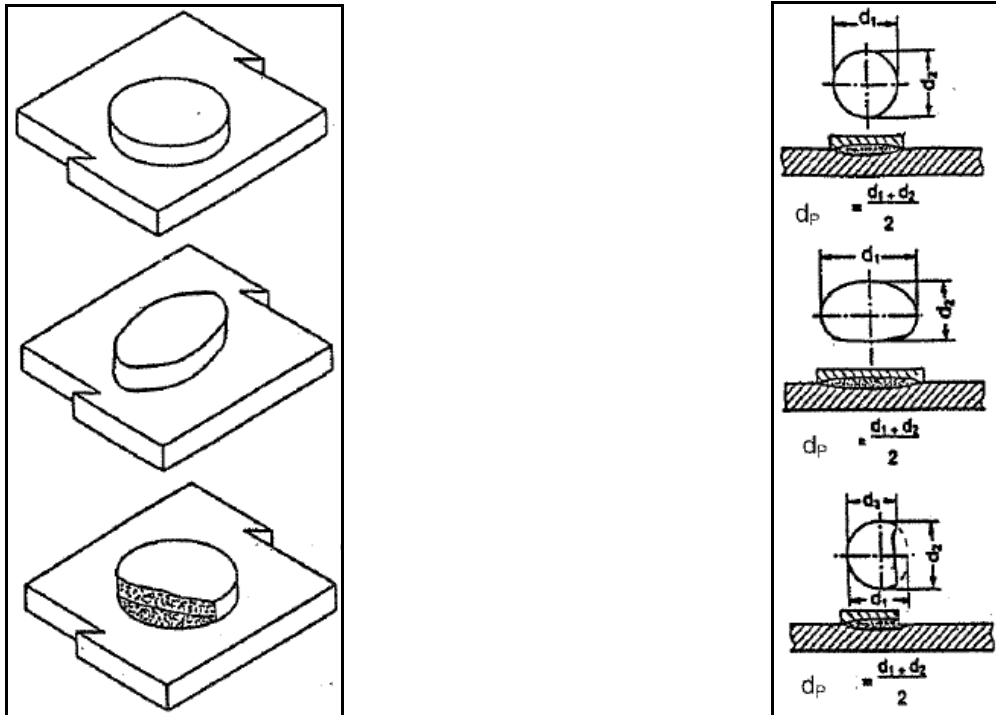
- a) vliv materiálu svařovacích elektrod, tvaru a rozměru svařovacích elektrod na použitelný rozsah svařování pro určený materiál
- b) vliv materiálu a jeho tloušťky na použitelný rozsah svařování při použití určité kombinace svařovacích elektrod a svařovacího zařízení
- c) vliv typu svařovacího zařízení na použitelný rozsah svařování pro určený materiál při použití definovaného tvaru svařovacích elektrod
- d) použitelný rozsah svařovacích parametrů ve výrobních podmínkách

6.0 Hodnocení kvality bodových odporových svarů

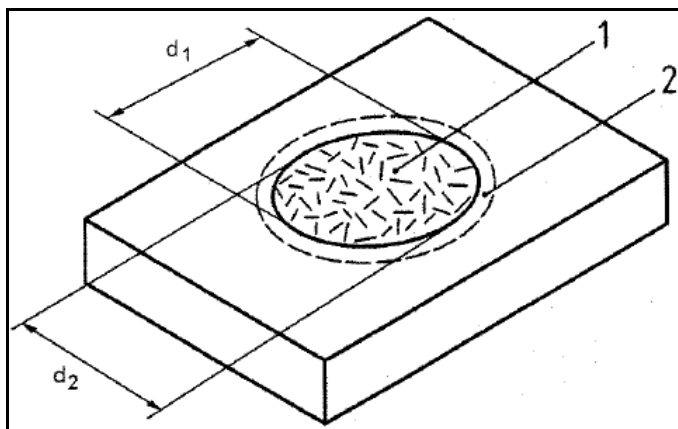
Při hodnocení kvality odporového bodového svaru je nejdříve nutno v procesu výroby stanovit kritéria, podle kterých se svařovací proces bude hodnotit. Dnes hovoříme o validaci výrobního procesu. Aby byla při výrobě bodových odporových svarů splněna kritéria kvality ve smyslu pevnostního hlediska, tak i konstrukčního cíle při dostatečné bezpečnosti a optimálních nákladech, musí být každá svařovaná konstrukce správně řešena z hlediska svařování. Již ve fázi předběžného vývoje je vhodné zohlednit rozměry svařovacího stroje a přístupnost svařovacích elektrod. Pro správné nastavení svařovacího procesu je nutno definovat určité pojmy, které jsou potřebné pro správné vyhodnocení kvality bodových odporových svarů.

6.1 Geometrie svarového bodu

Postup pro odporové bodové svařování při výrobě sestav z nízkouhlíkových ocelí složených ze dvou nebo tří kovových plechů definuje norma ČSN EN ISO 14373 Odporové svařování – Postup pro bodové svařování nepovlakovaných a povlakovaných nízkouhlíkových ocelí [14]. Pro zajištění procesu je nutno každý bodový svarový spoj značit souborem jeho charakteristických hodnot, které jsou podle požadavků kvality měřitelné. Stanovení geometrie rozměrů svarové čočky dle normy ČSN EN ISO 14373 je zobrazen na obr. 22 a 23.

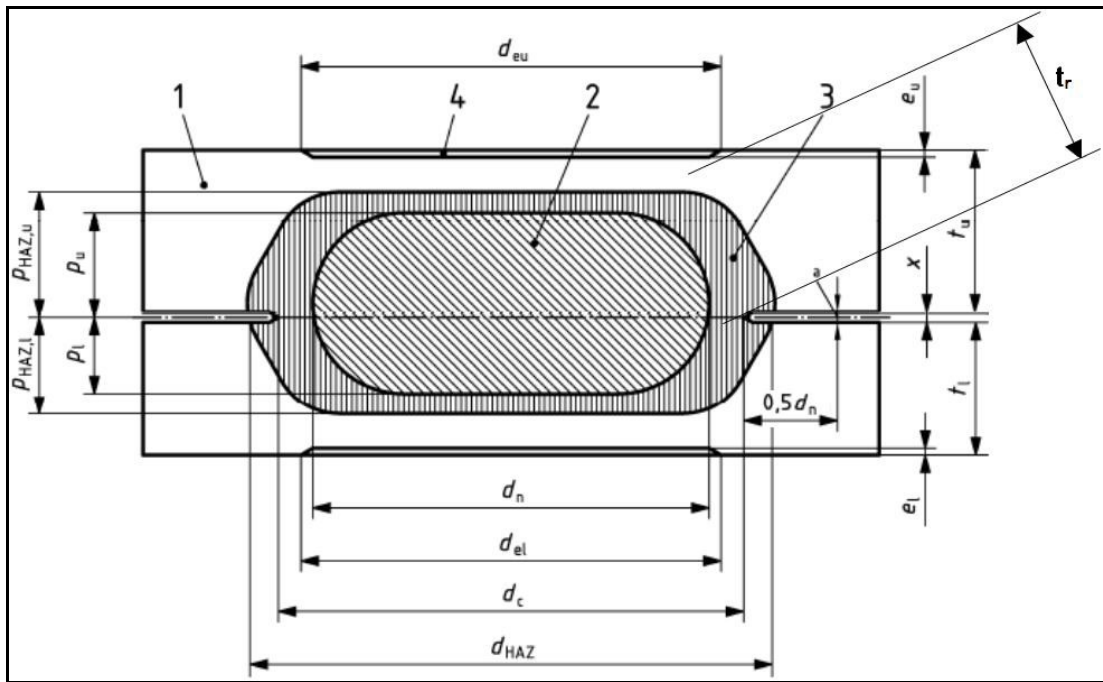


Obr. 22: Geometrie svarového bodu dle normy ČSN EN ISO 14373 – symetrické, asymetrické a částečné vytržení



Obr. 23: Geometrie svarového bodu dle normy ČSN EN ISO 14373 – průměr svarového bodu, 1. Lom ve spojovací rovině, 2. Zóna přilnutí

Pro zjištění geometrie svarového bodu lze aplikovat příčný výbrus podle koncernové normy VW 01105-1 [4], který je uveden na obr. 24.



Obr. 24: Geometrie svarového bodu podle koncernové normy VW 01105-1

Legenda

- 1 základní materiál
- 2 svarová čoučka
- 3 pásmo prostupu tepla (WEZ)
- 4 tlak elektrody
- d_c průměr pásma ulpívání
- d_{el} průměr vtisku elektrody dole
- d_{eu} průměr vtisku elektrody nahoře
- d_{HAZ} průměr WEZ
- e_l hloubka vtisku elektrody
- e_u hloubka vtisku elektrody nahoře
- $p_{HAZ,l}$ hloubka průniku WEZ do spodního plechu
- $p_{HAZ,u}$ hloubka průniku WEZ do horního plechu
- p_l hloubka průniku čoučky dole
- p_u hloubka průniku čoučky nahoře
- t_l tloušťka spodního plechu
- t_r zůstatková tloušťka na okraji čoučky
- t_u tloušťka horního plechu
- x šířka štěrbiny

Příčný výbrus se používá k určení:

- a) průměru svarové čočky a polohy svarové čočky k rovině spoje
- b) geometrie svarové čočky – ostatní parametry viz legenda k obr. 24
- c) nerovnoměrností v oblasti svarové čočky – vrypy, póry

Kvalitní bodový svar by měl mít rozměr podle vztahu (8) a požadovaný průměr svarové čočky je uveden ve výkresové dokumentaci.

$$d_{L\min} = 3,5 \times \sqrt{t_1} \quad (8)$$

Průměr bodového svaru je rozhodující pro pevnost svařované konstrukce a je uveden ve výkresové dokumentaci.

Vtlačení elektrod do základního materiálu je způsobeno fyzikální podstatou odporového bodového svařování. Parametr vtisku se hodnotí z hlediska vizuálního. V zónách viditelných pro zákazníka se hodnotí hloubka vtisku do 10 [%] a pravidelný kruhovitý tvar jako průměr vtlačení.

Průměr bodového svaru je důležitý k nastavení požadované hodnoty průměru svarové čočky a je definován vztahem (9).

$$dp = 1,15 \times d_{L\min} \quad (9)$$

K určení průměru bodového svaru využíváme sekáčovou destrukční zkoušku, která je velmi jednoduchá, rychlá a proveditelná přímo na pracovišti. Obzvláště při náběhových fázích oživování výrobní technologie je tento typ zkoušky velmi využíván. Při určování průměru bodu je pomocí posuvného měřítka zjištěna hlavní a vedlejší osa. Výsledkem je střední hodnota z naměřených průměrů. V případě, že není možné přesné měření ve dvou směrech, tak je nutno použít menší průměr pro výslednou hodnotu průměru svarového bodu.

Tab. 1 – Stanovení minimálního průměru čoček, bodů a minimální tažné síly ve stříhu po celé tloušťce plechu u nelegovaných ocelových plechů podle DIN EN 10130

Minimální tloušťka plechu t_t	Minimální průměr čočky $d_{n\min} = 3,5 \times \sqrt{t_t}$	Minimální průměr bodu d_w min ³⁾	Minimální tažné síly ve stříhu F_s min ⁴⁾
mm	mm	mm	kN
0,5	2,5	(2,9)	1,2
0,6	2,7	(3,1)	1,5
0,7	2,9	(3,3)	1,9
0,8	3,1	(3,6)	2,3
0,9	3,3	(3,8)	2,7
1,0	3,5	(4,0)	3,2
1,25	3,9	(4,5)	4,2 ⁵⁾
1,5	4,3	(4,9)	5,1
1,75	4,6	(5,3)	6,1 ⁶⁾
2,0	5,0	(5,7)	7,2
2,25	5,3	(6,0)	8,3
2,5	5,5	(6,4)	10,6
2,75	5,8	(6,7)	11,5 ⁶⁾
3,0	6,1	(7,0)	12,4
3,5	6,5	(7,5)	15,0
4,0	7,0	(8,0)	18,5

6.2 Povrchová kvalita bodového svaru

V zásadě je důležité eliminovat výskyt rozstříků na bodových svarech. V automobilovém průmyslu je tento požadavek velmi důležitý v podvozkové části karoserie, kde je v procesu lakovny nanášena protikorozní aplikace. Přítomnost těchto rozstříků, hlavně při svařování vysokopevnostních plechů, snižuje odolnost vůči povrchové korozi. Obecně lze konstatovat, že rozstřík nebo výstřík je při odporovém svařování způsoben přebytkem energie ve svaru. Tavenina již není udržena mezi svařovacími elektrodami a dochází k výstříku mezi plechy. Tyto části přilnou na karoserii nebo v okolí bodového svaru. Takto zhotovený svar má hluboký vtisk a snížené mechanické vlastnosti.

Povrchová kvalita bodových svarů je v praxi někdy přeceňována a její váha převáží nad fyzikálním principem při vytvoření bodového svaru. Jedním z požadavků je neviditelnost bodového svaru v zónách povrchu 1. Tato snaha vede ke dvěma možným řešením:

a) Zavedení finiše, což má za následek zeslabení materiálu a také podstatný vliv na protikorozní ochranu. Veškeré vnější plechy svařované karoserie jsou elektrochemicky pozinkované a tato protikorozní ochrana je v podstatě znehodnocena broušením dané partie, ve které je požadován neviditelný bodový svar.

b) Druhé řešení je bodové svařování přes ploché elektrody, které jsou vloženy mezi svařovací elektrody a svařovaný materiál. Navrhované řešení se nedoporučuje, jelikož vede k nestabilitě svařovacího procesu. Nestabilita procesu je způsobena zvýšením přechodových odporů a vložená měď svojí plochou zmenšuje intenzitu odporového ohřevu.

Dle normy ČSN EN ISO 6520-2 Svařování a příbuzné procesy – Klasifikace geometrických vad kovových materiálů – část 2: Tlakové svařování [17] jsou povrchové vady popsány takto:

- vtisky na povrchu materiálu
- povrchový výčnělek
- materiál svařovací elektrody nalepený na povrchu dílu
- nesprávný vtisk elektrody
- nadměrný vtisk elektrody
- nadměrná hloubky vtisku elektrody
- nerovnoměrný vtisk elektrody

Interní norma VW 011 05 -1 [4] definuje čtyři stupně kvality povrchu bodového svaru.

Stupeň kvality povrchu OG1

Stupeň kvality povrchu platí pro povrchy plechů, které musí být po povrchové úpravě kovů tak dalece bez značkování a nerovností, že jsou po

lakování neviditelné (viditelná oblast). Povrchovou úpravou kovu však nesmí být odstraněno více než 10 [%] tloušťky plechu.

Stupeň kvality povrchu OG2

Tento stupeň kvality povrchu zahrnuje minimum značkování na povrchu a je používán tam, kde je ještě akceptováno minimální vtlačení až 15 [%] pod normální povrch.

Stupeň kvality povrchu OG3

Tento stupeň kvality povrchu charakterizuje vtlačení na povrchu plechu až 20 [%] příslušné tloušťky plechu. V tomto rámci jsou povoleny také pevně přilnavé rozstříky, pokud výkres nepředepisuje povinnost bez ořepů a rozstříků.

Stupeň kvality povrchu OG4

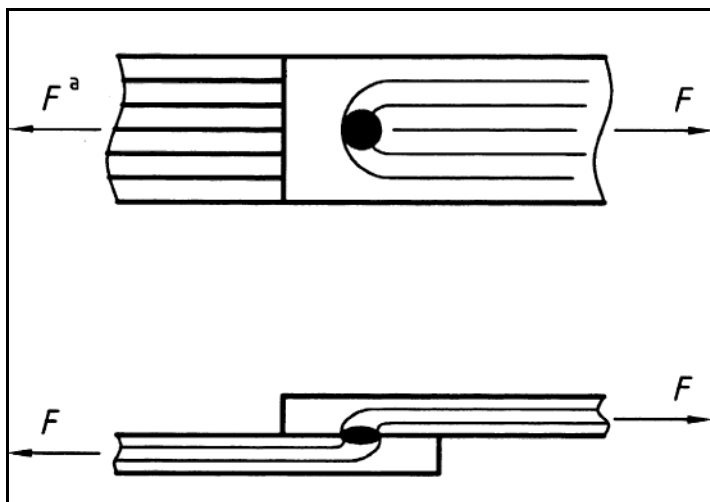
Stupeň kvality povrchu charakterizují vtlačení bez speciálních kvalitativních požadavků. Pokud není kvalita povrchu bodového svaru ve výkresové dokumentaci specifikovaná, tak platí stupeň OG4.

Na závěr kapitoly o kvalitě povrchu odporových bodových svarů nutno podotknout obtížnost hodnocení v praxi. Jak bylo popsáno dříve, vytvořit neviditelný bodový svar za působení svařovací síly v řádech [kN], s protékajícím svařovacím proudem v hodnotách [kA] a při svařovacím čase v jednotkách [ms, per] je prakticky nemožné. Každé opatření eliminující tyto deformační stránky procesu vedou k nestabilitě svařovacího procesu. Z těchto důvodů doporučuji vždy viditelnost bodového svaru na svařenci a s kruhovitým půdorysem a vtiskem svařovacích elektrod mezi 10 až 20 [%].

6.3 Destruktivní zkoušky bodových svarů

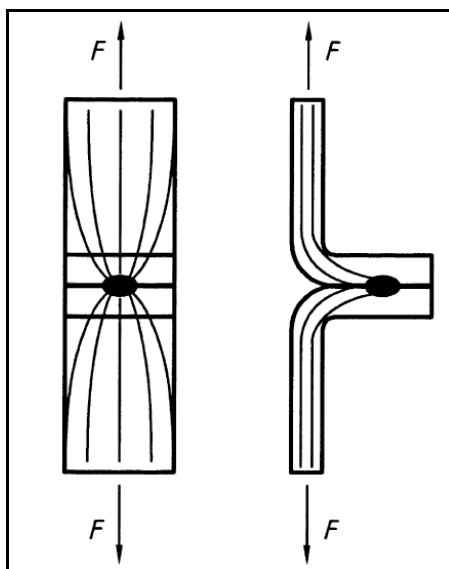
Destruktivní zkoušky poskytují základní představu o únosnosti bodových svarů. Základní rozdělení těchto zkoušek je podle působení zátěžových sil na statické a dynamické. Norma ČSN EN ISO 14329

stanovuje definice geometrických měření a typů lomů, které jsou používány v souvislosti se zkoušením odporových bodových svarů, švových a výstupkových svarů, u kterých rozdílné zátěžové konfigurace jsou příčinou rozdílného rozložení napětí ve svaru [15]. Rozložení napětí v závislosti na směru zkušebního zatížení je uvedeno na obr. 25, 26 a 28.



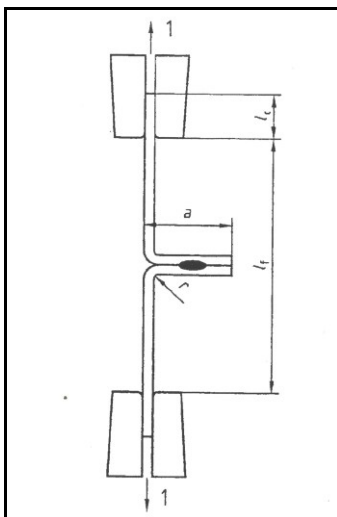
Obr. 25: Rozložení napětí při zkoušení stříhem dle normy ČSN EN ISO 14329

Stříhová zkouška: jednotlivý bodový svar je na zkušebním trhacím stroji zkoušen až do selhání bodového svaru nebo konstrukčního dílu. Přitom se měří trhací síla potřebná k selhání. Stříhovou zkoušku je nutno podle možností používat u všech bodových svarů. K tomu se podle okolností používají pomocné přípravky. Rozměry vzorků a postup zkoušky popisují normy ČSN EN ISO 14273 [18] a ČSN EN ISO 14324 [19].

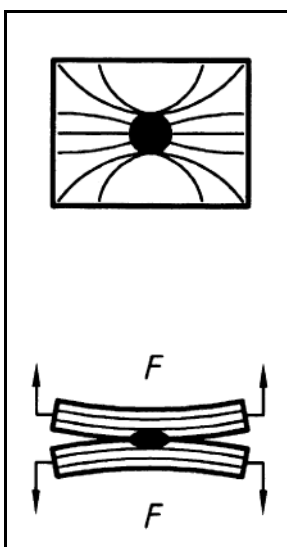


Obr. 26: Rozložení napětí při zkoušení odlupováním dle normy ČSN EN ISO 14329

Zkouška odlupovací (sekáčem): při zkoušce sekáčem dle normy ČSN EN ISO 14270 [20] se odpovídajícím způsobem tvarovaný sekáč zasune mezi svařené plechy tak, až dojde k destrukci bodového svaru. Přitom může dojít k vytrhnutí bodového svaru nebo k porušení v oblasti spoje. Možné jsou i kombinace obou druhů lomu (tzv. smíšené lomy). Při zkouškách více bodových svarů v řadě a v úzkém odstupu se doporučuje, aby se jednotlivé bodové svary zkoušely samostatně. V tomto případě je nutno bodové svary například vyčlenit řezy pilou. U dílenských zkoušek může dojít k vytržení mimo oblast svarové čocky a tím vzniknou jádra, jejichž průměr je podmíněný vytvrzením materiálu při svařování a je větší než svarová čocka.



Obr. 27: Odlupovací zkouška



Obr. 28: Rozložení napětí při křížovém zkoušení tahem podle normy ČSN EN ISO 14329

Metalografická zkouška dle normy ČSN EN ISO 17639 [22] se používá k odhalení makroskopických nebo mikroskopických charakteristik svarového spoje, obvykle kontrolou příčného řezu. Je prováděná u všech bodových svarových spojů přenášejících sílu, u kterých není možná statická zkouška roztržení. Při metalografickém hodnocení se posuzuje struktura i mikrostruktura bodového spoje a výstupem je přehled o:

- strukturní stavbě bodového svaru
- strukturní stavbě teplem ovlivněné oblasti
- charakteru okolní zóny svarové čočky ve styku svařovaných plechů
- homogenitě bodového svaru
- geometrii bodového svaru
- vadách bodových svarů dle normy ČSN EN ISO 6520-1 (povrchové trhliny, póry, trhliny za tepla a studena, vměstky, dutiny)
- velikosti vtisku svařovacích elektrod

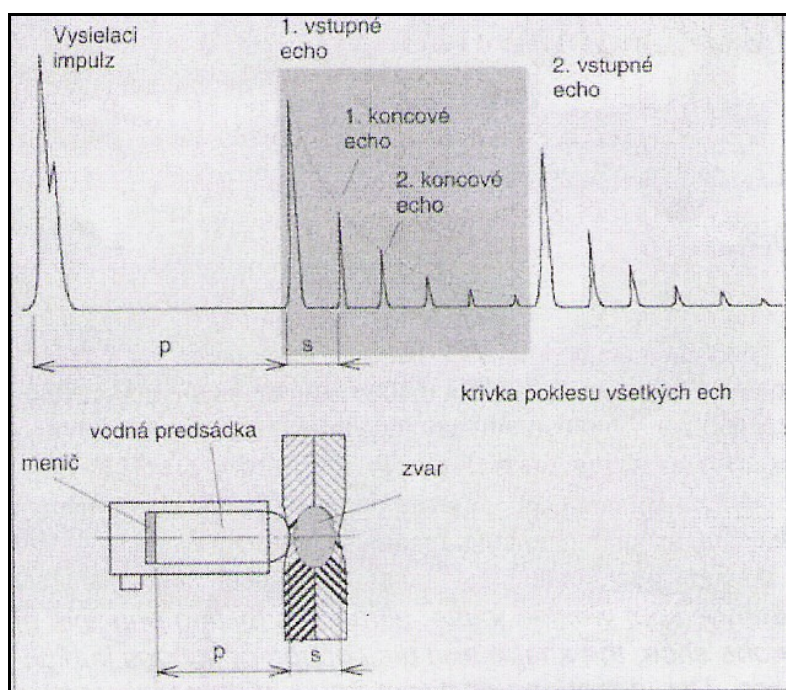
Metalografická zkouška je součástí ověřování svařovacího procesu a přispívá k odhalení vad při bodovém svařování.

6.4 Nedestruktivní zkoušky bodových svarů

Jak vyplývá z názvu kapitoly, při těchto zkouškách nedojde k porušení svařence. Výrobci tudíž nevznikají náklady na vzorky pro ověření svařovacího procesu. Toto je velmi významný faktor, jelikož výše těchto nákladů není zanedbatelná. Pro porovnání uvádím celkové náklady pro svařovnu Octavia za rok 2015 v hodnotě přes tři milióny korun českých na destruktivní zkoušky.

Vizuální metoda je optická kontrola bodového svaru, při které lze posoudit povrchové vady, hloubku vtisku a velikost svarového bodu.

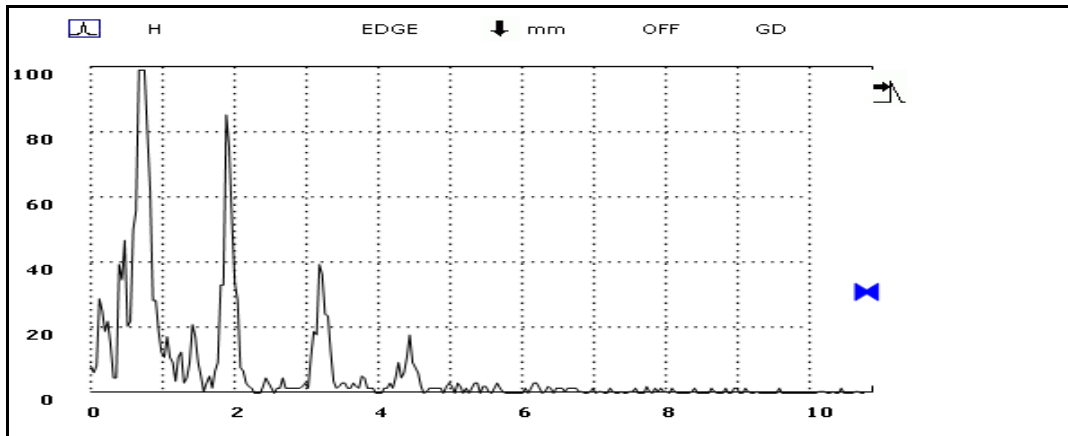
Ultrazvuková metoda je založena na průchodu mechanického vlnění v materiálu. Ultrazvuková vlna se v materiálu řídí fyzikálními zákonitostmi a může se tedy odrazet, lámat a absorbovat. Ultrazvuková sonda vysílá vlny a zároveň přijímá odražené vlny, které se potom vyhodnocují v tzv. A-scan zobrazení na monitoru v echogramu. Ultrazvuková sonda je velmi citlivá na to pod jakým úhlem jí pracovník přiloží k povrchu bodového svaru a s jakým přitlakem. Na obr. 29 je popsán průběh ultrazvukové zkoušky bodového svaru [23].



Obr. 29: Princíp ultrazvukové metody

Ultrazvukový impulz z piezoelektrického měniče sondy po překonání dráhy „p“ v předsádce vstupuje do materiálu, přičemž se částečně odrazí od rozhraní předsádka – materiál a po dopadu na měnič se vytvoří tzv. vstupní echo. Částečně zeslabený impulz se šíří do materiálu. Jakmile dojde k průchodu rozhraním, v našem případě bezchybného svaru to je protilehlý povrch druhého plechu. Zde dojde k odrazu a impulz se vrací zpět k měniči. Projde svarem a na rozhraní materiál – předsádka část impulsu pokračuje předsádkou až na rozhraní měniče, kde se vytvoří tzv. první koncové echo. Druhá část se však opět odrazí na rozhraní a celý proces se opakuje se stále menší amplitudou signálu. Na základě poklesu koncových ech a stejné vzdálenosti mezi nimi vyškolený pracovník rozhodne o kvalitě bodového

svaru. Na obr. 30 je uveden A-scan vyhovujícího bodového svaru a na obr. 31 je uveden A-scan nevyhovujícího bodového svaru. A-scan je název pro digitální zobrazení při ultrazvukové zkoušce. Tyto náměry lze archivovat a jsou součástí protokolu zkoušek.



Obr. 30: Vyhovující echogram, tloušťka plechu 1 [mm], snímek z ultrazvukového přístroje Panametrics Epoch IV.

osa Y - zesílení signálu [db]

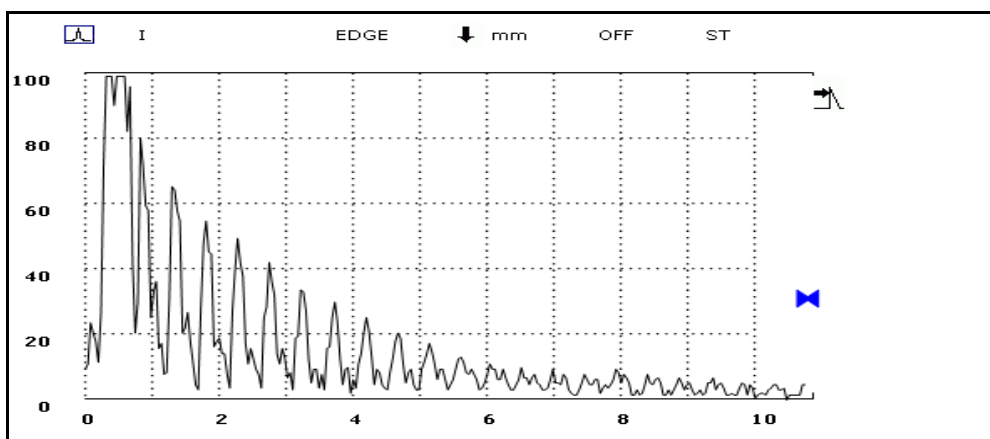
osa X - tloušťka materiálu [mm]

Mezi dobou kmitu T a vlnovou délkou λ platí vztah č. 10.

$$\lambda [\text{mm}] = c [\text{mm/s}] \cdot T [\text{s}] = c [\text{km/s}] \cdot T [\mu\text{s}] \quad (10)$$

nebo v ultrazvukové defektoskopii používaný vztah č. 11.

$$\lambda [\text{mm}] = c [\text{km/s}] / f [\text{MHz}] \quad (11)$$



Obr. 31: Nevyhovující echogram, tloušťka plechu 1 [mm], snímek z ultrazvukového přístroje Panametrics Epoch IV.

osa Y - zesílení signálu [db]

osa X - tloušťka materiálu [mm]

Ultrazvuková metoda vyžaduje kvalifikovaný personál, který je schopen tyto fyzikální principy aplikovat v praxi. Kvalifikace pracovníků definuje norma ČSN EN 473 [24]. Při zavádění ultrazvukové metody ve Škodě Auto a.s. docházelo k chybnému vyhodnocení echogramů hlavně na vysokopevnostních materiálech. U těchto materiálů občas dochází k povrchovému spojení svařovaných materiálu. U těchto termomechanických plechů není povlak tvořen pozinkováním, nýbrž různými oxidy. Jako například materiál 22MnB5+AS150 TRB dle koncernové normy TL 4225 [25] je opatřen povlakem Al-Si v rozmezí 15 – 50 [μm]. Tyto povlaky umožní průchod ultrazvukového vlnění a následně je zkouška vyhodnocena jako vyhovující. V reálu nejsou dosaženy pevnostní požadavky na bodový svar.

Ultrazvuková zkouška má své opodstatnění v automobilovém průmyslu. Dnes je velmi využívána pro ověřování stability svařovacího procesu.

7.0 Regulace a řízení odporového svařovacího procesu

Odporové bodové svařování je proces závislý na vnějších faktorech. Tyto vnější faktory ovlivňují kvalitu bodového svaru a jsou součástí svařovacího procesu. Z hlediska nezasvěceného laického pohledu se odporové bodové svařování jeví jako velmi jednoduchý a dobře regulovatelný proces. V odborné literatuře se uvádí, že bodové svařování má stochastický charakter [26]. V současné době je hlavním požadavkem eliminovat vliv náhodných procesů. Je to umožněno vývojem elektroniky a rychlosti procesorů pro výpočetní techniku. Naměřené hodnoty elektrických veličin při odporovém svařování lze on - line zpracovávat a tyto hodnoty použít pro vyhodnocení aktuálního bodového svaru nebo pro následující bodový svar. Při mapování problematiky řízení a regulace odporového svařování jednotliví autoři změřili elektrickou veličinu proudu nebo napětí, ale problémem bylo této informace využít pro regulaci nebo vyhodnocení kvality bodového svaru v praxi [27, 28, 29].

Klasifikace monitorovacího a řídicího systému podle Neumanna [26]

je následující:

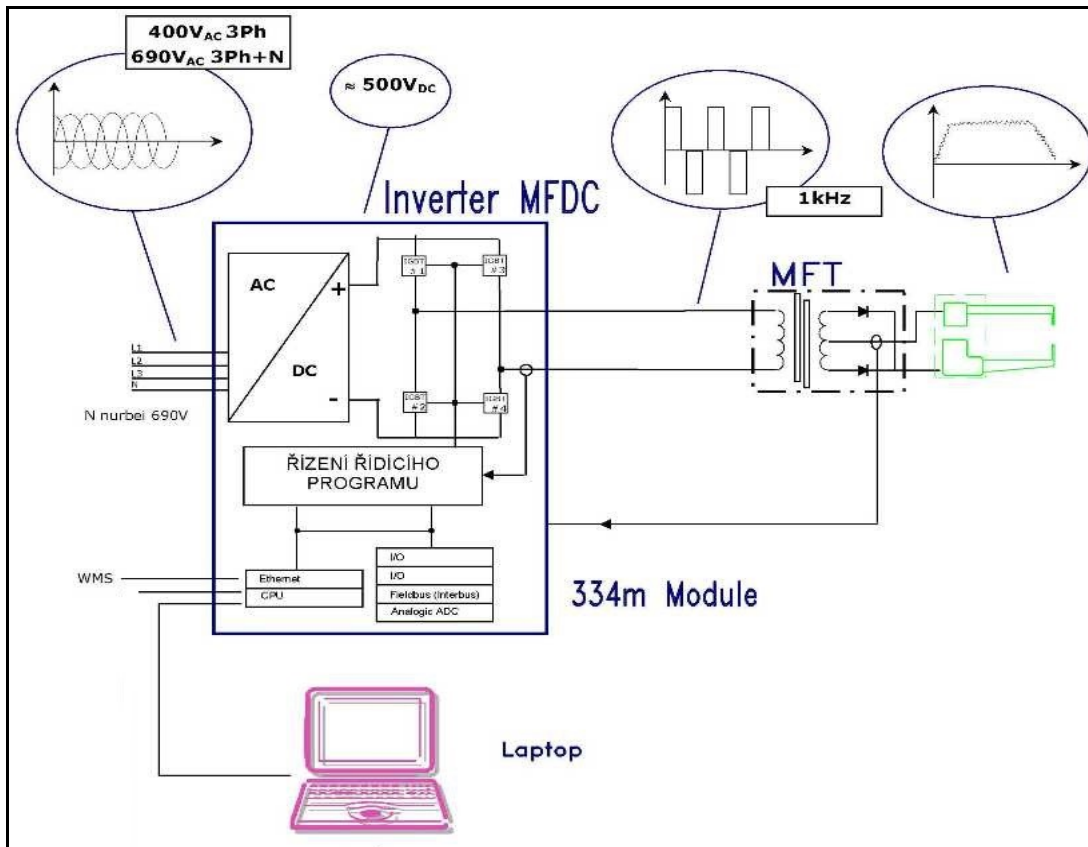
- Monitor kvality je zařízení, které sleduje jeden nebo více kritických parametrů během svařovacího cyklu a po automatickém vyhodnocení těchto snímaných parametrů indikuje kvalitu svaru.
- Automatický systém korelace kvality je zařízení, které sleduje jeden nebo více kritických parametrů během svařovacího cyklu, tyto parametry vyhodnocuje a v závislosti na změně parametrů v definovaných mezích koriguje svařovací parametry a tudíž i požadovanou kvalitu za proměnlivých vnějších podmínek.

Od roku 2000 je způsob regulace odporového svařovacího procesu popisován takto:

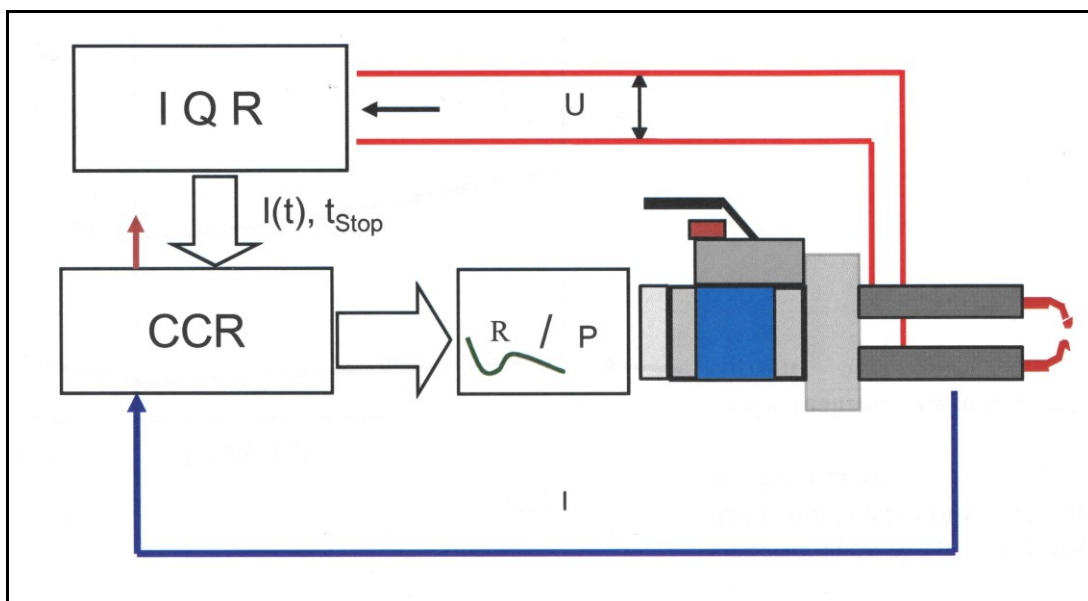
- svařovací řízení s funkcí měření svařovacího proudu a regulací v nastavených mezích
- svařovací řízení s monitoringem elektrických veličin a následnou korekcí parametrů pro následující svarový bod
- adaptabilní svařovací řízení s korekcí svařovacích parametrů v reálném čase a s funkcí automatické kontroly kvality bodového svaru (s opcí se záznamem svařovacích parametrů pro validaci svařovacího procesu)

Dalším milníkem v regulaci odporového bodovacího svařování byl přechod na středofrekvenční řízení. Název je odvozen z frekvence 1000 [Hz], které se obvykle využívá v invertorové technice. V současné době jsou středofrekvenční systémy pro regulaci bodového odporového svařování v koncernu VW interním technickým standardem předepsány. Základní princip adaptabilního středofrekvenčního svařovacího řízení je na obr. 32 a 33. Svařovací řízení je napájeno 400 nebo 690 [V]. Potom je napětí usměrněno a v invertorové části je pomocí IGBT tyristorů provedena změna

frekvence na 1 000 [Hz]. Usměrněné napětí je z důvodů funkce svařovacího transformátoru převedeno na střídavé napětí. Po převodu napětí je na sekundární straně svařovacího transformátoru svařovací proud opět usměrněn.



Obr. 32: Schéma svařovacího řízení od firmy GF Welding



Obr. 33: Schéma svařovacího řízení od firmy Harms Wende GmbH Co KG

Z uvedených schémat na obr. 32 a 33 vyplývá důležitost měření elektrických veličin svařovacího procesu v závislosti na čase, pomocí kterých probíhá adaptabilní regulace svařovacího procesu a monitoring kvality bodového svaru. Během svařování se měří hodnota svařovacího proudu a napětí. Z těchto naměřených hodnot je každou milisekundu vyhodnocen výkon a celkový odpor během svařovacího procesu. Hodnota výkonu je indikátor pro teplo a hodnota elektrického odporu nám dává informaci o svařovacím procesu. Pokud křivka průběhu odporu je mimo nastavené toleranční pásmo, v rámci regulačního procesu lze provést změnu svařovacího proudu nebo prodloužení svařovacího času. Vše se děje automaticky a svařovací proces je adaptabilní v reálném čase.

Pro odporové svařování autoři Janota a Neumann [2, 26] rozlišují parametry na:

- **Přímé parametry svaru** – to jsou veličiny popisující vlastnosti hotového svaru například jeho geometrii, pevnost, tvrdost, výskyt trhlin. Pomocí těchto parametrů se vyhodnocuje kvalita bodového svaru.
- **Nepřímé parametry svaru** – to jsou svařovací proud, svařovací čas, svařovací síla, materiál a geometrie dosedací plochy svařovací elektrody, teplota a průtok chladicí vody.
- **Přechodné nepřímé parametry svaru** – představují obecně reakci systému na průběh svařovacího procesu a jsou zdrojem informací o tvorbě svaru. Mezi tyto nepřímé parametry řadíme například velikost teplem ovlivněné oblasti, útlum ultrazvukového signálu procházející bodovým svarem.

Z hlediska snímaných veličin je vhodné rozdělení řídicích systému svařování podle charakteru snímané veličiny na mechanické, elektrické a fyzikální.

- **mechanické veličiny:** síla svařovacích elektrod, tepelná expanze svařovaného materiálu.

- **elektrické veličiny:** svařovací proud, svařovací napětí. Tyto dvě hodnoty lze využít k výpočtu dalších energetických veličin jako je výkon, teplo vnesené do svaru a elektrický odpor při odporovém bodovém svařování.

Ostatní fyzikální veličiny: teplota, ultrazvukový útlum signálu

Disertační práce je zaměřena na vyhodnocení dvou elektrických veličin. A to sekundárního svařovacího proudu a svařovacího napětí na svařovacích elektrodách. Svařovací proud na sekundární straně svařovacího transformátoru měříme pomocí měřicí cívky a je využíván princip indukovaného napětí při průchodu elektrického proudu vodičem. Signál je zpracován a pomocí převodníku vyhodnocen. Svařovací napětí je snímáno také na sekundární straně svařovacího transformátoru. Cílem je tyto snímače umístit co nejbližší svařovacímu procesu, ale zároveň v sériové výrobě zajistit plynulost výroby a předcházet technickým prostojům jako jsou přerušené vodiče, kolize se svařovacím dílem atd.

7.1 Svařovací parametry odporového svařovacího procesu

Pro kvalitní svařovací proces je velmi důležité správné nastavení svařovacích parametrů. Základní nastavení definuje norma ČSN EN ISO 14327 Odporové svařování – Způsoby určení diagramu oblasti svařování při odporovém bodovém, výstupkovém a švovém svařování [13]. Hlavní svařovací parametry jsou svařovací proud I , svařovací čas t , svařovací síla F . Ve starší literatuře [1, 30] se uvádějí dva druhy režimu.

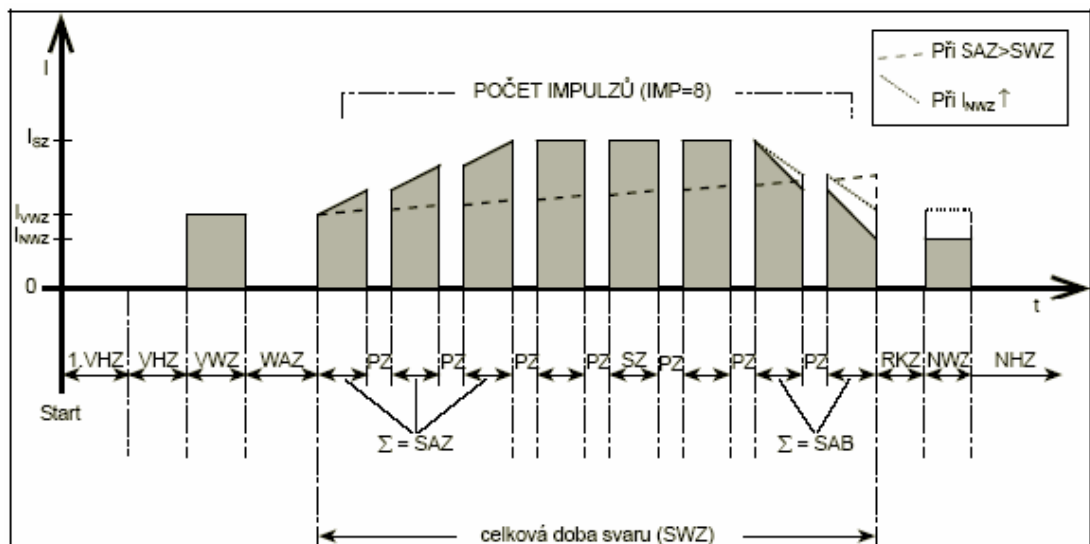
Popis svařovacích parametrů:

- **konstantní svařovací proud:** Hodnota svařovacího proudu je pro regulaci svařovacího procesu hlavní veličinou. Pro tento režim je potřeba aktivovat snímač svařovacího proudu. Následně je vhodné nastavit tolerance

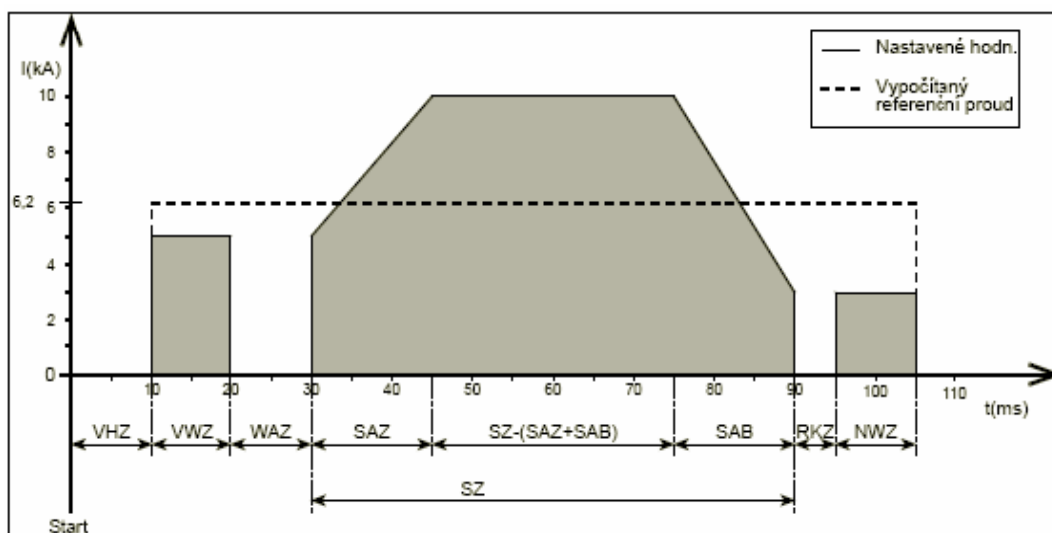
pro maximální a minimální hodnotu svařovacího proudu v nastavených mezních tolerancích svařovacího proudu. Tolerance se nastavuje v rozmezí +/- 10 [%]. V případě mimotolerančního stavu dojde k opakování svařovacího procesu nebo k úplnému ukončení svařování.

- **režim impulsů:** Můžeme volit mezi režimem impulsů normálním a speciálním. Při normálním režimu impulsů se všechny impulsy shodují. Při speciálním režimu impulsů se mohou impulsy navzájem lišit a musí být tedy naprogramovány jednotlivě. Speciální impuls se volí v případě, kdy svařujeme ocelové plechy různé tloušťky např. 0,8 – 2,2 [mm]. V těchto případech se volí první impuls s menší proudovou hustotou. V automobilovém průmyslu se převážně svařuje jedním impulsem.

- **svařovací čas:** Moderní elektronické řídicí svařovací systémy umožňují nastavení různých svařovacích časů při odporovém bodovém svařování. Mezi hlavní patří svařovací čas, doba náběhu a poklesu svařovacího proudu tzv. svahování, doba přestávky mezi jednotlivými svařovacími pulsy, doba dotlaku svařovacích elektrod a další.

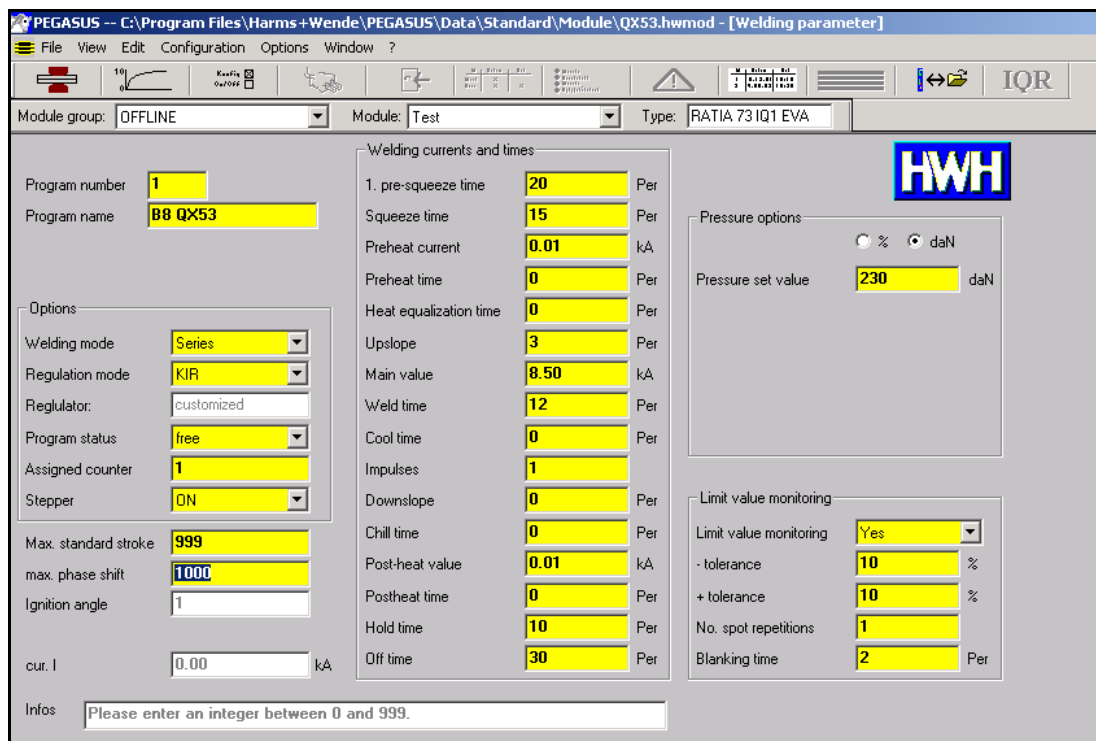


Obr. 34: Časový průběh svařovacího programu s impulsy



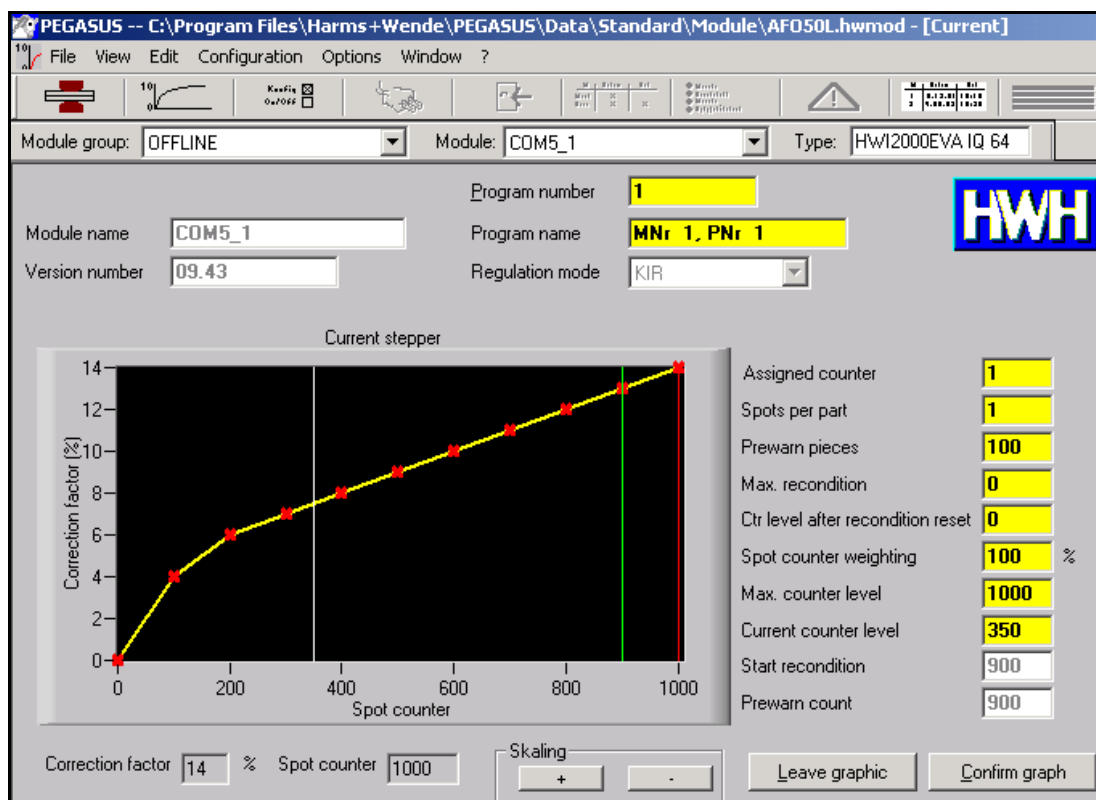
Obr. 35: Svařovací program s jedním impulsem

Svařovací parametry se nastavují pomocí softwaru, který je součástí svařovacího řízení. Na obr. 36 je ukázka nastavení základních svařovacích parametrů pro odporové svařování v softwaru Pegasus od firmy Harms Wende.



Obr. 36: Nastavení svařovacích parametrů v Pegasusu od firmy Harms Wende

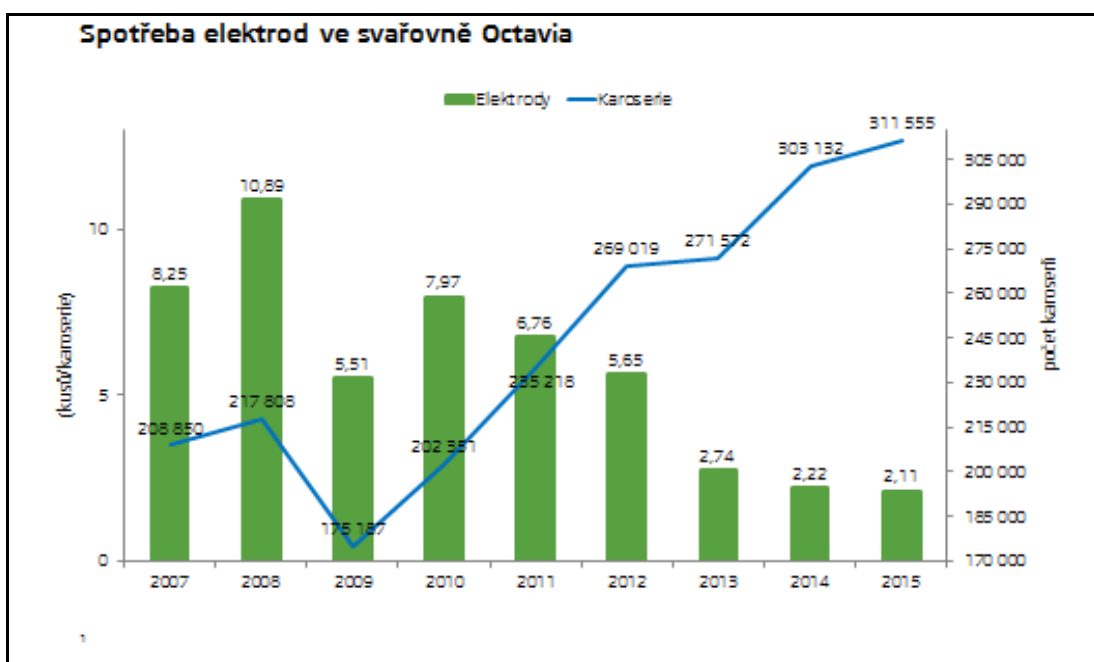
- **kroková funkce:** Nastavení krokové funkce je velmi důležité z hlediska kvality provedených bodových svarů. Kroková funkce umožňuje v závislosti na počtu provedených bodových svarů zvyšovat svařovací proud a svařovací sílu svařovacích elektrod. Její průběh může být lineární nebo částečně lineární jako na obr. 37. V automobilovém průmyslu při svařování nízkouhlíkových nelegovaných pozinkovaných plechů na ručních svařovacích kleštích volíme počet bodů na hodnotu 1000 při zvýšení svařovacího proudu o 20 [%]. Zvýšení proudu je důležité z důvodu opotřebením dosedací plochy svařovací elektrody. Změna průměru má vliv na proudovou hustotu a to se projeví na průměru svarové čočky.



Obr. 37. Grafické znázornění krokové funkce v programu Pegasus od firmy Harms Wende pro ruční svařovací kleště

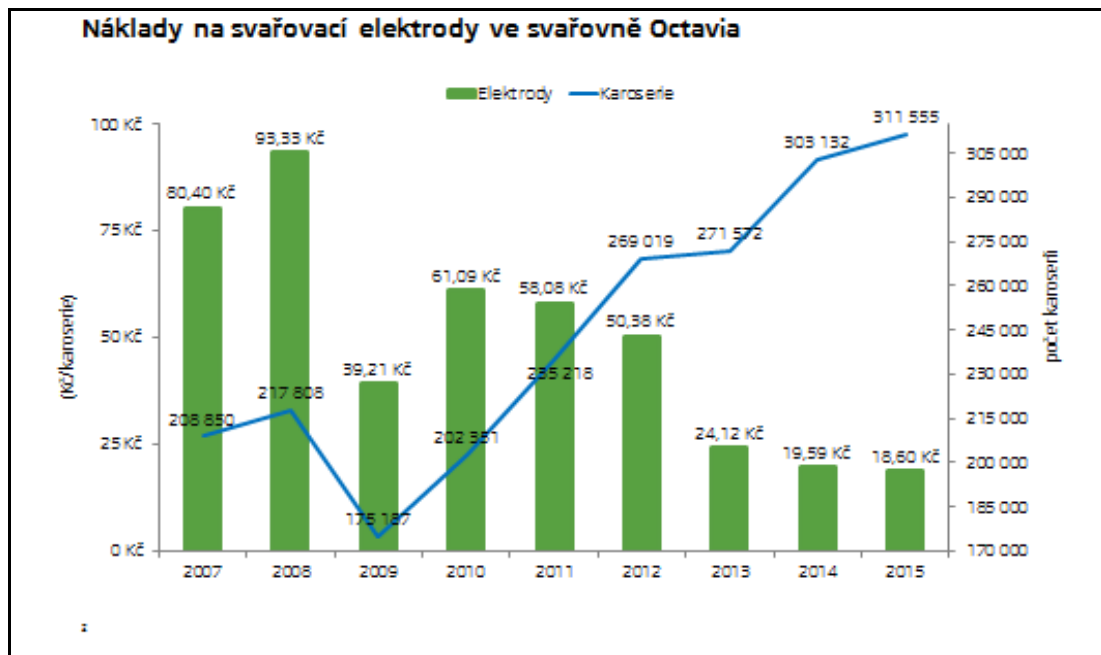
Při robotovém svařování je pracoviště vybaveno frézovacím zařízením. Dosedací plocha svařovacích elektrod je v pravidelných intervalech frézována. V automobilovém průmyslu je interval nastaven v rozmezí 100 - 200 svařovacích bodů. Proces je nastaven na třicet až čtyřicet cyklů a potom dochází k výměně svařovacích elektrod. Parametr

proudové hustoty je stabilní. Toto nastavení má významný vliv na spotřebu svařovacích elektrod při výrobě karoserií. Vývoj spotřeby svařovacích elektrod od roku 2007 je uveden na obr. 38. Zvyšováním stupně robotizace v automobilovém průmyslu postupně docházelo ke snižování spotřeby svařovacích elektrod na vyrobenou karoserii. Aktuální spotřeba svařovacích elektrod přepočtena na vyrobené karoserie činila v roce 2015 2,11 [ks/karoserii]. Další možné snižování spotřeby svařovacích elektrod je podmíněno automatizací této činnosti, jelikož při automatické výměně svařovacích elektrod lze vyloučit lidský faktor nedodržení pracovního postupu při výměně svařovacích elektrod před celkovou životností svařovacích elektrod.



Obr. 38. Spotřeba svařovacích elektrod ve svařovně Octavia od roku 2007

Velmi zajímavé porovnání zobrazuje obr. 39. Finanční vyčíslení nákladu na svařovací elektrody koresponduje s trendem robotizace z předchozího grafu.

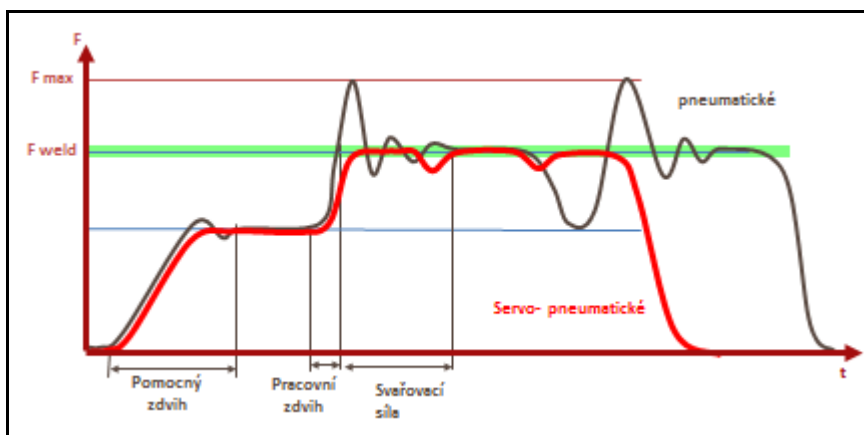


Obr. 39. finanční náklady na svařovací elektrody ve svařovně Octavia od roku 2007

- **svařovací síla:** Svařovací síla u pneumatického systému se mezi svařovacími elektrodami reguluje proporčním ventilem, který je ovládán vstupním napětím. Je možné zadávat přímo napěťovou hodnotu nebo požadovanou sílu v jednotkách síly. V druhém případě je nutno provést kalibraci proporčního ventilu, aby požadované hodnoty odpovídaly skutečnému tlaku mezi elektrodami. Pokud by svařovací síla nebyla dosažena v požadovaných hodnotách, nedojde k vytvoření bodového svaru. U servomotorických kleští je síla vyvozena servomotorem a celý proces je obsluhován samostatným řízením a speciálním softwarem od výrobce. Ve většině případů se provede kalibrace přítlačného systému a potom se již zadávají požadované hodnoty přítlačné síly.

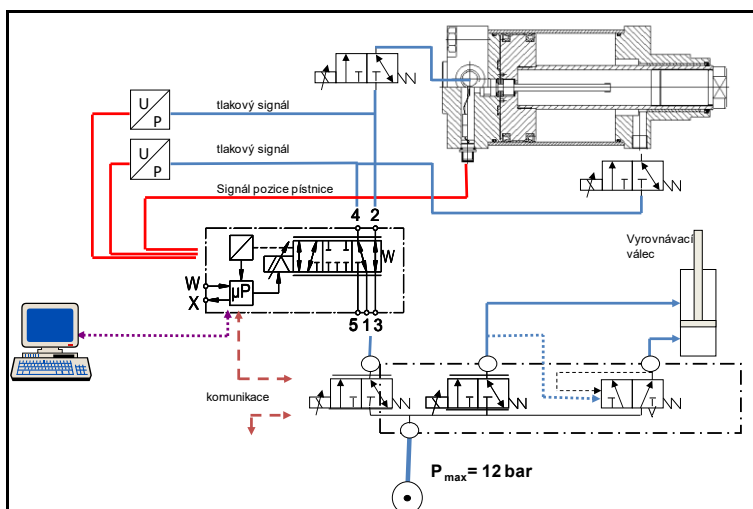
Samostatnou kapitolou jsou tzv.: servopneumatické svařovací kleště. U těchto kleští je poloha pístitnice řízena servoboxem. Hlavní pístitnice pro dosažení svařovací síly a požadované polohy svařovacích elektrod je osazena inkrementálním snímačem polohy. Tento sensor ve spojení se servoboxem umožňuje individuální nastavení polohy svařovacích elektrod v čase. V praxi tato technika umožňuje individuální nastavení pro jednotlivé svařovací body a také pro polohu svařovacích elektrod při posunu na další svařovací bod s ohledem na tvar svařovaných dílů. Tato možnost nastavení je velmi důležitá pro celkový takt výrobní operace. Na obr. 40 je zobrazen

časový průběh svařovací síly u servopneumatických a pneumatických svařovacích kleští. Z průběhu svařovacích sil je vidět dosažení stability u servopneumatického systému. Rozptyl od požadované hodnoty svařovací síly je menší než u pneumatického systému. To je jedna z hlavních výhod. Rychlost a nízký rozptyl od nominální hodnoty svařovací síly umožňuje měkké dojetí svařovacích elektrod. Tato vlastnost technikům umožňuje velmi jemné nastavení svařovací síly u bodových svarů s požadavkem kvality povrchu OG1 dle interní normy VW 011 05 – 1 [4]. To jsou např.: boční dveře, motorová kapota nebo zadní páté dveře. Základní schéma servopneumatického systému je na obr. 41.



Obr. 40. Průběh svařovací síly, servopneumatické vs. pneumatické svařovací kleště

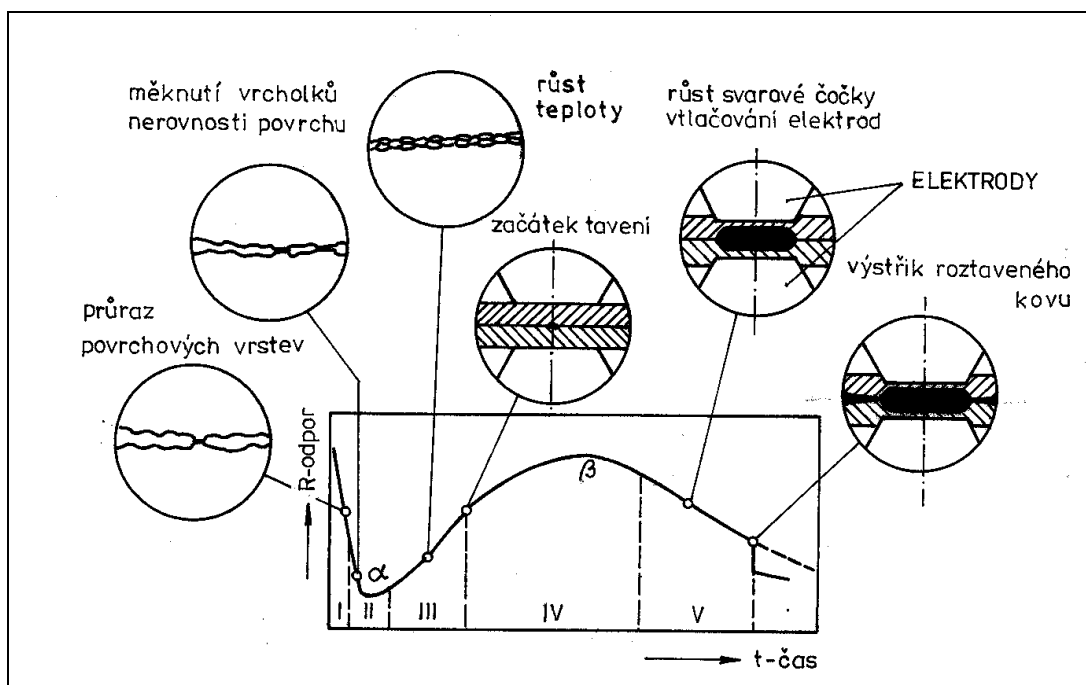
Hlavní pístnice je vybavena inkrementálním snímačem polohy a je ovládána servoboxem. Mezi hlavní výhody patří rychlost a přesnost pohybu hlavní pístnice. V praxi jsou tyto přednosti využívány pro optimalizaci pracovního času robotových stanic.



Obr. 41. Schéma servopneumatického systému

7.2 Systémy s vyhodnocováním a měřením elektrických veličin

Pro získání přehledu o průběhu odporového bodového procesu nebo vyhodnocení požadované kvality bodového svaru na základě průběhu elektrických veličin se zabíralo mnoho autorů. Podrobný přehled o jednotlivých systémech popsali autoři Janota [2] a Neumann [26]. Jejich práce popisují vývoj těchto systémů v druhé polovině 20 století. Autoři také popsali průběh elektrického odporu při odporovém bodovém svařování nízkouhlíkové nelegované oceli. Časová závislost elektrického odporu během svařování je uvedena na obr. 42 [36].



Obr. 42. Časová závislost elektrického odporu během svařování – proces vytváření svarové čočky u bodového svařování (nízkouhlíková nelegovaná ocel)

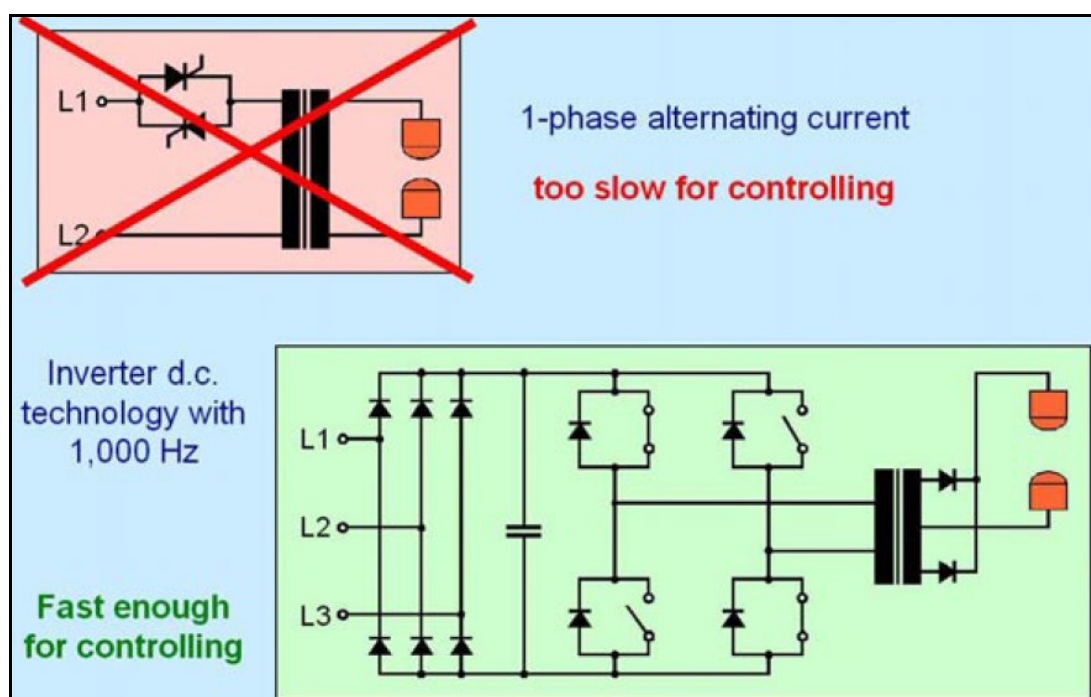
Pod elektrickými veličinami při odporovém bodovém svařování hovoříme o svařovacím napětí a proudu. Tyto dvě elektrické veličiny snímáme a z naměřených hodnot lze spočítat odpor při bodovém svařování, výkon a energii. Tyto veličiny vyhodnocujeme pomocí integrálního počtu jako funkce času. Výhodou těchto systémů je relativně jednoduché snímání elektrických veličin, ale dnes lze konstatovat i rychlost zpracování naměřených hodnot v reálném čase. Z průběhu proudu, napětí nebo

elektrického odporu získávat důležité informace o svařovacím procesu v reálném čase.

Návrh systému pro odporové bodové svařování s adaptabilním procesem kontroly navrhl Matuscheck. [48]. Autor popisuje jednotlivé faktory, které mají vliv na bodový odporový svařovací proces. Definiuje tři základní podmínky pro adaptabilní svařovací proces kontroly:

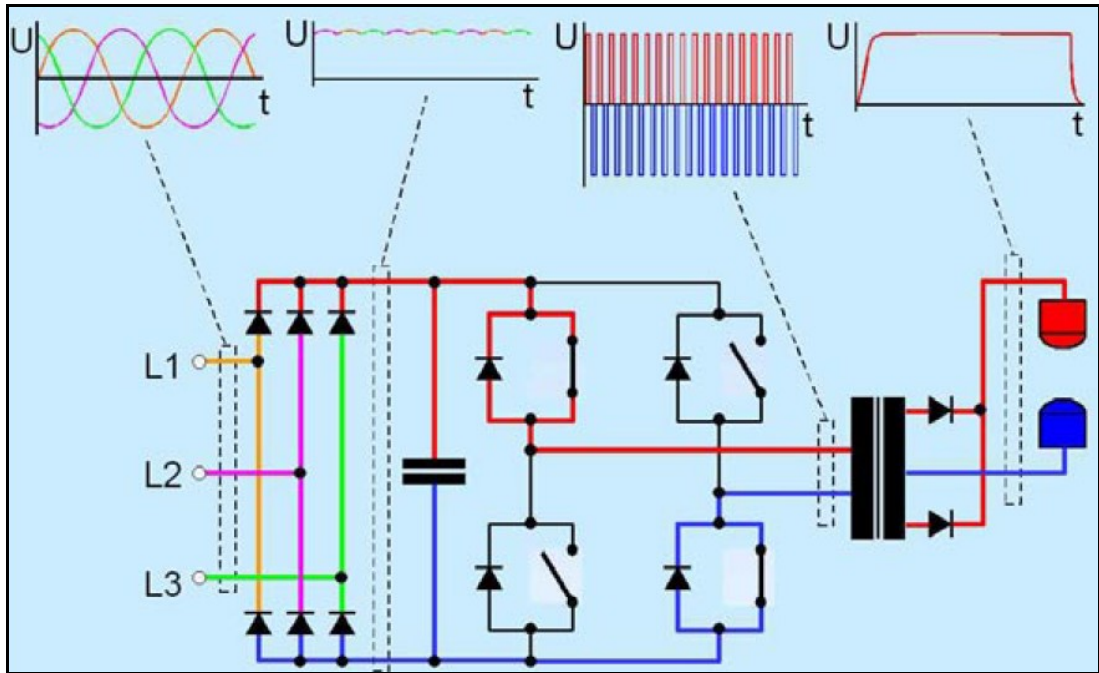
- rychlá reakce v čase
- jednoduché a robustní senzory pro snímání elektrických veličin
- zpracování dat v reálném čase při bodovém svařování

Autor popisuje rozdíl mezi klasickým svařovacím transformátorem pracujícím na síťovém kmitočtu 50 [Hz] s konstantní regulací svařovacího proudu (CCR) a invertorovou technikou obr. 43. Zde poukazuje na důležitost rychlosti zpracování naměřených dat v čase a možnosti modulace svařovacího proudu.



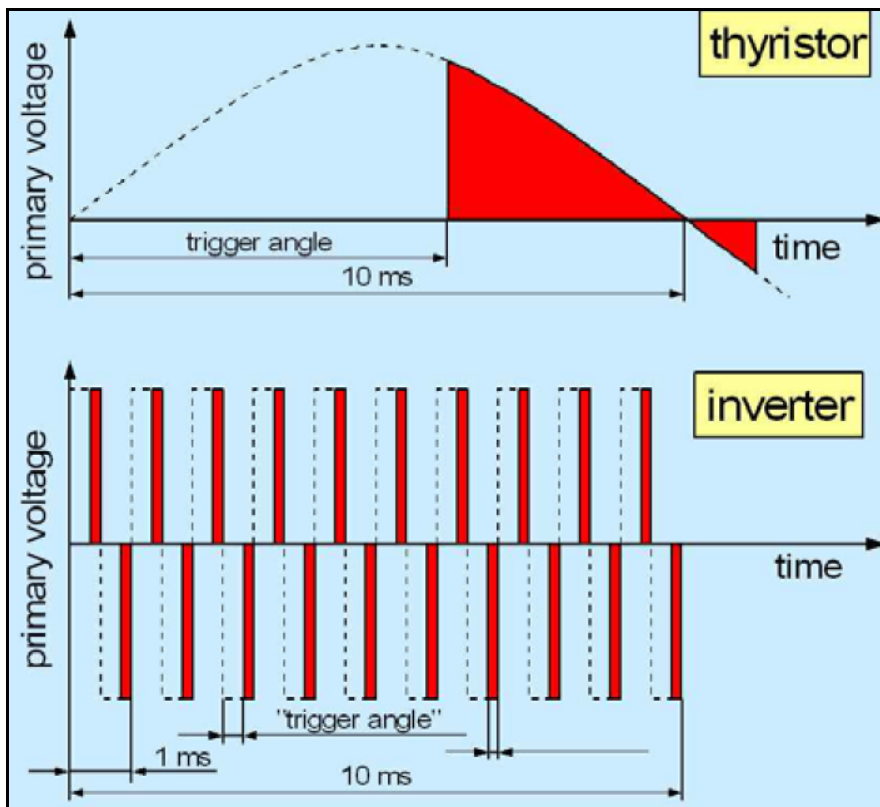
Obr. 43. Invertorová technologie 1000 [Hz], schéma zdroje svařovacího proudu s rychlou reakcí

Na obr. 44 je popis třífázového zapojení svařovacího transformátoru a zobrazení průběhu napětí v jednotlivých fázích svařovacího procesu.



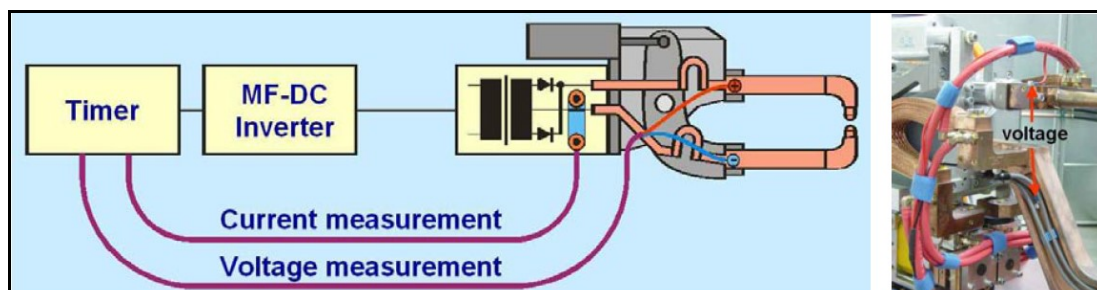
Obr. 44. Schéma invertoru pro středofrekvenční svařování a jednotlivé průběhy napětí

Na obr. 45 autor popisuje způsob nastavení svařovacího proudu standartním tyristorem nebo pomocí tranzistoru IGBT.



Obr. 45. Regulace svařovacího proudu pomocí tyristoru a tranzistoru IGBT

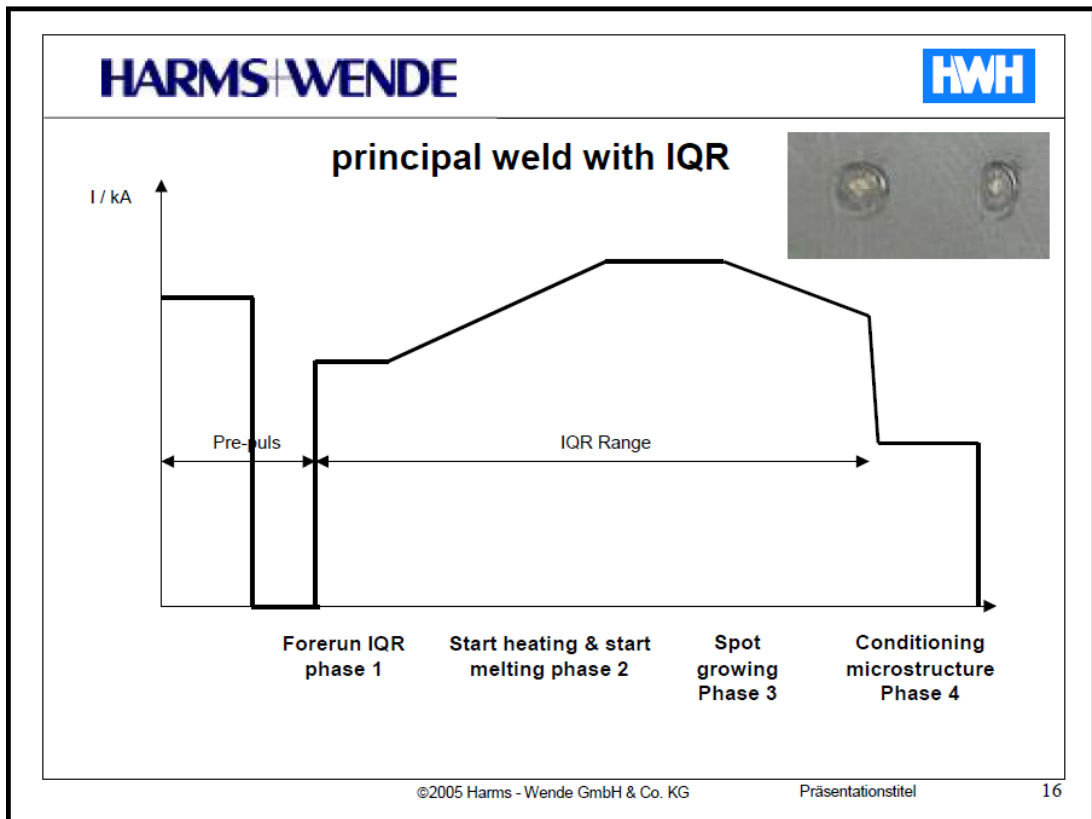
Měření elektrických veličin proudu a napětí autor popisuje na obr. 46. Během procesu svařování je měřena hodnota svařovacího proudu. Sensor je integrován do svařovacího transformátoru. Velikost svařovacího napětí je snímána ze svařovacích ramen.



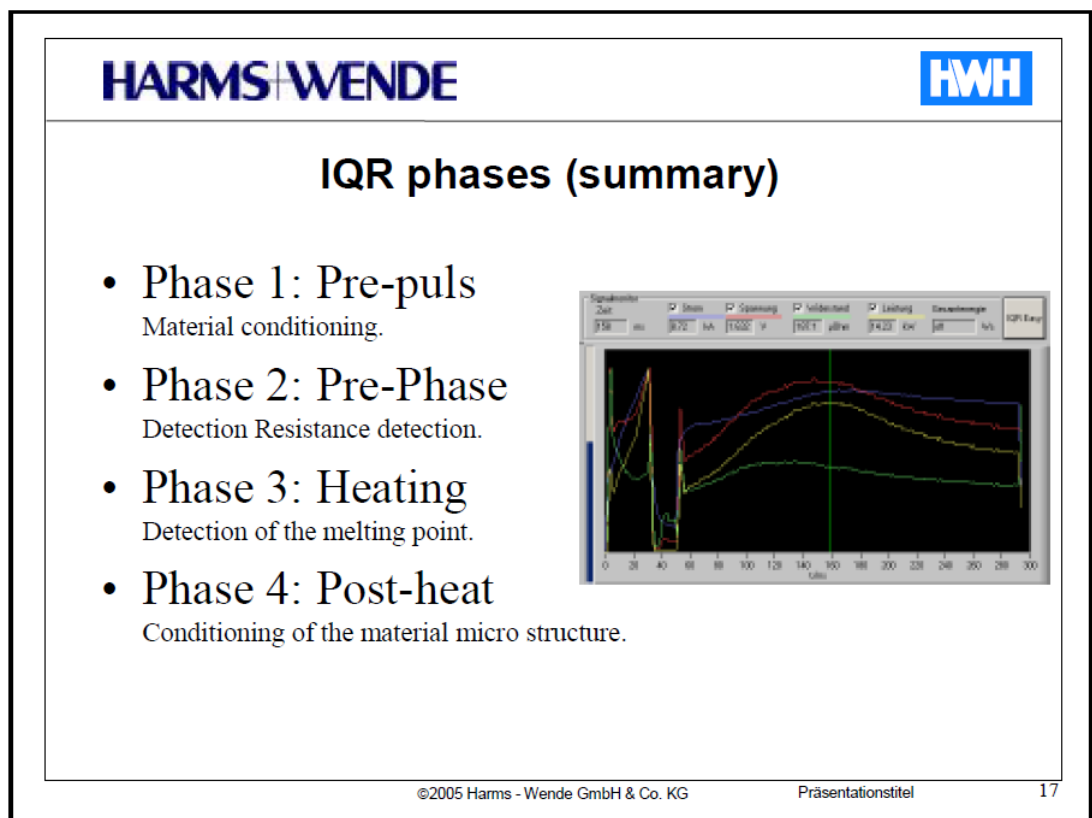
Obr. 46. Umístění snímačů pro svařovací proud a napětí

Následně jsou naměřené hodnoty proudu a napětí zpracovány pro adaptabilní proces. Uživatel definuje dle autora základní svařovací parametry jako např.: svařovací tlak, čas a proud.

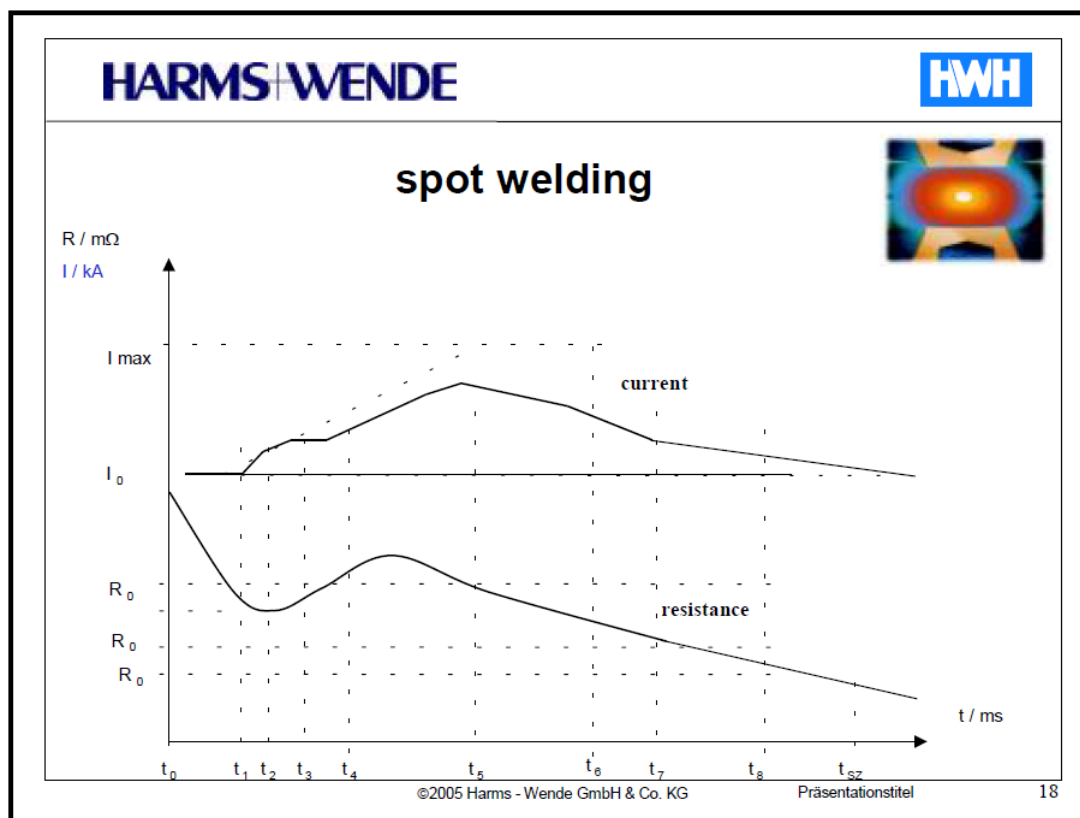
Firma Harms & Wende GmbH, Hamburg [49] na mezinárodní konferenci IIW v Praze 2005 prezentovala svůj návrh řešení pod názvem IQR systém kvalitní regulace pro odporové bodové svařování. Systém je založen na průběhu elektrického odporu v čase. Na obr. 47 - 49 je zobrazen princip návrhu. Podle Bothfelda [50] je tento systém IQR vhodný pro svařování vysokopevnostních ocelových plechů. Podle autora tento systém využívá naměřené hodnoty jako funkce času a nevyžaduje absolutní hodnoty elektrických veličin.



Obr. 47. Princip průběhu svařovacího programu



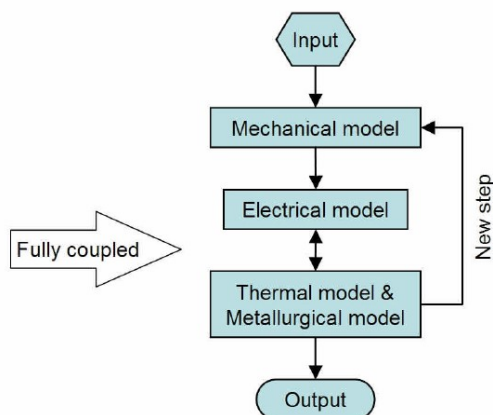
Obr. 48. Popis jednotlivých fází dle firmy Harms Wende GmbH. V grafu jsou vyneseny průběhy naměřených elektrických hodnot



Obr. 49. Průběh odporu při odporovém bodovém svařování

Matematickou simulací odporového bodového svařovacího procesu popsal Zhang [51]. Fyzikální princip definoval pomocí čtyř numerických modelů obr. 50. Pro elektrický model počítal svařovací napětí a proud jako teplo generované v materiálu.

- mechanický model
- elektrický model
- teplotní model
- metalurgický model



Obr. 50. Algoritmus pro spojení numerických modelů podle Zhanga

8.0 Vysokopevnostní oceli v automobilovém průmyslu

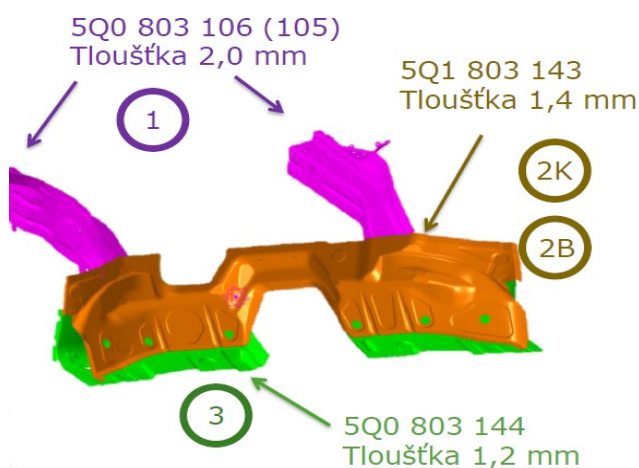
Využití těchto vysokopevnostních ocelí při výrobě karoserií je z několika důvodů. Jedním z požadavků je vysoká bezpečnost cestujících při nehodě. Tyto vysokopevnostní materiály mají mez kluzu od 500 do 1 200 [MPa]. Při nehodě tyto materiály mají schopnost absorbovat deformační energii. Druhým důvodem je snížení hmotnosti při zachování shodných nebo vyšších pevnostních vlastností karosérie. Požadavek na snížení hmotnosti vozu je vyžadován snižováním hodnoty CO₂ ve výfukových plynech a neméně významným faktorem je v poslední době nástup elektromobility.

Tab. 2: Rozdělení ocelových plechů v automobilovém průmyslu [32]

Typ oceli	R _{p0.2} [MPa]	Druh oceli dle zpevňovacích mechanismů	
Hlubokotažné	< 180 MPa	Ocelové plechy válcované za studena	
Pevnostní	cca nad 180 - 500 MPa	IF oceli BH oceli Fosforem legované oceli Mikrolegované oceli	
Vysokopevnostní	cca nad 500 MPa až do hodnot 1200 MPa (výjimku tvoří TRIP oceli)	Vícefázové oceli	Komplexně fázové oceli Dvoufázové oceli TRIP oceli Martenzitické oceli
		Oceli kalené	Legované oceli (Borové oceli)
		Twip oceli	

9.0 Experimentální část disertační práce

Na základě problematiky svařitelnosti vysokopevnostních ocelových plechů při výrobě karoserií a zajištění validace svařovacího procesu při svařování dílů od jednotlivých dodavatelů TMZ ocelových výlisků byla nejprve provedena analýza povrchové vrstvy Al-Si. Cílem bylo zjištění zásadních rozdílů v povlaku jednotlivých dílů. Na obr. 51 je zobrazen svařenec přední části karoserie. Díl pod označením č. 2 příčník 5Q1 803 143 je dodáván od dvou dodavatelů, a to od firem Benteler Automotive Rumburk a VW Kassel. Díly byly vybrány na základě rozdílného barevného zabarvení povlaku zjištěného při povrchové vizuální kontrole. Při svařování dílů docházelo k rozstříku a na povrchu svařenců se nacházely ve zvýšeném počtu okuje. Také docházelo k intenzivnímu opotřebení dosedacích ploch svařovacích elektrod a to mělo negativní vliv na spotřebu svařovacích elektrod.



Obr. 51. Svařenec přední části karoserie

Popis jednotlivých dílů svařence na obr. 51 je následující:

- 1) Podélný nosník (5Q0 803 105/106), materiál: HCT 450 XD Z100MB (DP 450), tloušťka 2,0 [mm]
- 2) Příčník (5Q1 803 143), materiál: TL4225 AS150, tloušťka 1,4 [mm]
Vzorek od dodavatele VW Kassel je označen 2K.
Vzorek od dodavatele Benteler Automotive Rumburk je označen 2B.
- 3) Příčník (5Q0 803 144), materiál: TL4225 AS150, tloušťka 1,2 [mm]

9.1 Stanovení tloušťky povlaku vysokopevnostních ocelí

Analyzována byla sada výlisků z oceli 22MnB5. Rozbory byly zaměřeny na vyhodnocení tloušťky povlaku. Na vzorcích bylo realizováno měření subvrstev, odlišitelných metalograficky na leptaných příčných výbrusech.

1. celá tloušťka povlaku v daném řezu
2. difúzní vrstva na rozhraní s martenzitickou ocelí
3. mezivrstva – rozhraní difúzní vrstvy a hliníkem bohaté vrstvy
4. chemické heterogenity v povlaku mimo oblast difúzní vrstvy

Pro analýzy bylo vybráno šest výlisků pod označení 2A, 2B, 3A, 3B, AA, AB. Odběry vzorků jsou vyznačeny na obr. č. 52 - 57.

Použitá zařízení:

- rastrovací elektronový mikroskop TESCAN 5130SB
- mikroanalyzátor EDAX Bruker
- světelný metalografický mikroskop Neophot 32
- software pro analýzu obrazu AnalySis DOCU Olympus



Obr. 52. Odběr vzorku 2A



Obr. 53. Odběr vzorku 2B



Obr. 54. Odběr vzorku 3A



Obr. 55. Odběr vzorku 3B

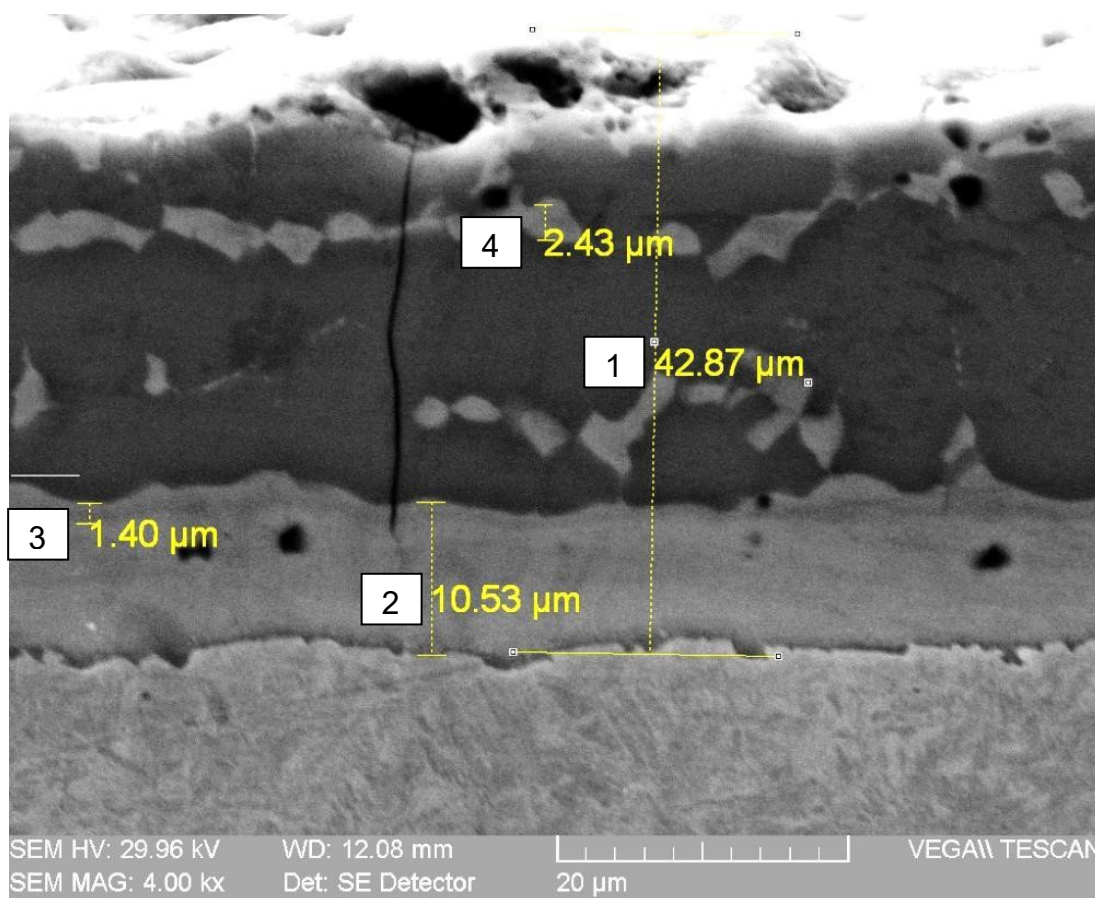


Obr. 56. Odběr vzorku AA



Obr. 57. Odběr vzorku AB

Měřená pásma jsou zobrazeny na obr. 58.



Obr. 58. Měření subvrstev, zv. 4000x, vz. 3A

Výsledky měření povlaku jsou uvedeny v tab. 1 – 6. Jednotlivá měření představují střední hodnotu v rámci dokumentované oblasti tak, aby měření vystihovalo charakteristickou strukturu vrstvy, resp. rozdíly struktury vrstev u jednotlivých dílů. Měření nebylo zaměřeno na extrémní tloušťky, kdy vzhledem k nerovnoměrnosti tloušťky subvrstev, kopírujících reliéf povrchu materiálu, lokálně dosahovaly tyto tloušťky vyšších hodnot.

Tab. 1 Tloušťka subvrstev vylisku 2A [μm]

č.měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	
č.vzorku	2A-1			2A-2			2A-7					
Měřená vrstva	1	38,54	41,72	41,3	41,47	42,58	42,5	45,92	45,28	43,69	42,01	42,50
	2	9,04	7,95	7,21	7,81	9,13	7,97	8,02	8,75	8,39	8,09	8,24
	3	1,77	1,42	1,46	1,37	1,26	1,55	1,38	1,54	1,74	1,35	1,48
	4	1,37		2,63	3,32	2,18	2,43				2,12	2,34

Tab. 2 Tloušťka subvrstev vylisku 2B [μm]

č.měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	
č.vzorku	2B-1			2B-2			2B-7					
Měřená vrstva	1	42,47	45,18	43,01	40,8	41,8	42,03	41,55	42,25	43,11	41,85	42,41
	2	14,08	11,9	13,09	13,49	14,07	12,95	13,17	13,55	13,03	12,59	13,19
	3	2,17	1,78	2	1,54	2,41	2,05	2,08	1,48	1,89	2,05	1,95
	4	6,99	4,96	5,81	3,52		5,12	4,5	3,38	5,38	3,72	4,82

Tab. 3 Tloušťka subvrstev vylisku 3A [μm]

č.měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	
č.vzorku	3A-1			3A -2			3A -7					
Měřená vrstva	1	40,39	40,94	42,19	44,77	42,87	44,14	44,28	41,51	45,19	43,52	42,98
	2	10,69	12,15	10,46	10,09	10,53	9,65	11,2	10,29	10,58	10,01	10,57
	3	1,75	1,99	1,51	1,62	1,4	1,77	2,14	1,62	1,47	1,45	1,67
	4		2,39	2,54		2,43	2,46		1,47			2,26

Tab. 4 Tloušťka subvrstev vylisku 3B [μm]

č.měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	
č.vzorku	3B-1			3B -2			3B -7					
Měřená vrstva	1	40,89	42,86	36,79	38,05	40,12	44,12	41,78	42,05	41,08	42,08	40,98
	2	9,5	10,29	9,62	10,21	10,92	9,85	9,4	9,57	9,7	9,86	9,89
	3	2,14	1,84	1,87	1,94	2,22	2,12	1,75	1,89	2,05	2,41	2,02
	4	2,36			2,01		2,71	2,43				2,38

Tab. 5 Tloušťka subvrstev vylisku AA [μm]

č.měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	
č.vzorku	AA-1			AA-2			AA -7					
Měřená vrstva	1	46,89	46,01	43,5	44,08	45,23	43,56	45,53	43,49	43,42	43,64	44,54
	2	14,03	15,23	13,93	14,63	14,53	13,66	14,81	14,33	14,01	14,53	14,37
	3	2,34	2,31	2,13	2,13	1,72	2,57	2,86	2,45	1,99	2,23	2,27
	4	6,99	4,96	5,81	3,52		5,12	4,5	3,38	5,38	3,72	4,82

Tab. 6 Tloušťka subvrstev vylisku AB [μm]

č.měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	průměr	
č.vzorku	AB-1			AB -2			AB -7					
Měřená vrstva	1	42,46	44,55	43,69	44,22	43,05	42,08	41,8	42,7	43,45	43,05	43,11
	2	6,15	7,07	7,31	7,17	7,12	7,56	7,08	6,89	6,75	7,05	7,02
	3	0,88	0,88	1,33	0,96	0,86	1,23	1,08	1,06	1,05	0,98	1,03
	4	2,46	2,58		1,91			4,3	2,01			2,65



Obr. 59. Příklad od různých dodavatelů

Z důvodů lepšího přehledu jsou střední hodnoty sumarizovány v tab. 7.

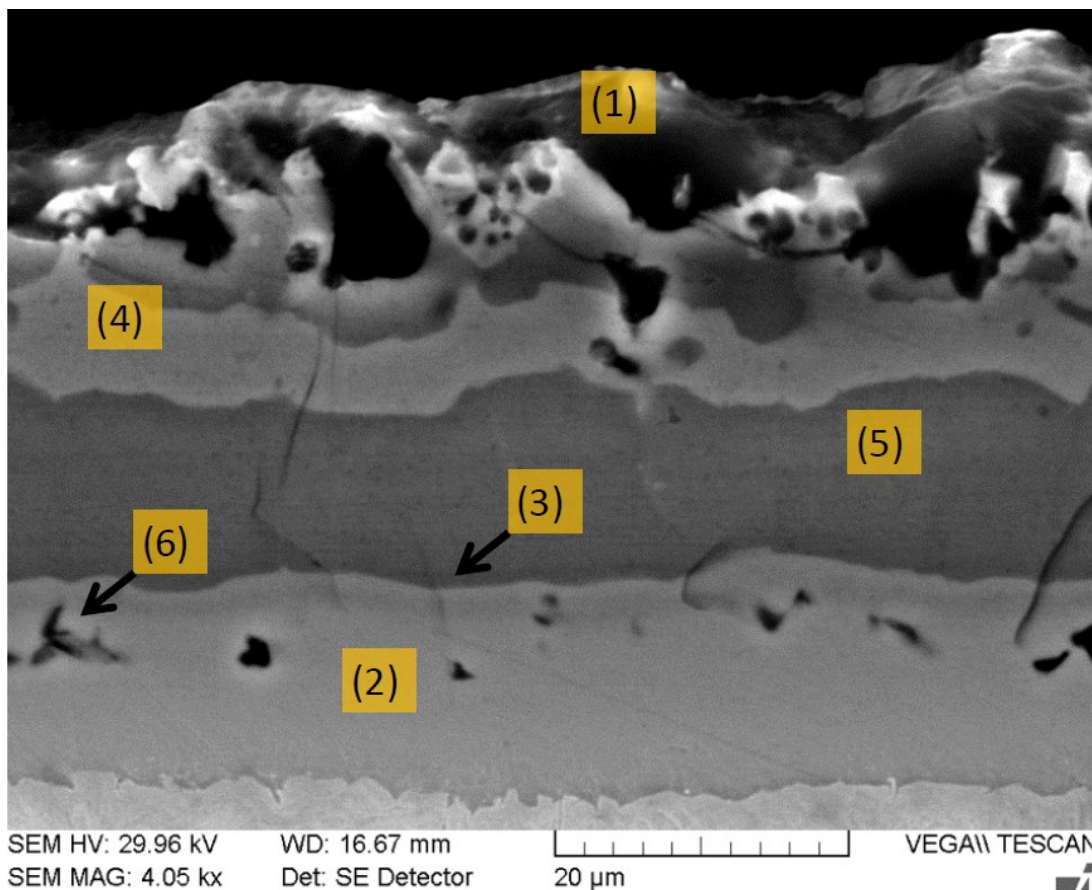
Tab. 7 Souhrnné porovnání z hlediska tloušťky jednotlivých subvrstev [μm]

Souhrnné porovnání z hlediska tloušťky jednotlivých subvrstev [μm]						
Pozice měření	2K (VW Kassel)		2B (Benteler Automotive)		3 (Benteler Automotive)	
	Levá strana	Pravá strana	Levá strana	Pravá strana	Levá strana	Pravá strana
1 - celková tloušťka vrstvy	42,41	44,57	42,50	43,11	40,98	42,98
2 - intermetalická vrstva na rozhraní s martenzitickou ocelí	13,19	14,37	8,24	7,02	9,89	10,57
3 - rozhraní difúzní vrstvy a hliníkem bohaté vrstvy	1,95	2,27	1,48	1,03	2,02	1,67
4 - chemické heterogenity v povrchové vrstvě mimo oblast difúzní vrstvy	4,82	4,82	3,24	2,65	2,38	2,26

V tabulce č. 7 je červeně označena naměřená rozdílná tloušťka difúzní vrstvy u vzorku 2B a AA od ostatních vzorků.

9.2 Analýza povlaku Al-Si

Analyzována byla sada výlisků z oceli 22MnB5. Rozbory byly zaměřeny na vyhodnocení povlaku se zaměřením na svařitelnost dílu.



Obr. 60. Pozice chemických mikroanalýz

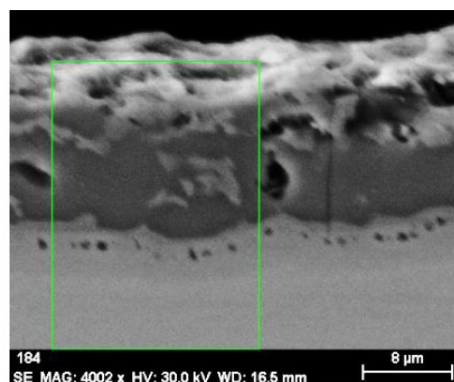
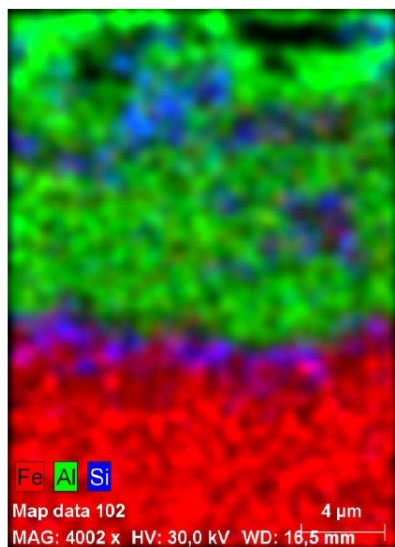
1. bezprostředně povrchová vrstva
2. difúzní vrstva na rozhraní s martenzitickou ocelí
3. mezivrstva – rozhraní difúzní vrstvy a zbývající části hliníkem bohaté vrstvy
4. chemické heterogenity v povrchové vrstvě mimo oblast difúzní vrstvy
5. homogenní oblast povrchové vrstvy mimo difúzní vrstvu
6. okolí dutin v difúzní vrstvě

Výsledky měření chemického složení povrchové vrstvy jsou uvedeny v tab. 8 – 13. Výsledky jsou doplněny plošnou chemickou analýzou, která zobrazuje rozdělení hlavních prvků Fe, Al a Si u jednotlivých dílů.

Tab. 8. Složení subvrstev dílu od firmy Benteler vz. 2A (levá strana)

Číslo/ pozice měření	Al		Si		Fe		Mn		poměr Al/Si	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
2	6,79	9,54	2,13	2,81	89,45	86,21	1,34	1,3	3,19	3,40
3	28,9	28,48	8,17	7,39	61,6	62,87	1,33	1,25	3,54	3,85
4	35,77	36,47	7,61	7,39	55,46	55,09	1,17	1,05	4,70	4,94
5	50,55	50,8	2,05	1,8	46,8	46,7	0,6	0,71	24,66	28,22

Na obr. 61 je plošná chemická analýza stěžejních prvků Fe, Al a Si.

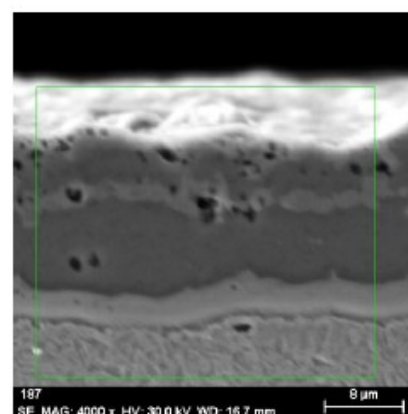
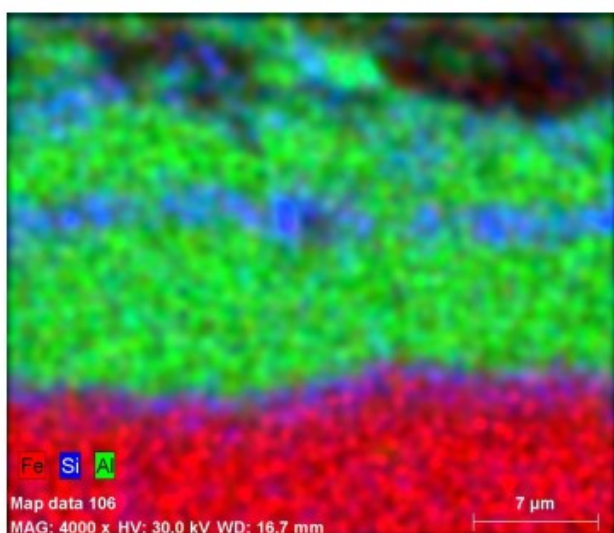


184_SEDate:18.11.2012 20:50:59Image size:512 x 512Mag:4001,534001xHV:30,0kV

Obr. 61. Plošné rozložení prvků Fe - Al - Si v povrchové vrstvě vzorku 2A

Tab. 9. Složení subvrstev dílu od firmy Benteler vz. AB (pravá strana)

Číslo/ pozice měření	Al		Si		Fe		Mn		poměr Al/Si	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	48,12		4,45		46,85		0,57		10,81	
2	5,9	7,46	1,94	2,47	90,75	88,64	1,41	1,43	3,04	3,02
3	28,2	28,9	1,95	2,2	68,74	67,76	1,1	1,13	14,46	13,14
4	36,1	41,13	10,88	12,11	52,06	46,03	0,97	0,74	3,32	3,40
5	49,53	50,19	1,77	1,74	47,88	47,31	0,82	0,76	27,98	28,84

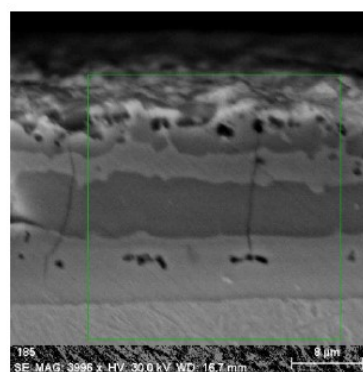
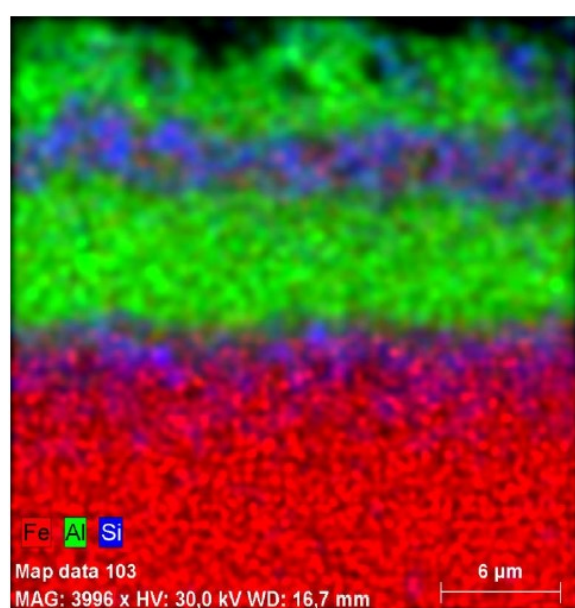


187_SEDate:21.11.2012 15:22:49Image
size:512 x 512Mag:4000xHV:30,0kV

Obr. 62. Plošné rozložení prvků Fe - Al – Si v povrchové vrstvě vzorku AB

Tab. 10. Složení subvrstev dílu od firmy VW Kassel vz. 2B (levá strana)

Číslo/ pozice měření	Al		Si		Fe		Mn		poměr Al/Si	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	49,64	48,08	1,95	2,09	47,62	49,06	0,79	0,77	25,46	23,00
2	7,42	6,29	2,22	1,53	88,89	90,68	1,48	1,5	3,34	4,11
3	28,04	27,7	4,97	5,14	65,81	65,89	1,18	1,28	5,64	5,39
4	27,56	28,6	7,01	7,7	64,02	62,28	1,39	1,42	3,93	3,71
5	50,71	49,93	0,93	0,9	47,74	48,48	0,62	0,69	54,53	55,48
6	9,14		4,3		84,91		1,65		2,13	

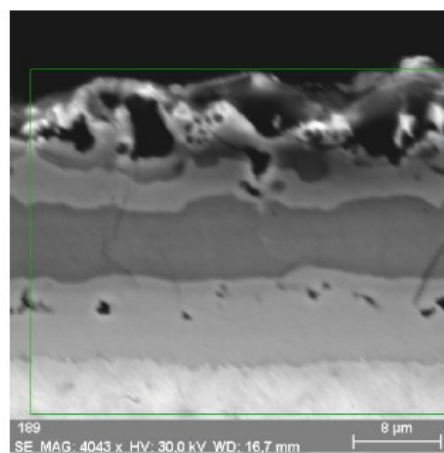
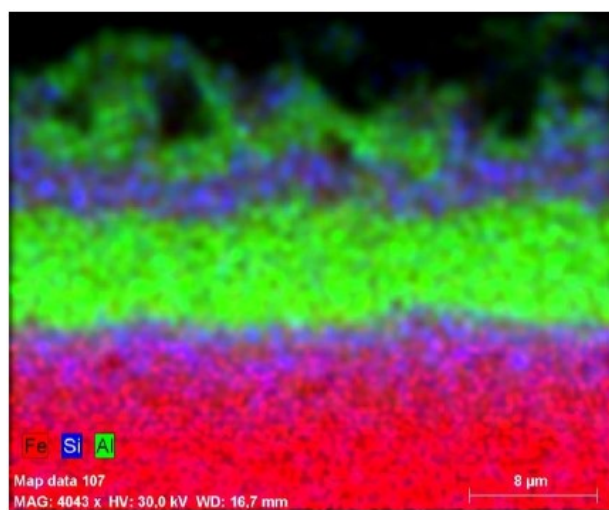


185_SEDate:18.11.2012 23:05:55Image
size:512 x 512Mag:3996,298058xHV:30,0kV

Obr. 63. Plošné rozložení prvků Fe - Al – Si v povrchové vrstvě vzorku 2B

Tab. 11. Složení subvrstev dílu od firmy VW Kassel vz. AA (pravá strana)

Číslo/ pozice měření	Al		Si		Fe		Mn		poměr Al/Si	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
2	7,21	4,41	1,7	1,16	89,61	92,9	1,48	1,54	4,24	3,80
3	21,52	23,96	5,24	4,74	71,93	69,96	1,31	1,34	4,11	5,05
4	27,78	27,54	5,73	5,7	65,01	65,27	1,49	1,49	4,85	4,83
5	48,85	48,68	0,75	0,82	49,61	49,66	0,79	0,84	65,13	59,37
6	11,37	9,5	3,26	3,54	84,15	85,41	1,22	1,55	3,49	2,68

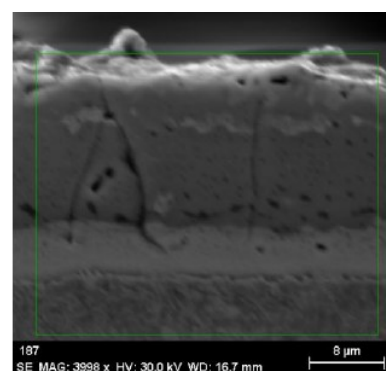
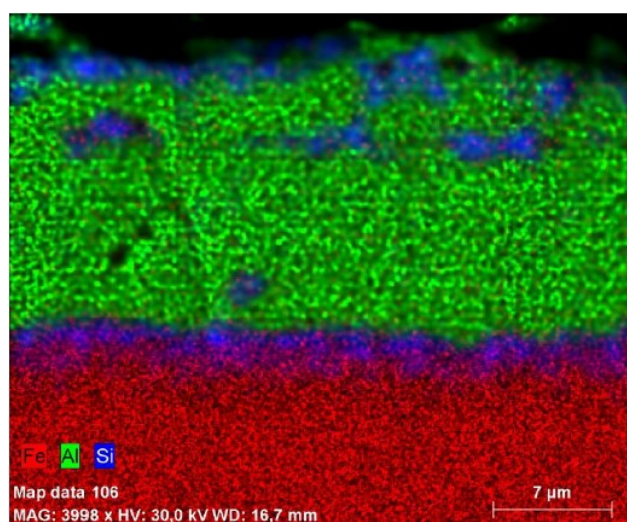


189_SEDate:24.11.2012 19:08:52Image
size:512 x
512Mag:4042,53235xHV:30,0kV

Obr. 64. Plošné rozložení prvků Fe - Al – Si v povrchové vrstvě vzorku AA

Tab. 12. Složení subvrstev dílu od firmy Benteler vz. 3B (levá strana)

Číslo/ pozice měření	Al		Si		Fe		Mn		poměr Al/Si	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	1	36,37	47,69	10,17	3,55	52,47	47,9	0,99	0,87	3,58
2	7,32	5,1	2,54	1,56	88,67	91,87	1,47	1,48	2,88	3,27
3	20,36	18,44	7,12	6,39	71,24	73,83	1,28	1,34	2,86	2,89
4	33,89	34,65	7,08	6,92	57,82	57,2	1,22	1,23	4,79	5,01
5	49,53	49,22	1,6	1,78	48,14	48,33	0,73	0,67	30,96	27,65

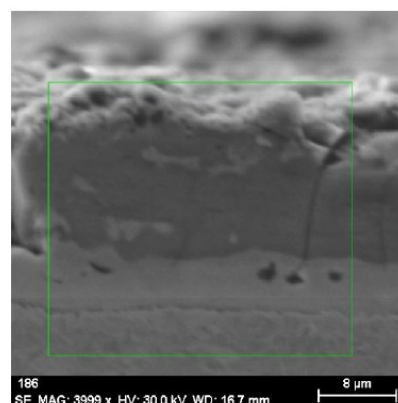
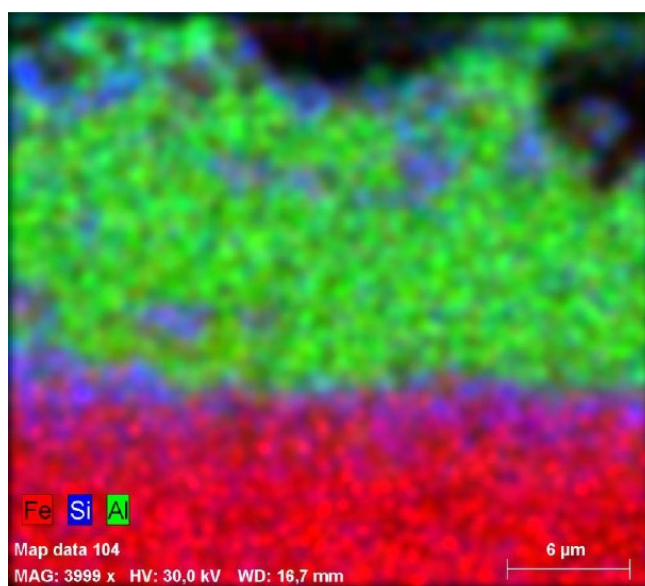


187_SEDate:19.11.2012
9:05:12Image size:512 x
512Mag:3997.824537xHV:30.0kV

Obr. 65. Plošné rozložení prvků Fe - Al – Si v povrchové vrstvě vzorku 3B

Tab. 13. Složení subvrstev dílu od firmy Benteler vz. 3A (pravá strana)

Číslo/ pozice měření	Al		Si		Fe		Mn		poměr Al/Si	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	29,6		8		60,95		1,45		3,70	
2	7,07	4,76	2,19	1,59	89,38	92,16	1,35	1,49	3,23	2,99
3	26,91	26,41	7,31	7,03	64,45	65,22	1,33	1,34	3,68	3,76
4	29,81	35,64	7,35	6,21	61,43	56,9	1,41	1,25	4,06	5,74
5	49,08	49,01	2,22	1,94	47,87	48,3	0,83	0,75	22,11	25,26



186_SEDate:19.11.2012 10:18:17
Image size:512 x 512
Mag:3998,632192xHV:30,0kV

Obr. 66. Plošné rozložení prvků Fe - Al – Si v povrchové vrstvě vzorku 3A

Z důvodů nekompaktnosti povrchové vrstvy (oblast 1) nebylo jednoznačné vyhodnocení chemického složení v příčných řezech. Z tohoto důvodu bylo měření doplněno o přímé měření z povrchu. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 14.

Tab. 14. Chemické analýzy povrchu plechů

Výlisek 2A (šedý)

	č.měření	Al	Si	Fe	Mn	Al/Si	O	Ca
vz.2A1	1	41,08	3,59	46,54	0,92	11,44	7,61	0,26
	2	40,83	3,64	46,63	0,9	11,22	7,82	0,17
	3	40,72	3,59	45,99	0,83	11,34	8,73	0,15
	4	40,64	3,64	47,08	0,82	11,16	7,73	0,1
vz.2A6	1	36,81	2,86	50,56	0,95	12,87	8,8	0,02
	2	36,34	2,99	51,08	0,96	12,15	8,6	0,03
	3	36,54	2,93	50,76	0,98	12,47	8,7	0,02
	4	35,44	2,85	52,07	0,95	12,44	8,66	0,02

Výlisek 2B (modrý)

	č.měření	Al	Si	Fe	Mn	Al/Si	O	Ca
vz.2B1	1	41,38	1,94	45,38	0,82	21,33	10,48	-
	2	41,39	1,98	45,68	0,93	20,90	10,02	-
	3	41,55	1,85	45,6	0,9	22,46	10,10	-
	4	41,31	2,01	45,74	0,81	20,55	10,13	-
vz.2B6	1	41,64	2,09	44,71	0,81	19,92	10,72	0,03
	2	42,00	2,03	44,56	0,90	20,69	10,51	0
	3	38,54	1,53	48,86	0,88	25,19	10,19	0
	4	40,74	1,87	46,68	0,95	21,79	9,75	0,01

Výlisek 3A (modrý)

	č.měření	Al	Si	Fe	Mn	Al/Si	O	Ca
vz.3A1	1	37,41	3,56	50,85	1,05	10,51	7,11	0,02
	2	37,16	3,37	50,46	0,95	11,03	8,06	-
	3	36,93	3,49	50,31	0,93	10,58	8,29	0,04
	4	37,52	3,28	50,43	0,93	11,44	7,81	0,03

Výlisek 3B (šedý)

	č.měření	Al	Si	Fe	Mn	Al/Si	O	Ca
vz.3B1	1	37,61	3,74	49,47	0,91	10,06	8,26	0,02
	2	38,24	3,48	49,45	0,95	10,99	7,86	0,02
	3	38,04	3,5	49,4	0,5	10,87	8,19	0,02
	4	38,02	3,57	50,15	0,97	10,65	7,28	-

Výlisek AA (modrý)

	č.měření	Al	Si	Fe	Mn	Al/Si	O	Ca
vz.AA1	1	41,1	1,9	44,74	0,87	21,63	11,39	-
	2	41,46	1,82	43,95	0,8	22,78	11,96	-
	3	40,96	1,89	44,76	0,87	21,67	11,52	-
	4	49,44	2,02	44,96	0,83	24,48	10,82	-

Výlisek AB (šedý)

	č.měření	Al	Si	Fe	Mn	Al/Si	O	Ca
vz.AB1	1	41,28	3,66	46,12	0,83	11,28	7,79	0,33
	2	40,82	3,73	46,33	0,84	10,94	7,87	0,4
	3	41,29	3,66	45,97	0,79	11,28	8,05	0,22
	4	41,23	3,74	46,43	0,79	11,02	7,54	0,27

Z důvodů lepšího přehledu jsou střední hodnoty sumarizovány v tab. 15.

Tab. 15. Souhrnné porovnání poměru Al/Si [hm. %]

Pozice měření	2A	2B	3A	3B	AA	AB
2- intermetalická vrstva	3,29	3,73	3,11	3,08	4,02	3,03
3-mezivrstva	3,70	5,52	3,72	2,87	4,58	13,80
4-heterogenity v Al vrstvě	4,82	3,82	4,90	4,90	4,84	3,36
5- homogenní Al oblast	26,44	55,00	17,88	29,30	62,25	28,41
6- okolí dut v internet.vrstvě	-	2,13	-	-	3,09	-
Měření povrchu plechů	11,29	21,31	10,89	11,15	22,64	11,13

Z naměřených hodnot vyplývá následující:

Difúzní vrstva (pozice měření 2) u výlisku od dodavatele VW Kassel (vzorek 2B a AA) dosahovala tloušťky 14,37 [μm] a 13,19 [μm] (označeno červeně v tab. 7). U těchto dílů byl zjištěn dvojnásobný rozměr tloušťky intermetalické vrstvy. Tato intermetalická vrstva je bohatší na prvky Fe a Si ve srovnání s převažujícím objemem povrchové vrstvy. S narůstající tloušťkou intermetalické vrstvy narůstá rovněž podíl heterogenit přímo ve vrstvě bohaté na hliník a především je zde tendence k formování souvislé mezivrstvy v hliníkovém pásmu. Z hlediska zjištěných rozdílů je podstatné, že u dílu od dodavatele VW Kassel (vz. 2B a AA) již dochází ke vzniku další souvislé vrstvy bohatší o prvky Fe a Si v okolní vrstvě s převažujícím obsahem Al. Vhodný rozměr intermetalické vrstvy je uváděn cca. 11 [μm].

U obou hodnocených vzorků od dodavatele Benteler Automotive Rumburk (vzorek 3A, 3B) byly naměřeny vzájemně si odpovídající hodnoty. Intermetalická vrstva dosahovala tloušťky cca. 10 [μm].

Souvislá intermetalická vrstva s vyšší tloušťkou souvisí s jiným zabarvením povrchu materiálu. Domnívám se, že příčinou je nedodržení výrobního postupu při TMZ výlisku, zejména doby setrvání při teplotě 950 [°C] a nedodržení podmínky inertní atmosféry. Z chemických analýz vyplývá spojitost s difúzním rozdělením prvků během tepelného zpracování. U vzorků od VW Kassel (vz. 2B a AA) byl naměřen vyšší poměr Al-Si v homogenní

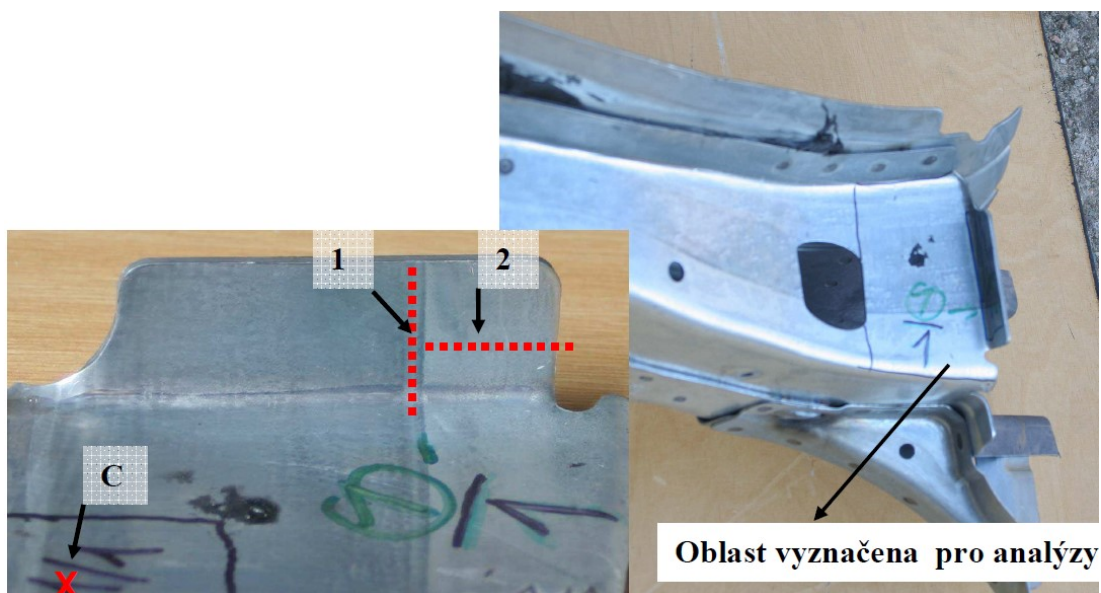
oblasti povrchové vrstvy (uvedeno v tab. 15).

Zjištěné rozdíly ve stavbě povlaku u vzorků 2B a AA lze spojovat s problematikou svařovacího procesu, jako jsou rozstřík nebo rychlé opotřebení dosedacích ploch svařovacích elektrod.

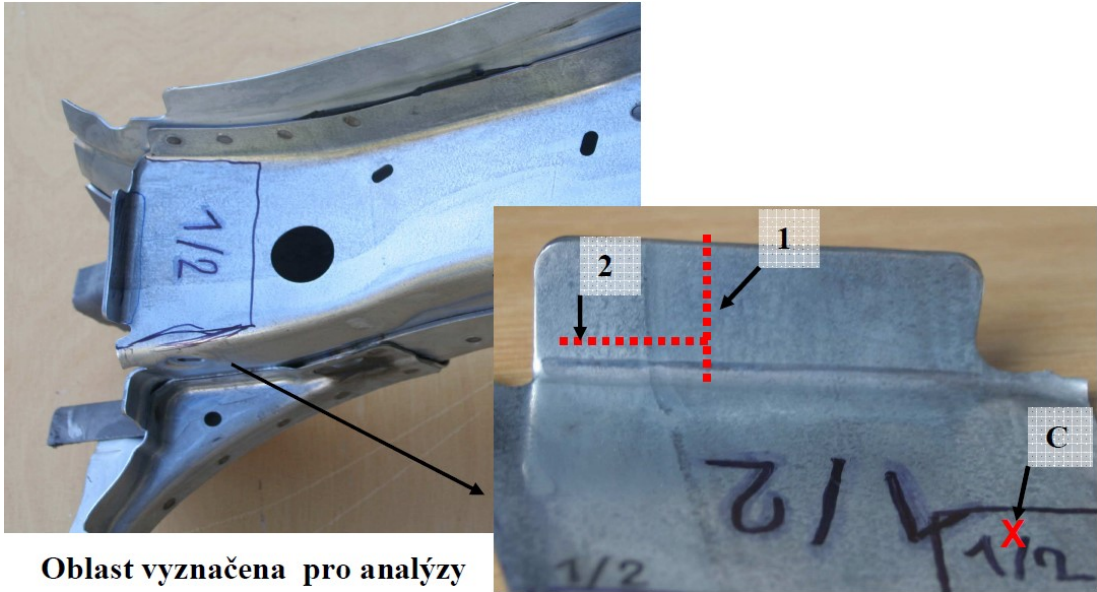
9.3 Rozbor chemického složení svařovaného materiálu

Vzorky pro rozbor chemického složení byly odebrány z ploch určených pro svařování. Jednotlivé pozice odebraných vzorků jsou znázorněny na obr. 67 – 74.

Chemický rozbor byl rozšířen o prvky, které mají výraznější vliv na svařitelnost. V souvislosti s povrchovou úpravou bylo nutno stanovit přítomnost plynů. Vzorky pro stanovení obsahu plynů byly odebrány zvlášť. Celý povlak byl u vzorků odstraněn mechanicky. Zjištěné hodnoty chemického rozboru jsou uvedeny v tab. 16 a 17.

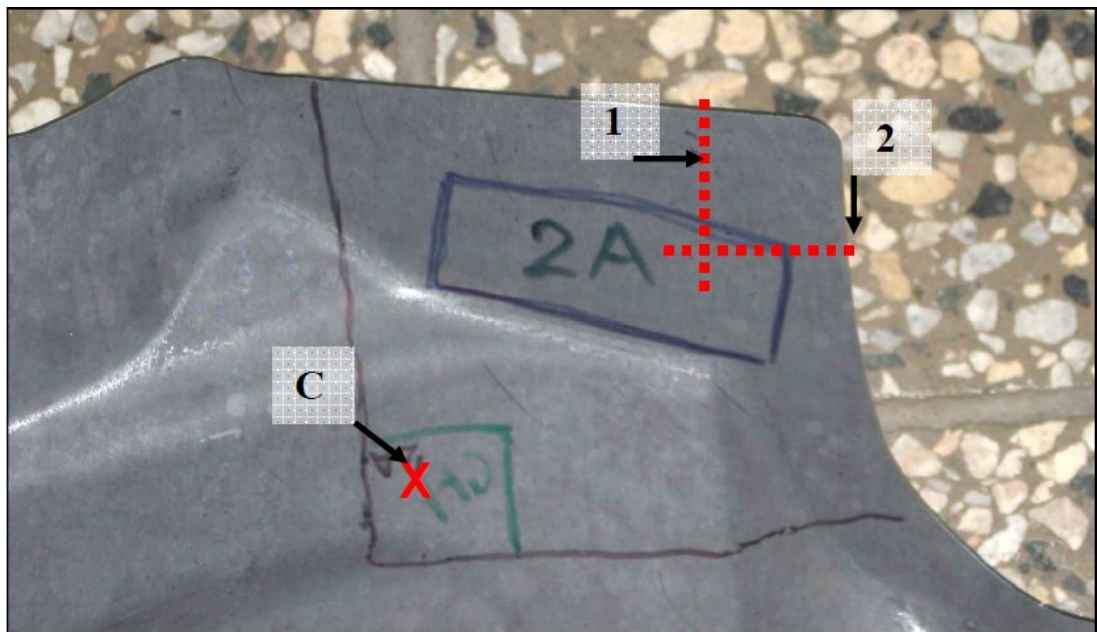


Obr. 67. Odběr vzorku z dílu 1/1 pro chemické složení a strukturní analýzy: chemické analýzy pozice C, roviny metalografických výbrusů pozice 1 a 2

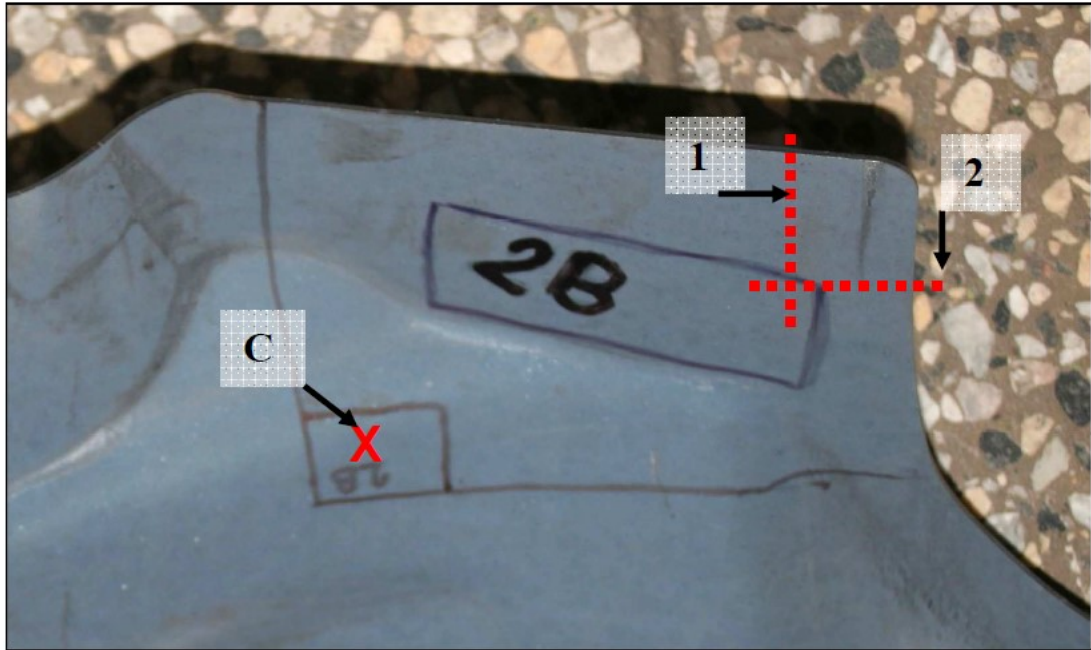


Oblast vyznačena pro analýzy

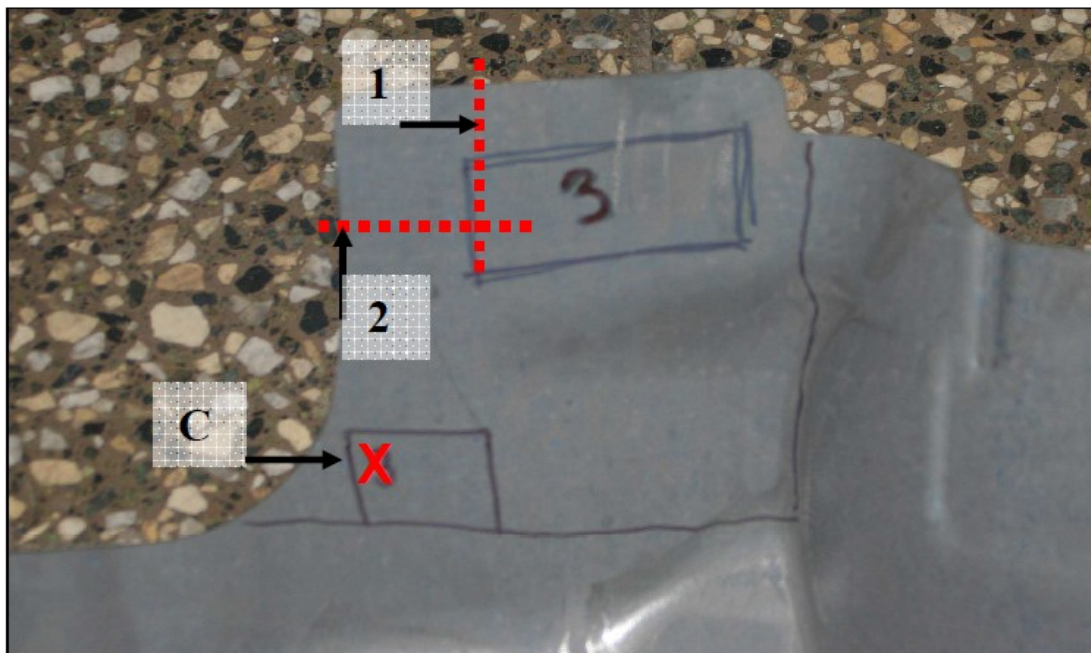
Obr. 68. Odběr vzorku z dílu 1/2 pro chemické složení a strukturní analýzy: chemické analýzy pozice C, roviny metalografických výbrusů pozice 1 a 2



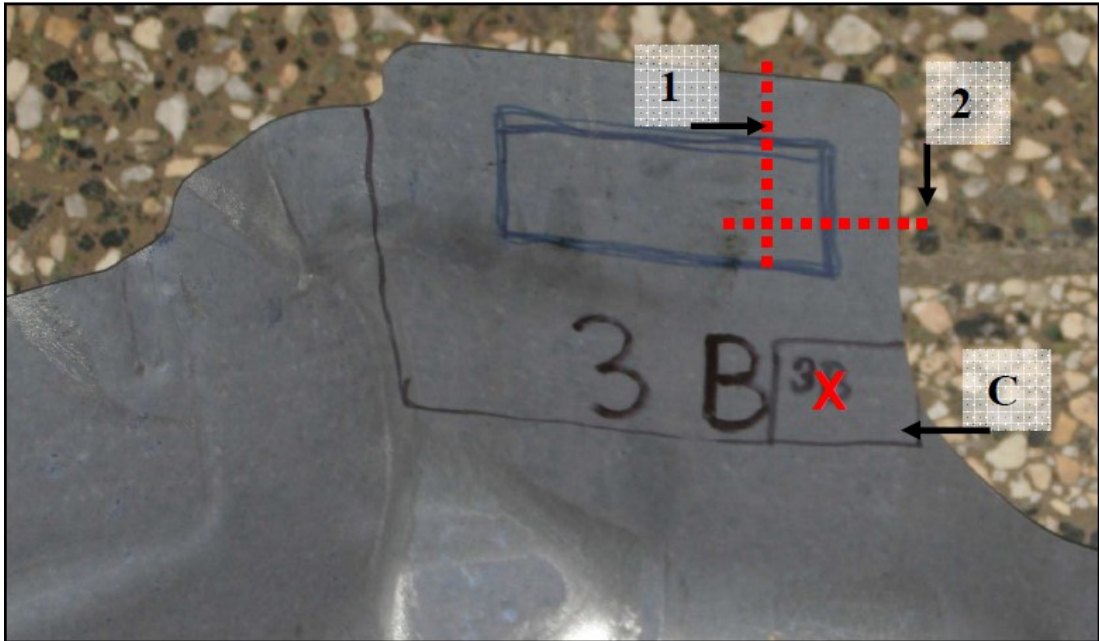
Obr. 69. Odběr vzorku z dílu 2A pro chemické složení a strukturní analýzy: chemické analýzy pozice C, roviny metalografických výbrusů pozice 1 a 2



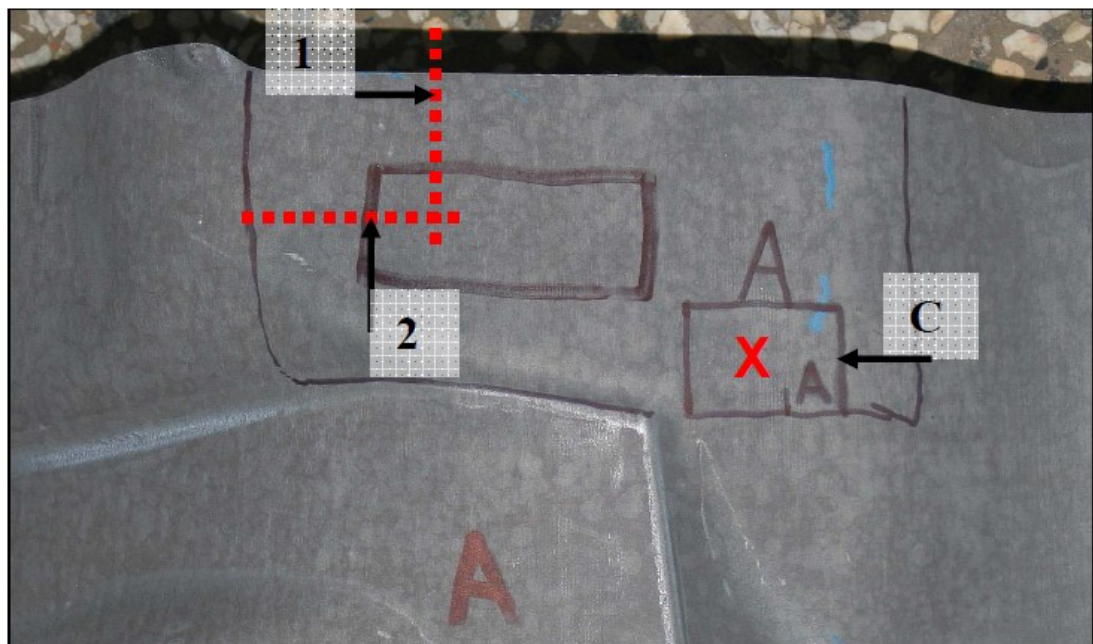
Obr. 70. Odběr vzorku z dílu 2B pro chemické složení a strukturní analýzy: chemické analýzy pozice C, roviny metalografických výbrusů pozice 1 a 2



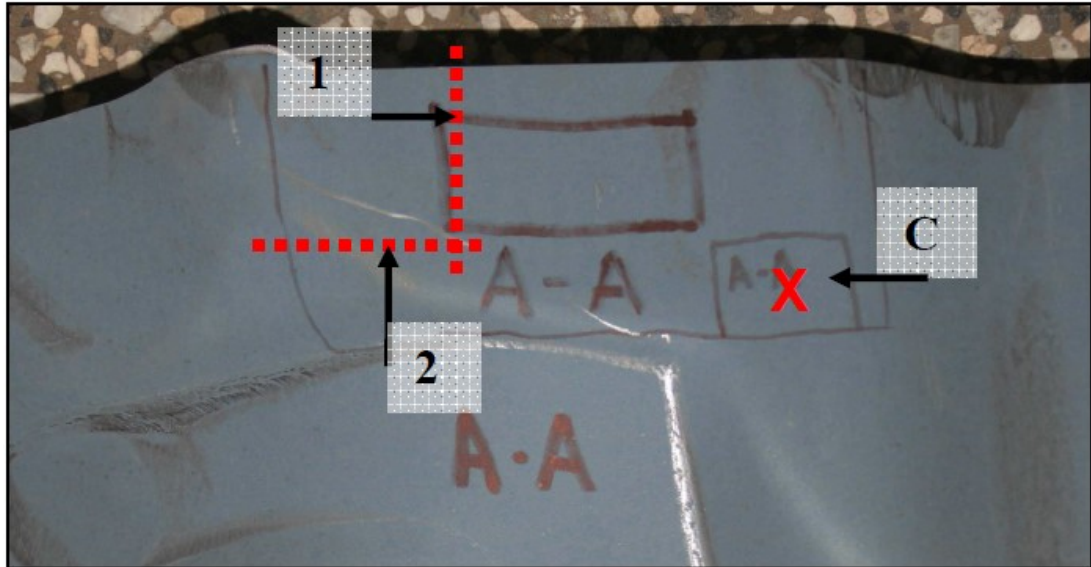
Obr. 71. Odběr vzorku z dílu 3A pro chemické složení a strukturní analýzy: chemické analýzy pozice C, roviny metalografických výbrusů pozice 1 a 2



Obr. 72. Odběr vzorku z dílu 3B pro chemické složení a strukturní analýzy: chemické analýzy pozice C, roviny metalografických výbrusů pozice 1 a 2



Obr. 73. Odběr vzorku z dílu AB pro chemické složení a strukturní analýzy: chemické analýzy pozice C, roviny metalografických výbrusů pozice 1 a 2



Obr. 74. Odběr vzorku z dílu AA pro chemické složení a strukturní analýzy: chemické analýzy pozice C, roviny metalografických výbrusů pozice 1 a 2

Tab. 16. Naměřené hodnoty chemického složení výlisků [hm. %]

č. vz.	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	V	Al _{celk}	Ti	B	Ca	Nb
2A	0,25	1,25	0,25	0,020	0,002	0,19	0,01	0,02	<0,01	<0,01	0,043	0,04	0,0035	0,0015	
2B	0,25	1,30	0,22	0,017	0,003	0,13	0,03	0,02	0,01	<0,01	0,049	0,02	0,0030		
3A	0,25	1,16	0,28	0,011	0,001	0,20	0,02	0,03	<0,01	<0,01	0,032	0,04	0,0030		
3B	0,25	1,16	0,28	0,011	0,001	0,20	0,02	0,03	<0,01	<0,01	0,032	0,04	0,0030		
AA	0,24	1,27	0,21	0,014	0,002	0,12	0,03	0,02	0,01	<0,01	0,044	0,02	0,0030		
AB	0,25	1,22	0,24	0,018	0,002	0,19	0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,038	0,04	0,0035		
1/1	0,16	1,98	0,21	0,020	0,002	0,21	0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,029	0,02	<0,0005	0,0015	<0,010
1/2	0,16	2,00	0,20	0,019	0,003	0,20	0,02	0,04	<0,01	<0,01	0,029	0,02	<0,0005	0,0025	<0,010

Tab. 17. Naměřené hodnoty chemického složení výlisků [hm. %]

Č.vz.	Cr+Mo	C+(Mn+Si)/6	Nb+Ti	N	O	H [ppm]
2A	0,19	0,50	-	0,0050	0,0028	5,2
2B	0,14	0,50	-	0,0034	0,0010	3,3
3A	0,20	0,49	-	0,0035	0,0020	6,6
3B	0,20	0,49	-	0,0041	0,0039	5,4
AA	0,13	0,49	-	0,0034	0,0016	6,8
AB	0,19	0,49	-	0,0050	0,0021	4,7
1/1	0,21	-	0,02	0,0039	0,0033	6,6
1/2	0,20	-	0,02	0,0051	0,0039	7,4

Z naměřených hodnot vyplývá:

- Všechny analyzované výlisky odpovídají požadavkům normy TL 4225 pro ocel 22MnB5. U vzorků od dodavatele VW Kassel (vz. 2B a AA) byl analyzován menší obsah Cr oproti ostatním vzorkům. Norma TL 4225 uvádí chemické složení uvedené v tab. 18. Obsah Cr má vliv na tepelné zpracování a svařitelnost materiálu.

Tab. 18. Chemické složení dle normy TL 4225 materiálu 22MnB5

C	Si	Mn	Cr	Mo	P	S	Ti	Al	B	W	N
Legierungskonzept B für Profile und Schalen (22MnB5)											
0,20 bis 0,25	0,15 bis 0,40	1,10 bis 1,40	≤ 0,35	≤ 0,35	≤ 0,025	≤ 0,005	0,020 bis 0,050	0,020 bis 0,060	0,002 bis 0,005	-	-

- U vzorků z podélného nosníku z materiálu HCT 450X (vz. 1/1 a 1/2) byl nepatrně zvýšený obsah C. Podle normy ČSN EN 10346 [33] je max. obsah C - 0,14 [%] tab. 19. Toto nepatrné překročení nemá vliv na svařitelnost.

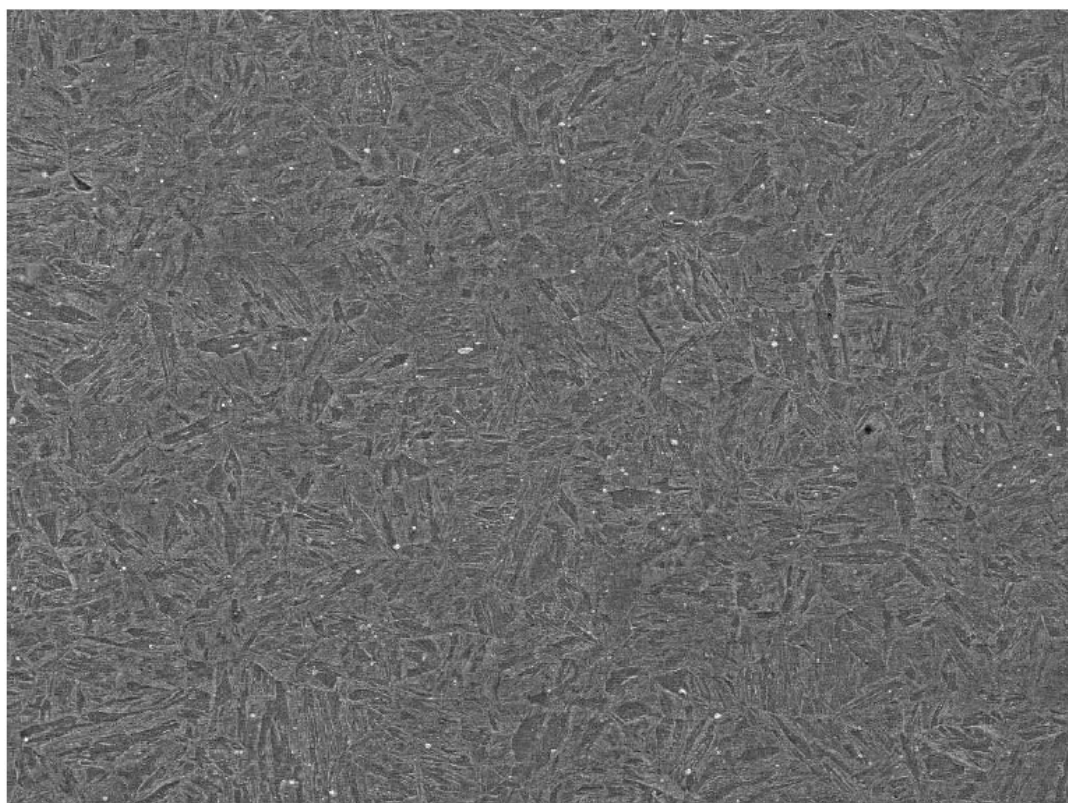
9.4 Strukturní analýzy



Místa odběrů vzorků pro zhotovení metalografických výbrusů jsou znázorněna na obr. 67 – 74.

Použitá zařízení pro metalografické hodnocení struktury a pro získání chemického rozboru:

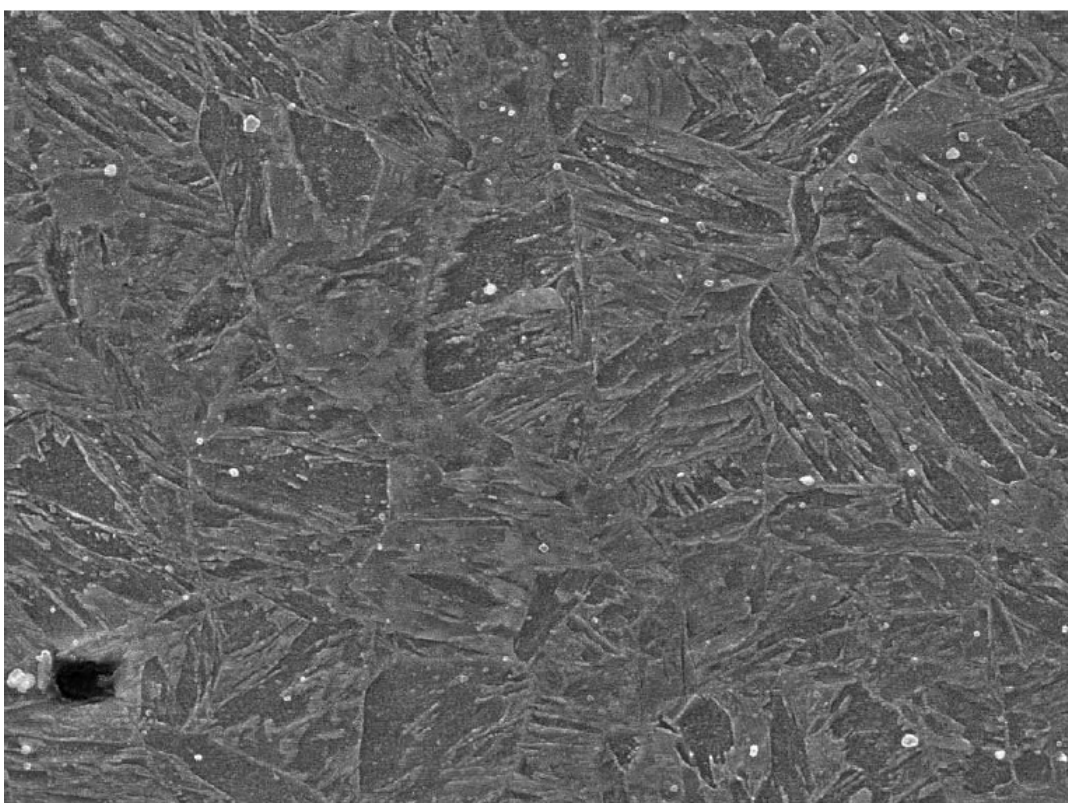
- rastrovací elektronový mikroskop TESCAN 5130SB
- mikroanalyzátor EDAX Bruker
- světelný metalografický mikroskop Neophot 32
- software pro analýzu obrazu AnalySis DOCU Olympus

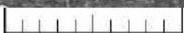

Metalografické výbrusy jsou na obr. 75 – 86.



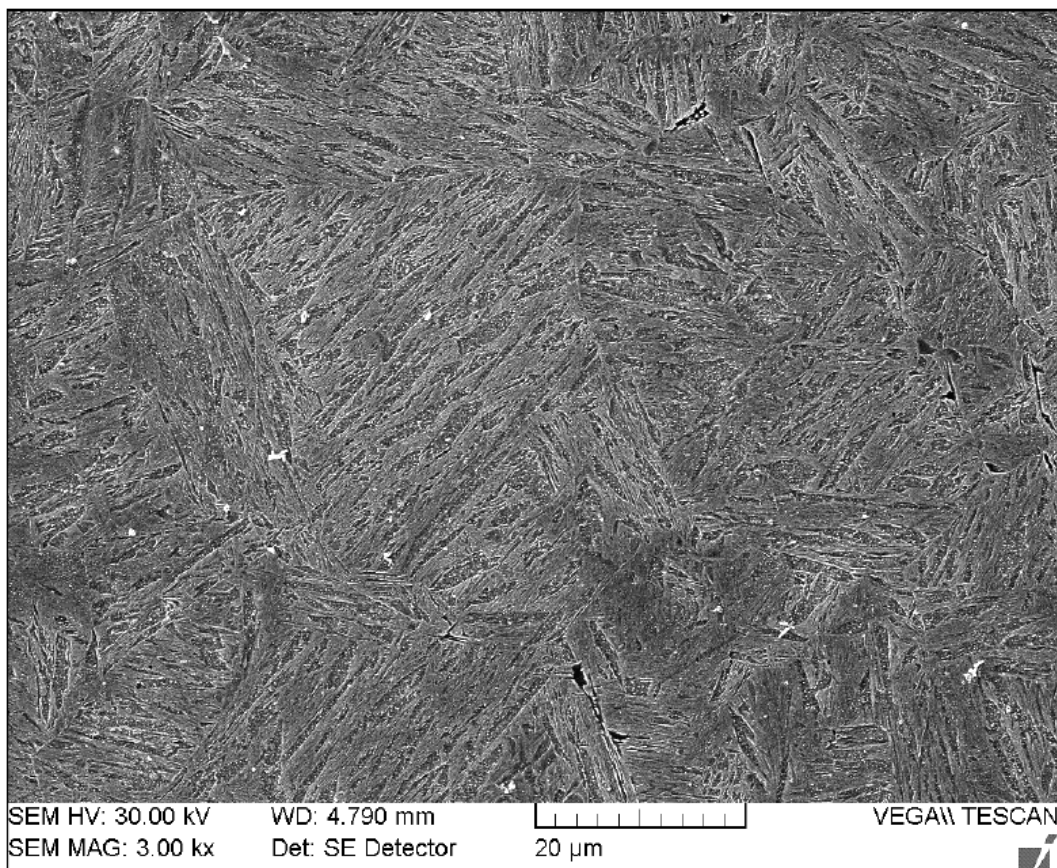
SEM HV: 30.00 kV WD: 2.568 mm  VEGA\\ TESCAN
SEM MAG: 3.00 kx Det: SE Detector 20 μ m 

Obr. 75. Metalografický výbrus vz. 2A, zv. 3000x

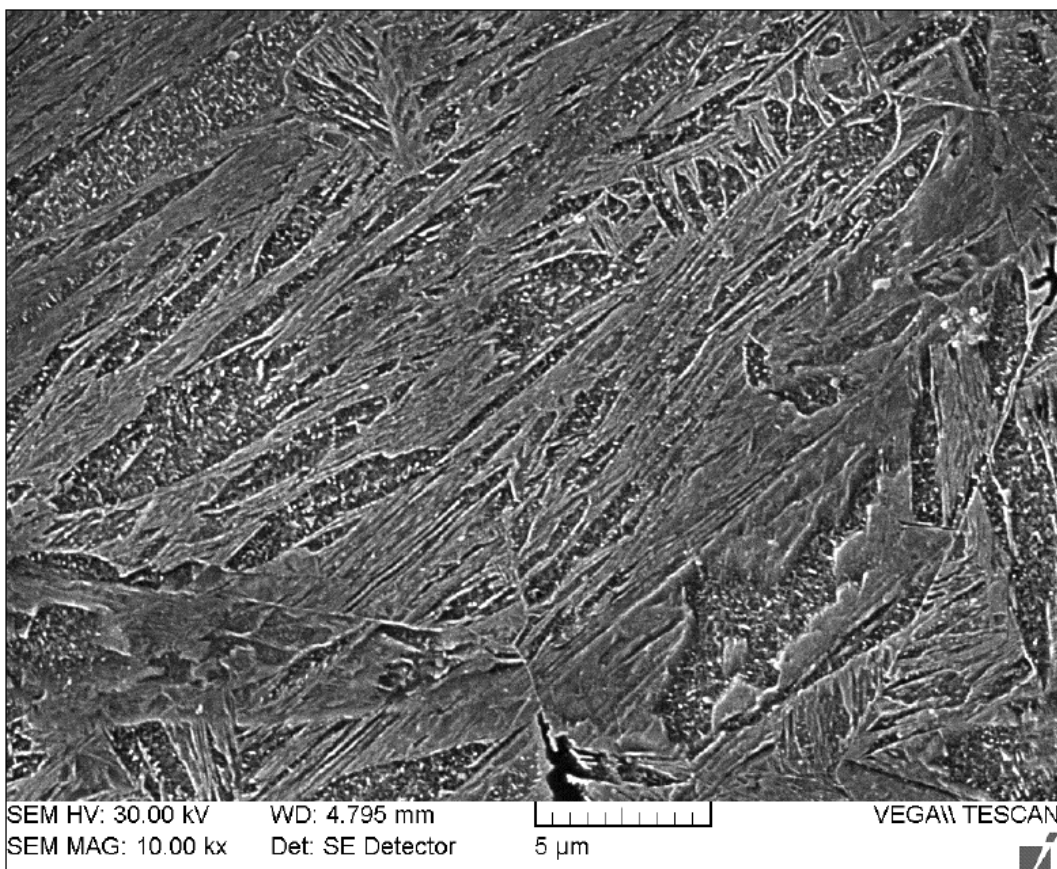


SEM HV: 30.00 kV WD: 2.626 mm  VEGA\\ TESCAN
SEM MAG: 10.00 kx Det: SE Detector 5 μ m 

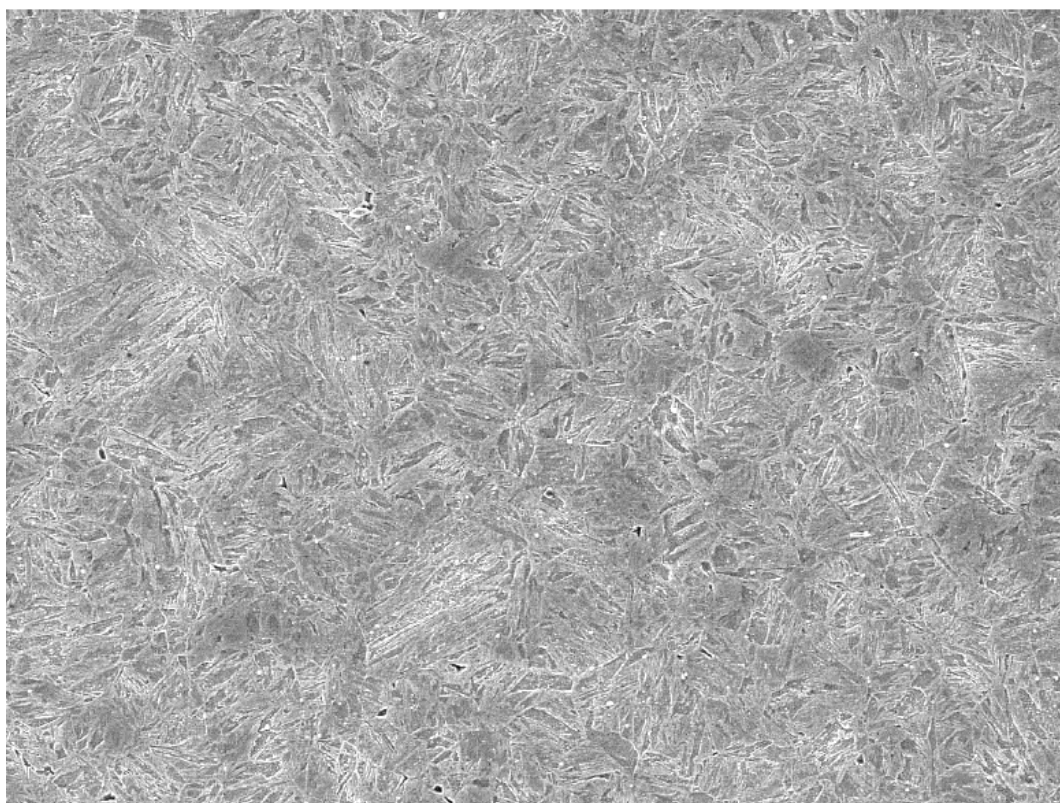
Obr. 76. Metalografický výbrus vz. 2A, zv. 10000x




Obr. 77. Metalografický výbrus vz. 2B, zv. 3000x

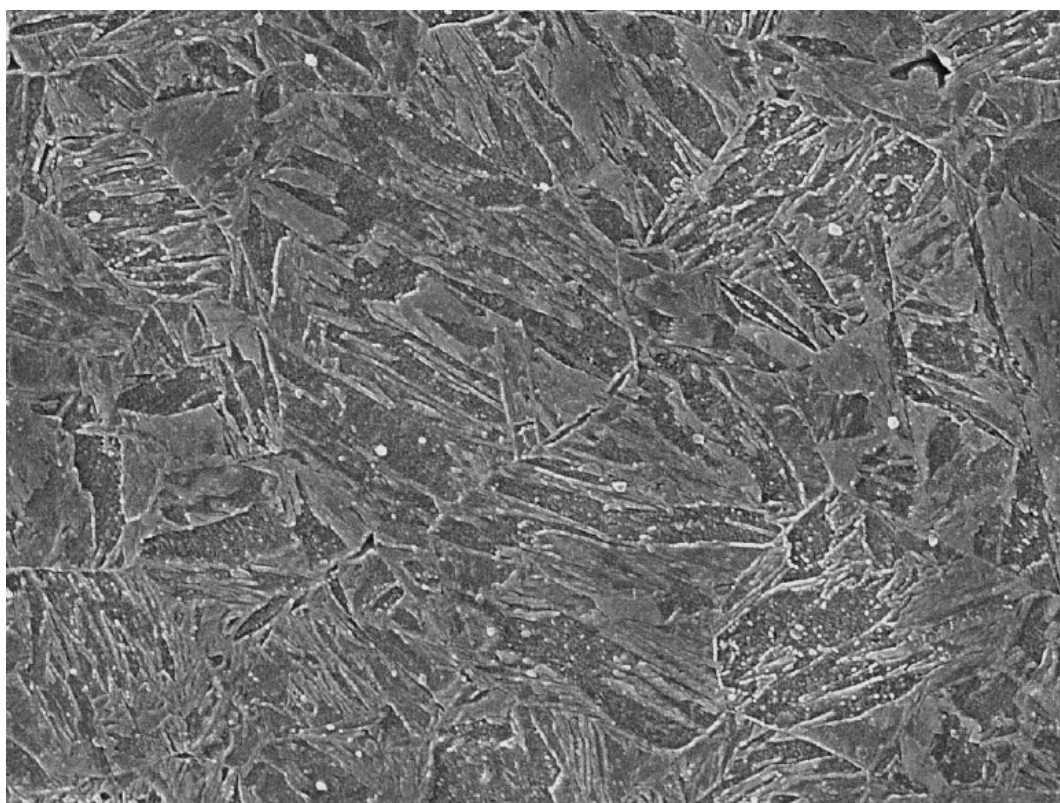


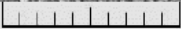
Obr. 78. Metalografický výbrus vz. 2B, zv. 10000x



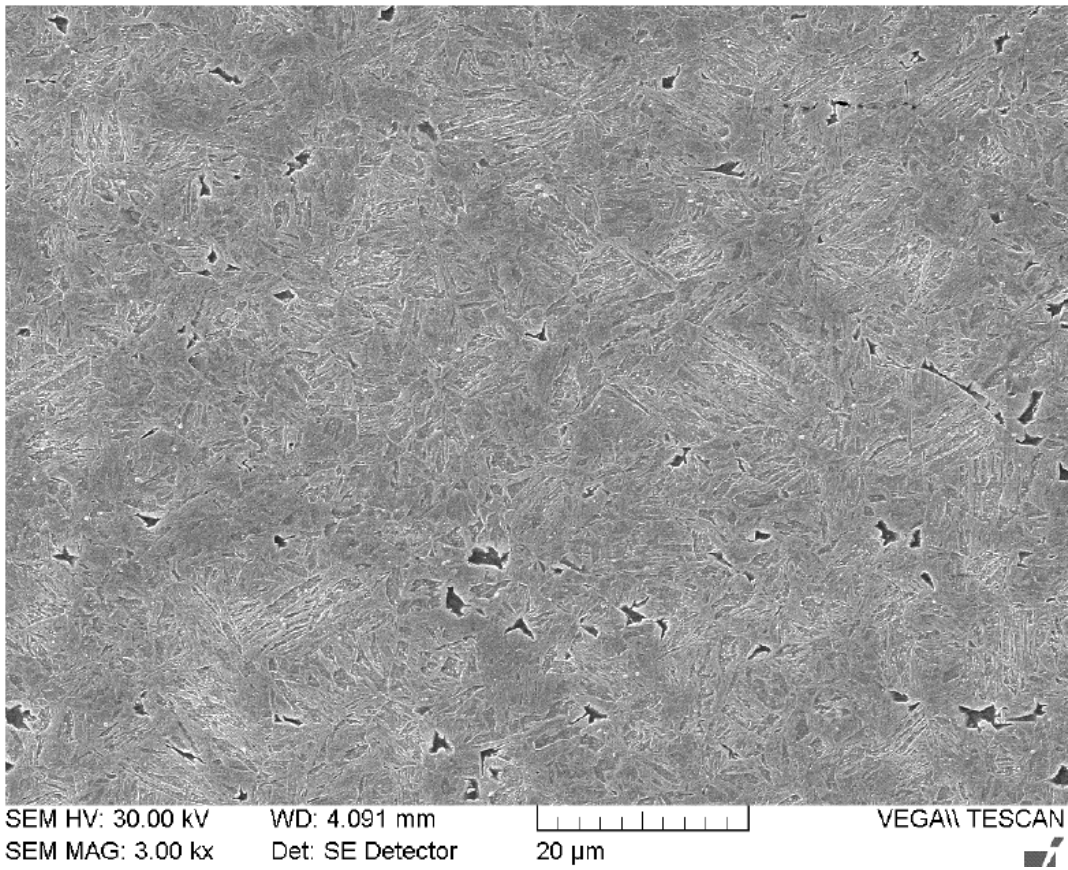
SEM HV: 30.00 kV WD: 4.858 mm  VEGA\\ TESCAN
SEM MAG: 3.00 kx Det: SE Detector 20 µm

Obr. 79. Metalografický výbrus vz. 3A, zv. 3000x

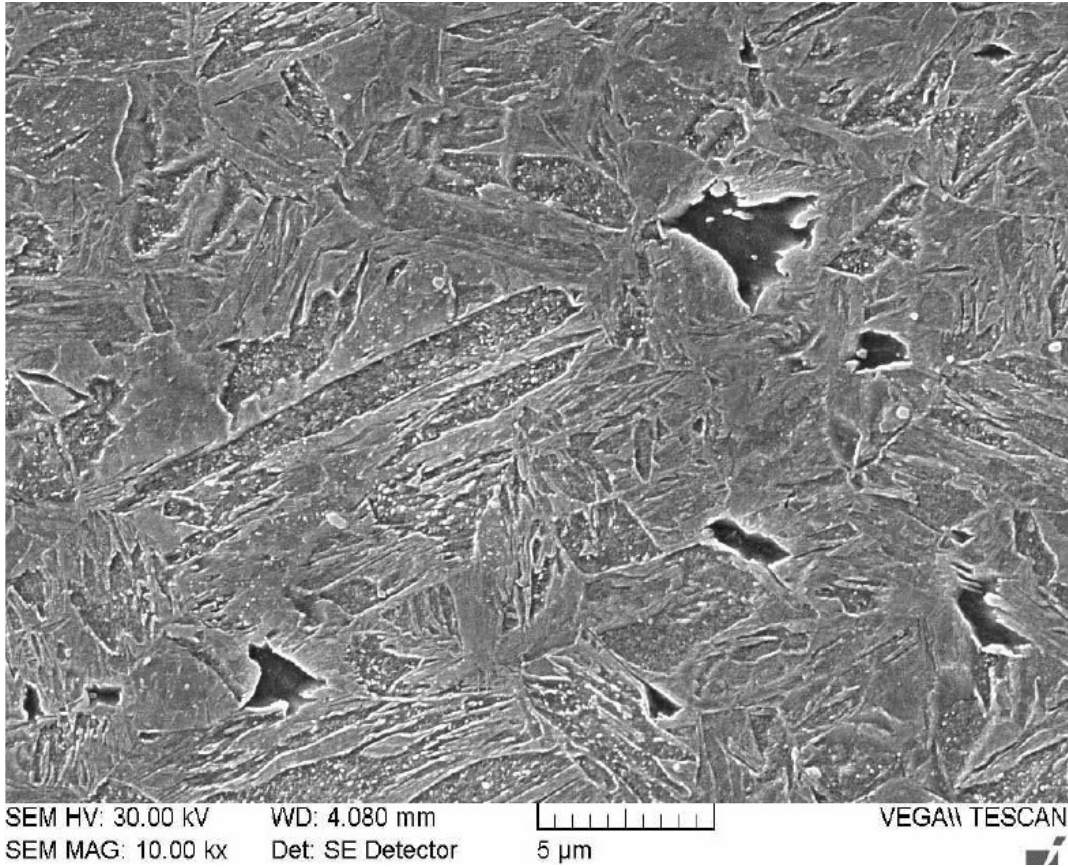


SEM HV: 30.00 kV WD: 4.896 mm  VEGA\\ TESCAN
SEM MAG: 10.00 kx Det: SE Detector 5 µm

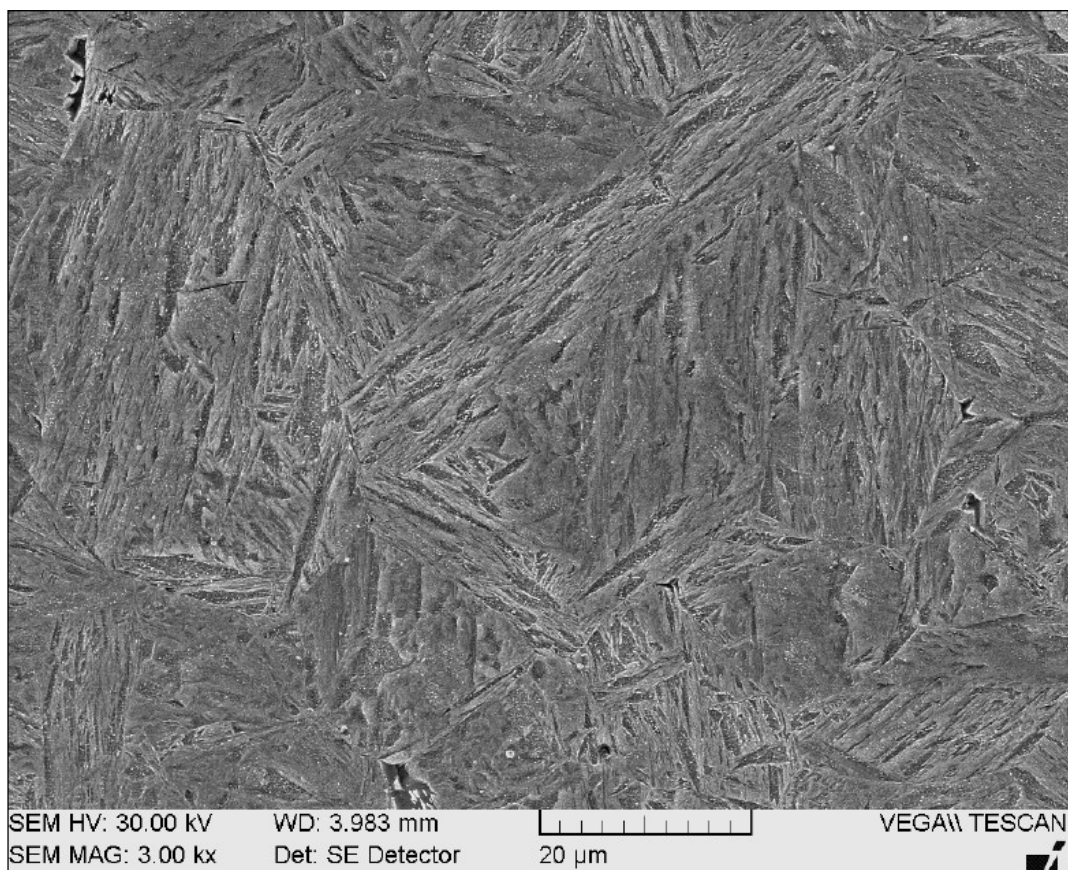
Obr. 80. Metalografický výbrus vz. 3A, zv. 10000x



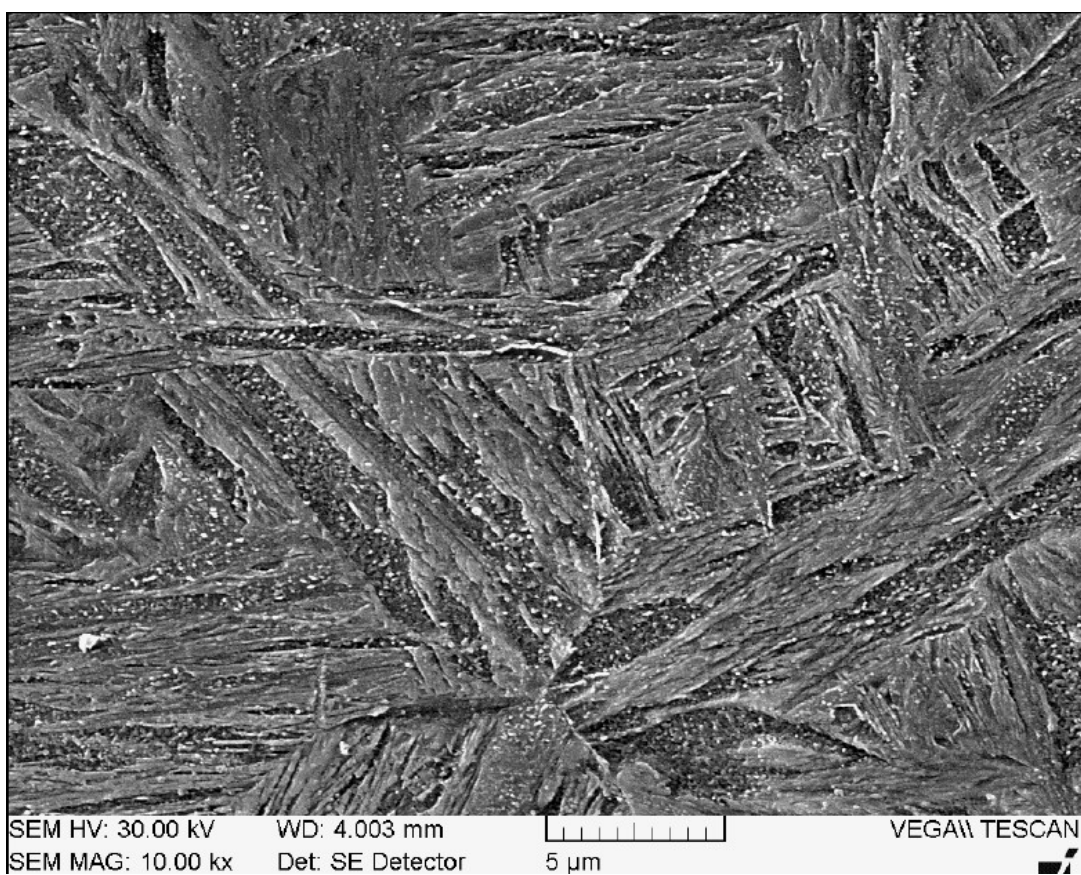
Obr. 81. Metalografický výbrus vz. 3B, zv. 3000x



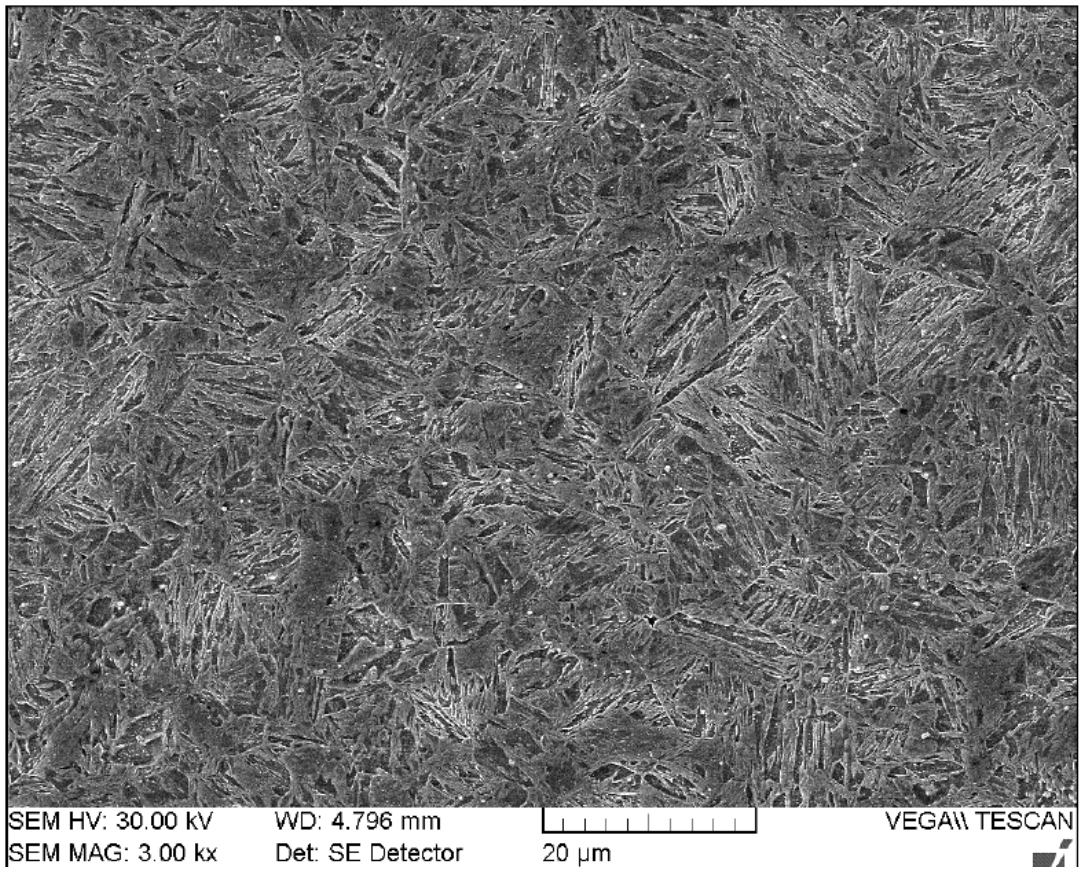
Obr. 82. Metalografický výbrus vz. 3B, zv. 10000x



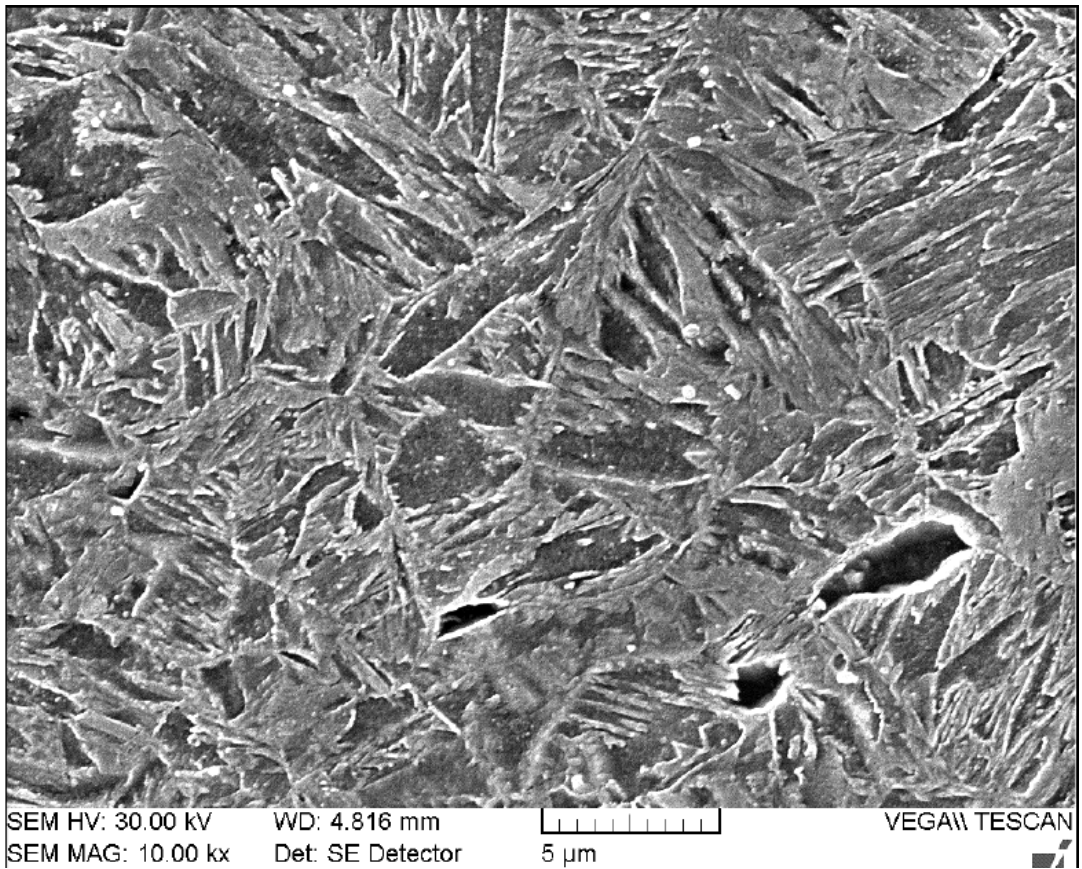
Obr. 83. Metalografický výbrus vz. AA, zv. 3000x



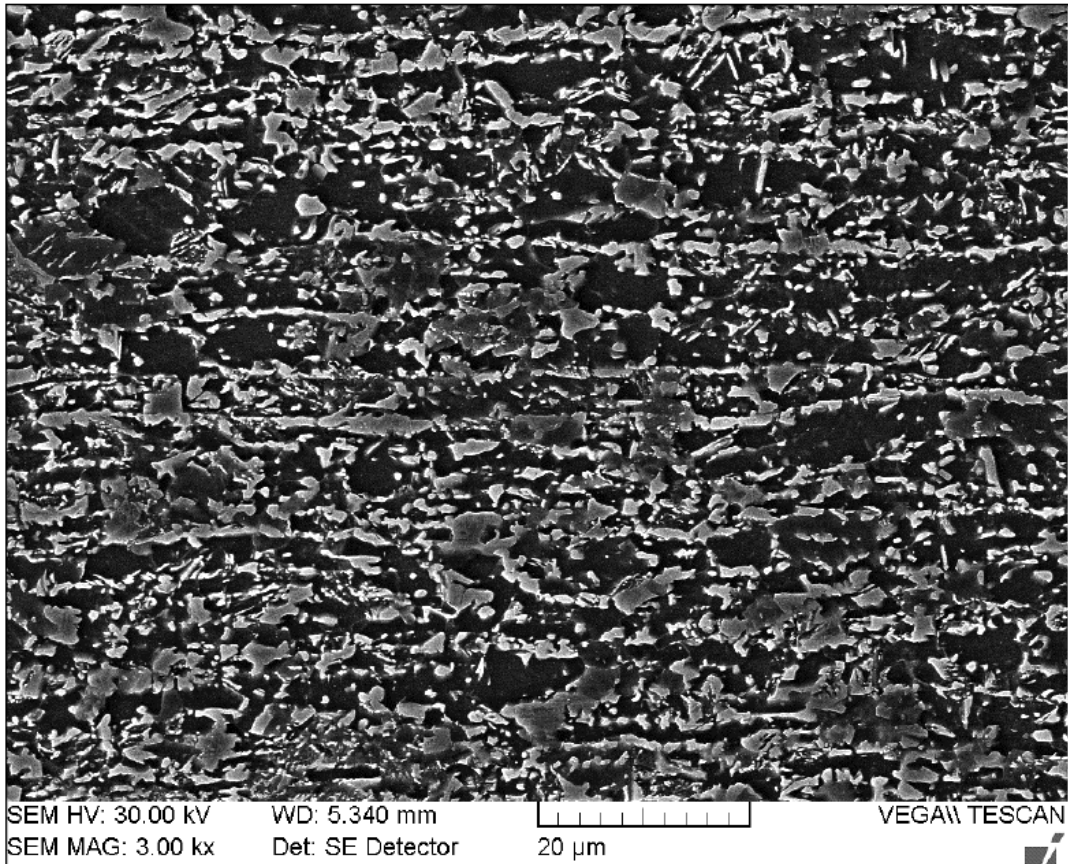
Obr. 84. Metalografický výbrus vz. AA, zv. 10000x



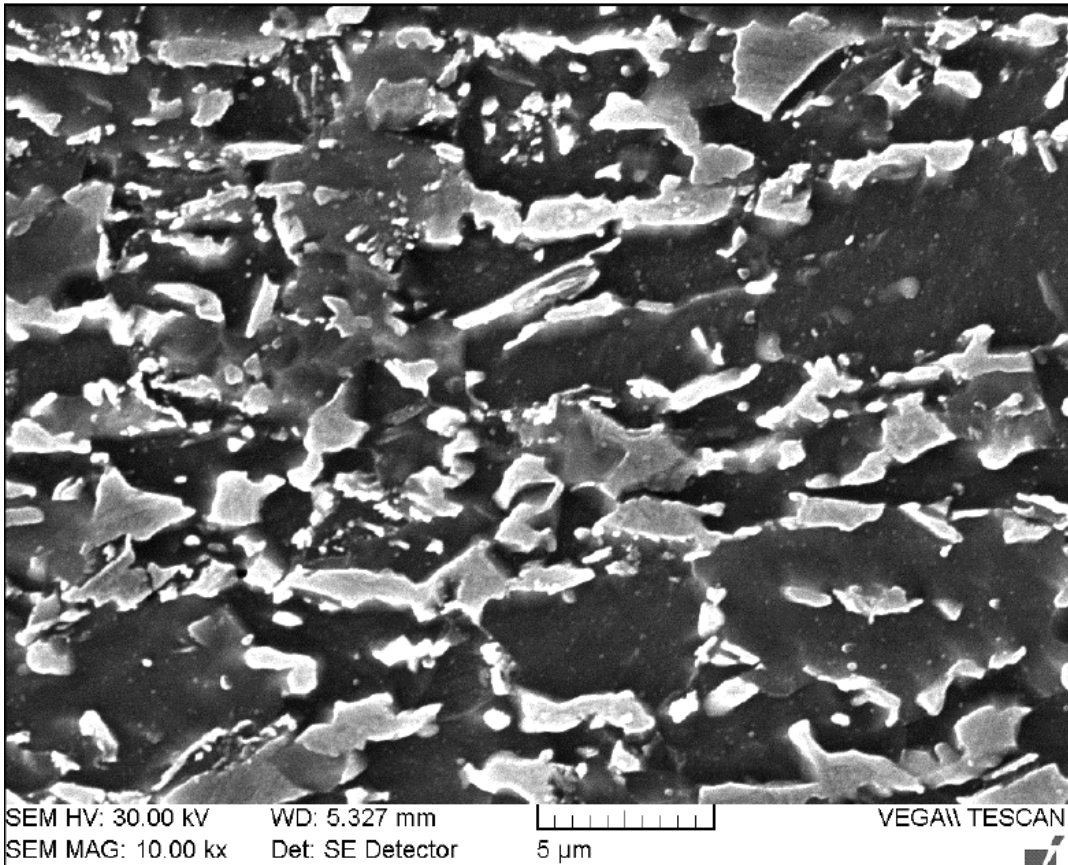
Obr. 85. Metalografický výbrus vz. AB, zv. 3000x



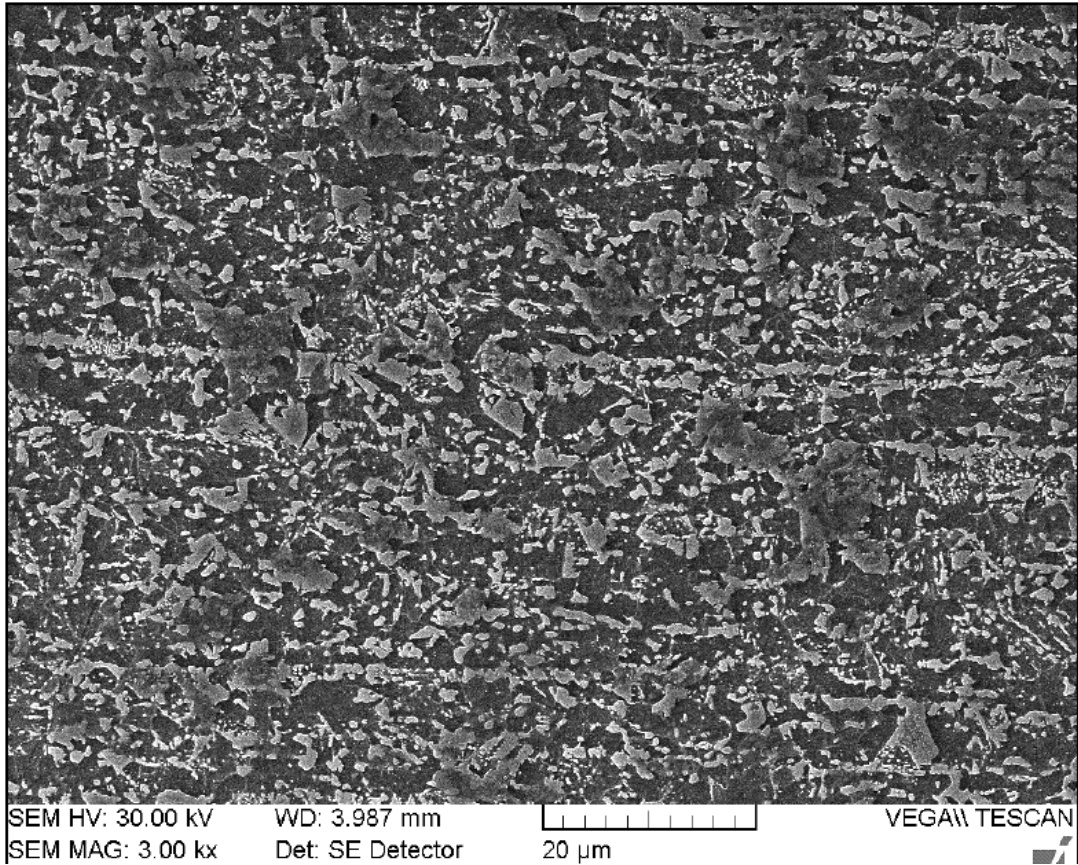
Obr. 86. Metalografický výbrus vz. AB, zv. 10000x



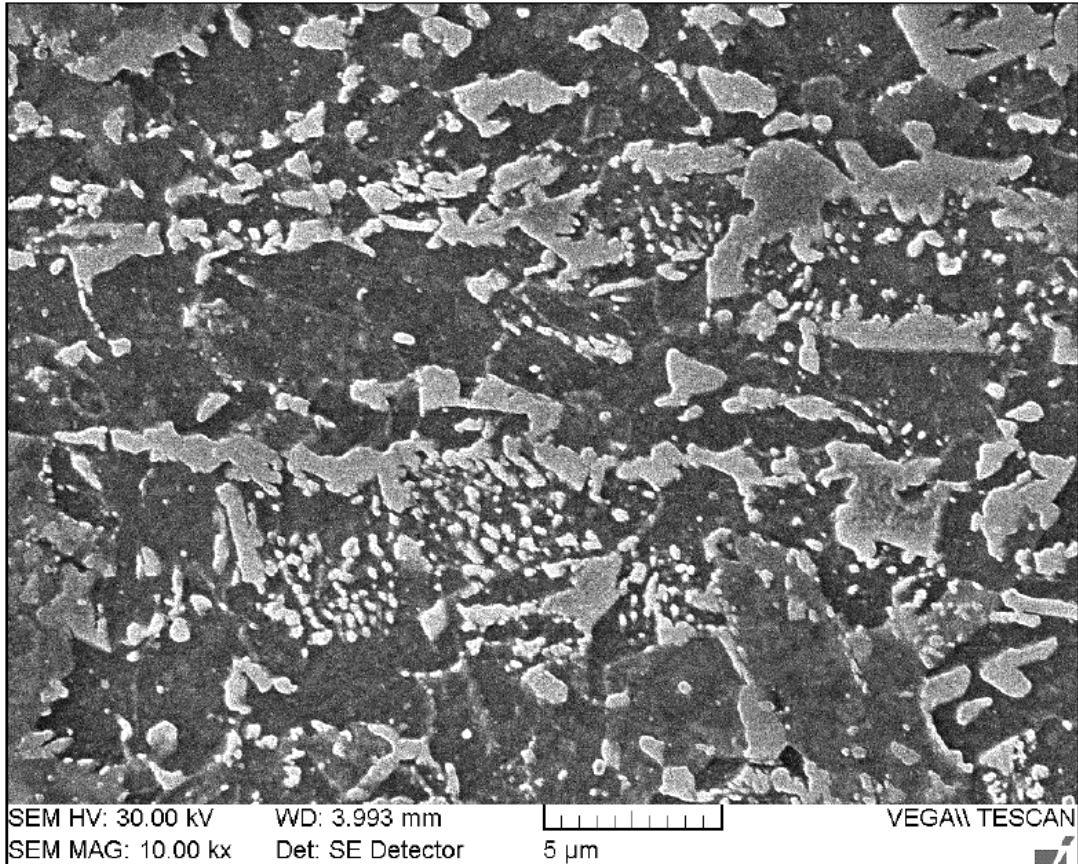
Obr. 87. Metalografický výbrus vz. 1/1, zv. 3000x



Obr. 88. Metalografický výbrus vz. 1/1, zv. 10000x



Obr. 89. Metalografický výbrus vz. 1/2, zv. 3000x



Obr. 90. Metalografický výbrus vz. 1/2, zv. 10000x

U všech hodnocených výlisků byla zjištěna struktura martenzitická, s podílem bainitu obr. 75 – 86. Metalograficky byla zjištěna jemnější struktura u vzorku 2A v porovnání se vzorkem 2B, rovněž jemnější struktura u vzorku AA ve srovnání se vzorkem AB obr. č. 83 – 86. Hrubší struktura způsobuje nižší statickou pevnost.

Při hodnocení metalografických výbrusů dvoufázové oceli HCT 450X byla zjištěna struktura feriticko – martenzitická obr. 87 – 90. Místa odběru jsou uvedena na obr. 67 a 68.

Diskuse výsledků metalografického rozboru

Z předchozích kapitol byly zjištěny na díle od dodavatele VW Kassel (vz. 2B a AA) rozdíly vnitřní stavby povlaku a dvojnásobná tloušťka difúzní vrstvy. Jedná se o díl, který při vizuální kontrole vykazoval modré zbarvení povlaku. Problémy se svařitelností jsou vykazovány u tloušťky nad 15 [μm]. Naměřené hodnoty u vzorku VW Kassel se v místech pro vytvoření odporových bodových svarů k této hodnotě přibližují. Rozdílné zbarvení povlaku může být způsobeno nedodržením výrobního postupu TMZ vysokopevnostních ocelí. Všechny uvedené parametry mají negativní vliv na svařitelnost. Hlavní příčina je ve změně přechodových odporů vlivem stavby povlaku s obsahem prvků Al a Si. Přechodové odpory je nutno prorazit vyšším svařovacím proudem, což se negativně projevuje na stabilitě celého odporového svařovacího procesu. V současné době lze konstatovat schopnost svařovacího řízení adaptabilně reagovat na zvýšené přechodové odpory. Funkce adaptabilního řízení odporového svařovacího procesu je v praxi doprovázena nežádoucími projevy jako např.: bodové svary mají nepravidelný tvar, uvnitř svarové čočky se vytvářejí tzv.: póry, které snižují pevnostní charakteristiky svarového bodu. Vedlejším projevem jsou výstřiky roztavené taveniny, která při přebytku dodané energie do bodového svaru není udržena mezi dosedacími plochami svařovacích elektrod.

9.5 Kontrola frézovacího procesu na základě analýzy časových průběhů elektrických veličin

Při bodovém odporovém svařování dochází k opotřebení pracovních ploch svařovacích elektrod. Opotřebení dosedacích ploch svařovacích elektrod lze rozdělit na mechanické a metalurgické.

Mechanické opotřebení se projevuje zvětšením průměru pracovní plochy svařovací elektrody, což má za následek pokles proudové hustoty. Dále může docházet k mechanickému poškození svařovacích elektrod od svařovací síly požadované při procesu bodového svařování. Všechny tyto procesy mají vliv na mechanické vlastnosti svařovaných elektrod.

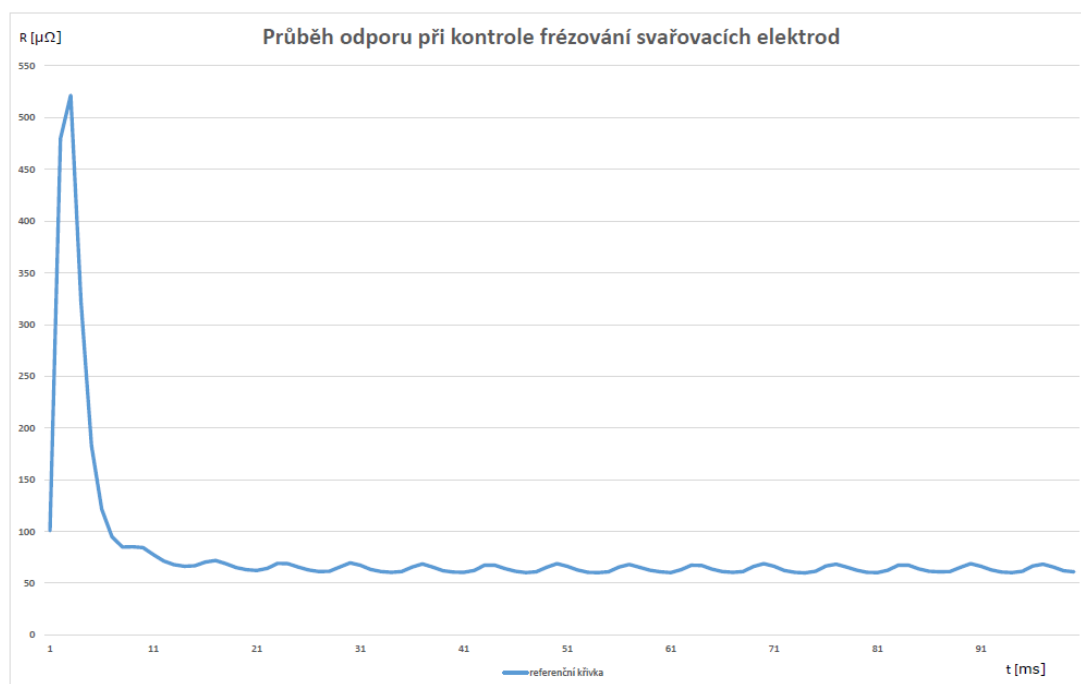
Metalurgické ovlivnění je způsobeno natavením protikorozních povlaků ocelových plechů (např.: Zn, Si, Al atd.). Tyto povlaky je nutno při odporovém svařování odtavit, aby se mohl vytvořit kvalitní bodový svar. Pracovní plocha svařovacích elektrod je metalurgicky ovlivněna prvky z povlaku a tím dochází ke změnám elektrických vlastností.

Podle normy ČSN EN ISO 8166 Odporové svařování – Způsob hodnocení životnosti bodových svařovacích elektrod při konstantním nastavení stroje [5] je životnost svařovacích elektrod pro všechny materiály definovaná jako počet svarů, které mohou být provedeny v požadované jakosti svaru před nezbytnou úpravou dotykové plochy svařovací elektrody. Elektroda dosáhne své životnosti, pokud zhotovené svary mají průměr svarové čočky při odlupovací zkoušce menší než: $d_{L_{\min}} = 3,5 \times \sqrt{t_1}$ u tří svarů na zkušebním vzorku pěti po sobě následujících svarů.

Předpokladem pro stanovení efektivního intervalu úpravy dosedacích ploch svařovacích elektrod jsou následující vstupní podmínky:


- vliv materiálu svařovacích elektrod
- vliv svařovaného materiálu – kvalita povlaku ocelových plechů, nadměrné množství oleje na výlisku
- vliv svařovacího stroje a chlazení svařovacích elektrod

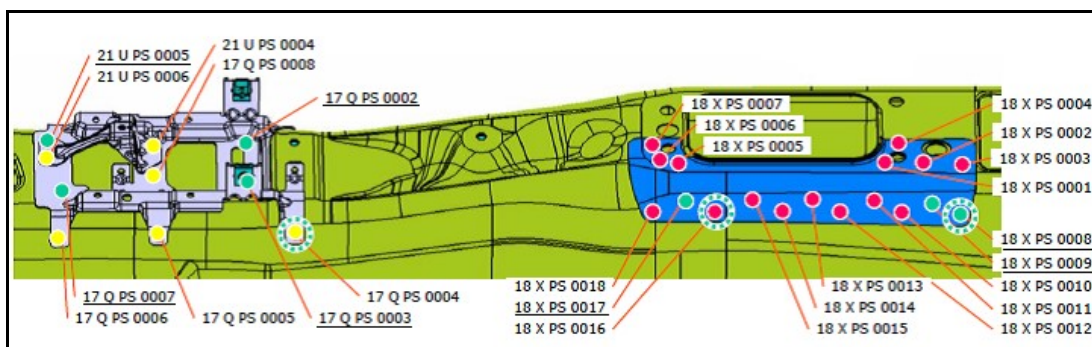
Při metalurgickém ovlivnění pracovních ploch svařovacích elektrod dochází ke změně přechodových odporů. Změna se projeví na velikosti elektrického odporu při odporovém bodovém svařování. Problémem však zůstává měření elektrických veličin při velmi krátkých časech průchodu svařovacího proudu. Pro kontrolu frézování svařovacích elektrod byl zvolen čas 100 [ms] a svařovací proud 8 [kA]. Referenční křivka průběhu elektrického odporu při frézování svařovacích elektrod byla vytvořena přímo na pracovišti za standartních podmínek pro bodové svařování. Elektrické hodnoty svařovacího proudu a napětí byly snímány na sekundární straně svařovacího transformátoru. Referenční křivka pro svařovací kleště je uvedena na obr. 91. Elektrický odpor byl spočten podle Ohmova zákona.



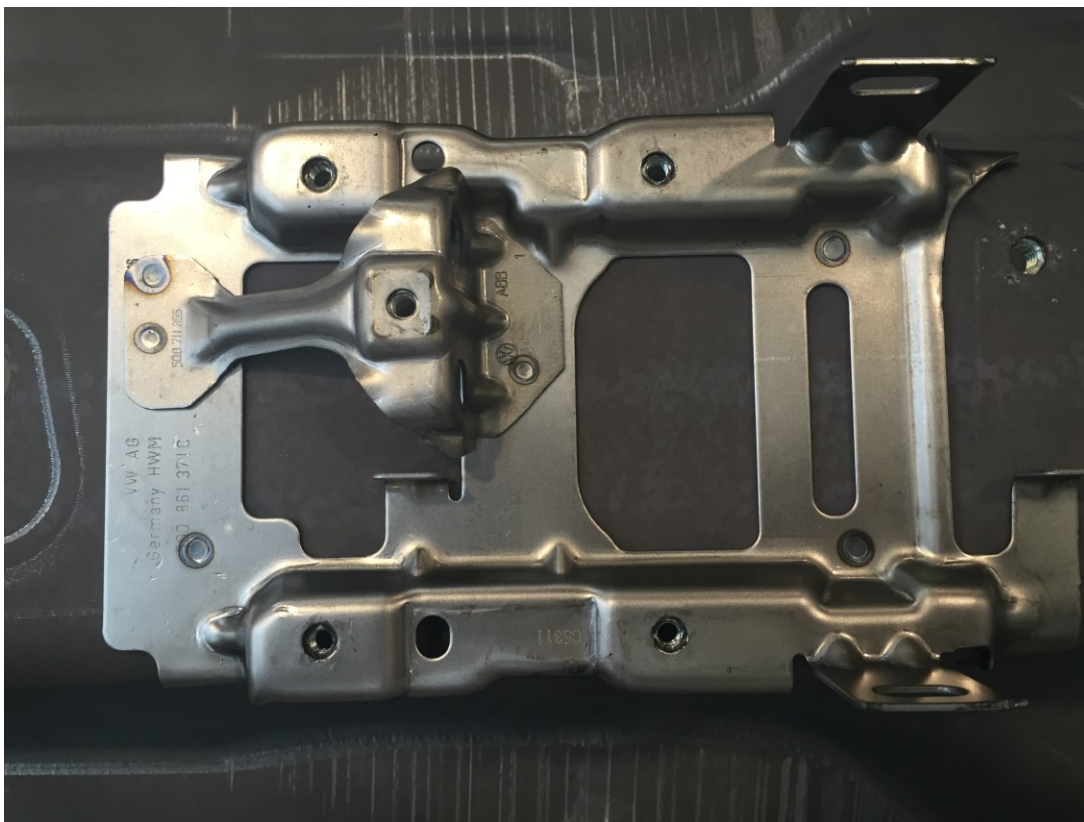
Obr. 91. Referenční křivka průběhu odporu při kontrole frézování svařovacích elektrod

Pro ověření intervalu frézování byl vybrán svařenec tunel přední podlahy z vysokopevnostní oceli s držákem ruční brzdy a tlumičem vibrací u páky řazení. Celkový svařenec je zobrazen v příloze č. 18 a 19. Na obr. 92 jsou zobrazeny svařovací body, u kterých byl hledán vhodný interval frézování a zároveň nastavena automatická kontrola po ofrézování svařovacích elektrod na základě průběhu elektrických veličin. Pro zkoušku

byly vybrány svařovací body v obrazové pracovní návodce pod tímto označením . Svařovací kleště bodovaly celkem sedm bodových svarů. Fotodokumentace svařence je na obr. 93 a 94.



Obr. 92. Výřez z obrazové pracovní návodky, celkem 7 svařových bodů z operace 1210 robot 01



Obr. 93. Držák ruční brzdy



Obr. 94. Výztuha řazení

Pro tento experiment byly nastaveny tyto základní svařovací parametry:

- svařovací proud 8,7 [kA]
- svařovací čas 385 [ms]
- svařovací síla 3 [kN]
- počet cyklů frézování 30x, při 112 bodech cyklus frézování, celkem 3 472 svarových bodů na celkový cyklus svařovacích elektrod

Svařovací středofrekvenční řízení od firmy Harms Wende vybavené uživatelským softwarem Pegasus s regulací IQR.

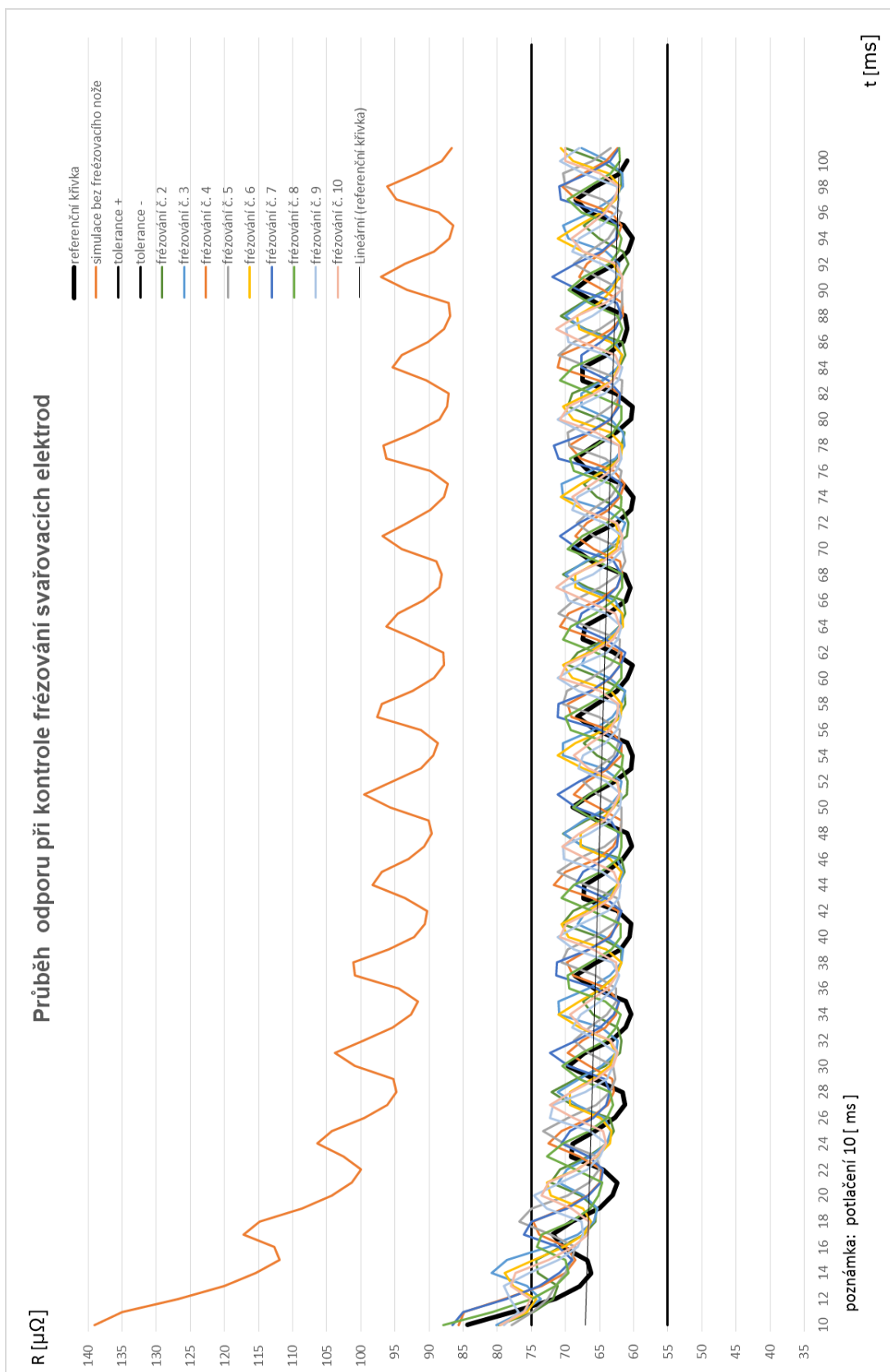
Svařovací kleště Düring, svařovací ramena uspořádaná ve tvaru X

Svařovací elektrody podle ČSN EN ISO 5821 [52] F1-16-22

Svařovaný materiál:

tunel	5Q0 803 299B	22MnB5 AS150	tl. 1,4 [mm]
držák ruční brzdy	5Q0 861 374C	DC03	tl. 1.5 [mm]
výztuha řazení	5Q0 803 806	HC 450 XD	tl. 1,5 [mm]

Smyslem frézování svařovacích elektrod je eliminovat mechanické a metalurgické ovlivnění pracovní ploch svařovacích elektrod. Při zkoušce byly zaznamenány průběhy svařovacího proudu a napětí v intervalu 1 [ms]. Z hodnot je spočten průběh elektrického odporu. Průběh je porovnáván s referenční křivkou předpokládaného elektrického odporu. Z celkem realizovaných třiceti cyklů frézování bylo pro prezentaci výsledků vybráno devět naměřených průběhů elektrických veličin. Na obr. 95 je grafické zobrazení průběhu odporu při kontrole frézování svařovacích elektrod. V příloze č. 20 je grafické zobrazení pro lepší čitelnost ve formátu A3. Křivka s názvem „ *simulace bez frézovacího nože* “ je uvedena v grafickém znázornění záměrně z důvodů ověření nastavení regulačních mezí pro průběh odporu při kontrole frézování svařovacích elektrod. Při dosažení hodnoty svařovacích bodů pro zahájení frézování, byl frézovací nůž demontován. Stav kdy neproběhl frézovací cyklus. Následně byla provedena kontrola frézování se snímáním elektrických hodnot proudu a napětí. Průběh této křivky je v celkovém čase mimo regulační meze stanovené pro automatickou kontrolu frézování svařovacích elektrod. Dále pro kontrolu kvality odporových bodových svarů byla vyhotovena destrukční zkouška dle interní normy VW 01105-1 [4]. Svařence byly vybrány v rámci celkové životnosti svařovacích elektrod, která činí 3 472 svařovacích bodů. Tunel č. 1 po deseti frézovacích cyklech, což odpovídá 1 120 svařovacích bodů. Tunel č. 2 po dvaceti frézovacích cyklech (2 240 svařovacích bodů). Tunel č. 3 po dvacetidvou frézovacích cyklech (2 464 svařovacích bodů). Tunel č. 4 po dvacetitřech frézovacích cyklech (2 576 svařovacích bodů). Tunel č. 5 po třiceti frézovacích cyklech (3 360 svařovacích bodů). Výsledky destrukčních zkoušek jsou sumarizovány v tab. 19. Na obr. 90 je grafické zobrazení výsledků destrukčních zkoušek vytipovaného svařence pro automatickou kontrolu kvality frézování svařovacích elektrod na základě průběhu elektrických veličin proudu a napětí. Kompletní zpráva dle VW 01105-1 je uvedena v příloze č. 21.



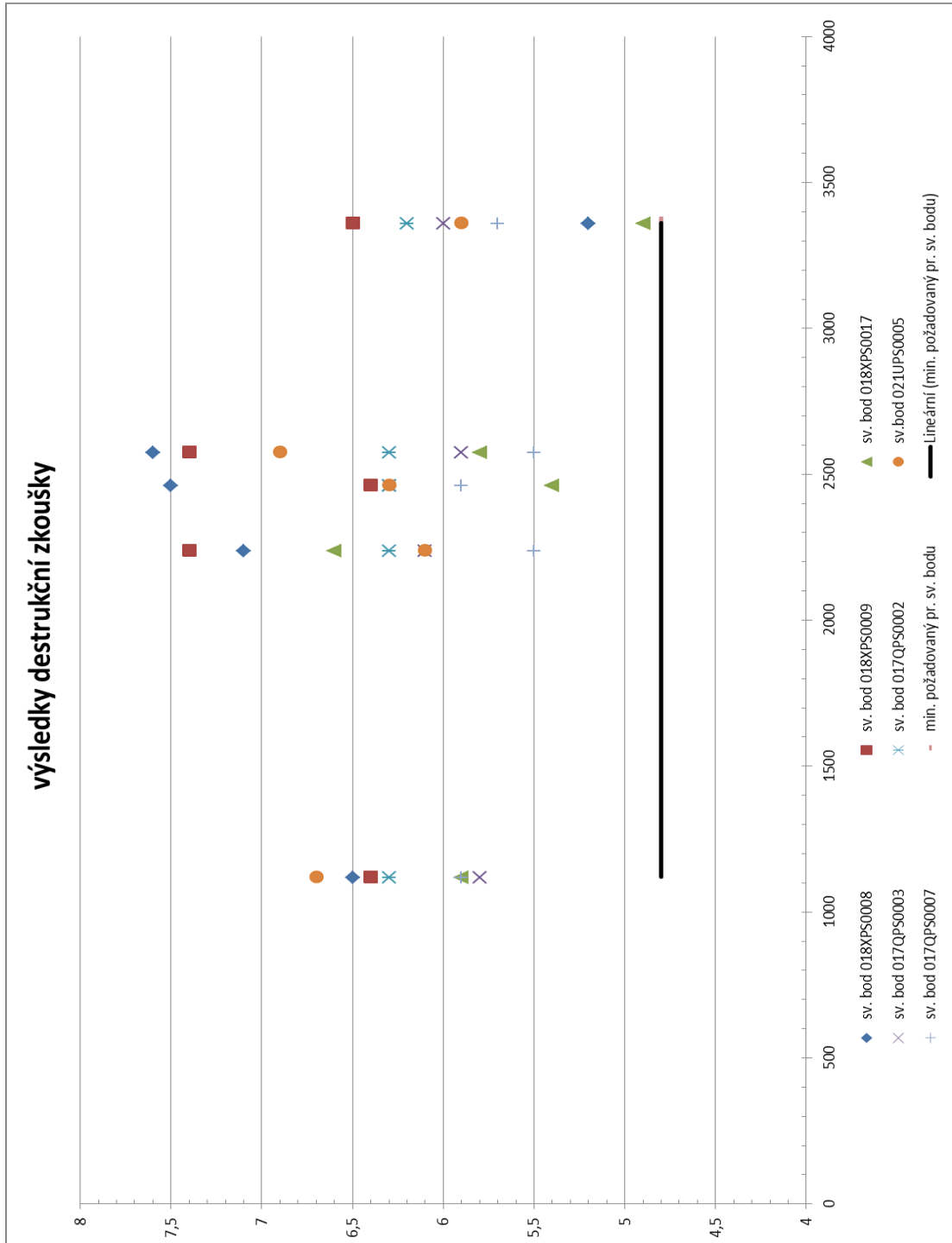
Obr. 95. Grafické zobrazení průběhu odporu při frézování svařovacích elektrod

Tab. 19. Výsledky destrukční zkoušky dle normy VW 01105-1

svarový bod	Průměr svařovacího bodu [mm], požadavek dle VW 01105-1 4,8 [mm]				
	10 fr. (1120 sv.)	20 fr. (2240 sv.)	22 fr. (2464 sv.)	23 fr. (2576 sv.)	30 fr. (3360 sv.)
018XPS0008	6,5	7,1	7,5	7,6	5,2
018XPS0009	6,4	7,4	6,4	7,4	6,5
018XPS0017	5,9	6,6	5,4	5,8	4,9
017QPS0003	5,8	6,1	6,3	5,9	6
017QPS0002	6,3	6,3	6,3	6,3	6,2
021UPS0005	6,7/5,6	6,1/5,5	6,3/6,2	6,9/5,4	5,9/5,6
017QPS0007	5,9	5,5	5,9	5,5	5,7

Z průběhu křivek znázorňující průběh elektrického odporu v závislosti na čase při frézování svařovacích elektrod vyplývá šířka regulačního pásma v rozmezí 55 – 75 [$\mu\Omega$] od 20 [ms]. V rámci lineární regrese referenční křivky lze šířku regulačního pásma nastavit v rozmezí 62 – 67 [$\mu\Omega$]. Referenční křivka je znázorněna černou barvou. K těmto hodnotám lze vyhodnocovat průběh elektrického odporu v závislosti na čase. V našem experimentu je šířka regulačního pásma nastavena ± 20 [$\mu\Omega$]. V případě potlačení času z průběhu jednotlivých křivek lze tuto šířku regulačního pásma změnit na ± 10 [$\mu\Omega$] v laboratorních podmínkách. Pro vyhodnocování kvality frézování lze využít průběh elektrického odporu v závislosti na čase v intervalu 40 – 90 [ms]. Oranžová křivka průběhu elektrického odporu v závislosti na čase je mimo stanovené tolerance. Tato křivka je v grafu záměrně z důvodů zobrazení rozdílu velikosti elektrického odporu. Naměřená data pro tuto křivku byla získána ze zkoušky frézování s demontovaným frézovacím nožem. Tento průběh odporu ukazuje vliv opotřebení svařovacích elektrod popsané v teoretické části. Provedené destrukční zkoušky dle normy VW 01105-1 potvrzují v celkovém intervalu životnosti svařovacích elektrod dle normy ČSN EN ISO 8166 dosažení požadovaného průměru. Na obr. 96 je grafické zobrazení všech výsledků destrukčních zkoušek. V praxi je však nutné šířku regulačního pásma stanovit tak, aby faktory ovlivňující velikost elektrického odporu tento návrh

kontrolního mechanismu nedegradovaly. Na základě dlouhodobé zkoušky svařence tunelu je tato šířka regulačního pásma stanovena na ± 20 [$\mu\Omega$]. Při kontrole kvality bodových svarů nebyl zjištěn nevyhovující bodový svar v průběhu výrobního procesu.



Obr. 96. Grafické zobrazení výsledků destruktivních zkoušek dle normy VW 01105-1

9.6 Kontrola bodových svarů na základě analýzy časových průběhů elektrických veličin při svařovacím procesu

Pod názvem elektrické veličiny při odporovém bodovém svařování hovoříme o procesních veličinách, jako jsou:

- svařovací proud
- svařovací napětí
- odpor bodového svaru

V současné době jsme schopni tyto veličiny snímat a zpracovávat v reálném čase a naměřené hodnoty používat pro regulaci odporového svařovacího procesu. V technické praxi lze v nastavených mezích on-line regulovat hlavní svařovací parametry jako jsou svařovací čas a svařovací proud. Otázkou však zůstává zpracování těchto naměřených veličin pro vyhodnocení kvality bodového svaru.

Pro snímání elektrických veličin bodového svaru jsem vybral identický svařenec z předchozí kapitoly a snímání bylo zajištěno u svařovacích bodů pod označením: a) 18XPS0008 b) 21UPS0005.

U varianty a) se jedná o svařenec dvou plechů:

tunel	5Q0 803 299B	22MnB5 AS150	tl. 1,4 [mm]
výztuha řazení	5Q0 803 806	HC 450 XD	tl. 1,5 [mm]

Pro tento experiment byly nastaveny tyto základní svařovací parametry:

- svařovací proud 8,5 [kA]
- svařovací čas 380 [ms]
- svařovací síla 3 [kN]
- počet cyklů frézování 30x, při 112 bodech cyklus frézování, celkem 3 472 svarových bodů na celkový cyklus svařovacích elektrod

Svařovací středofrekvenční řízení od firmy Harms Wende vybavené uživatelským softwarem Pegasus s regulací IQR.

Svařovací kleště Düring, svařovací ramena uspořádaná ve tvaru X

Svařovací elektrody podle ČSN EN ISO 5821 [52] F1-16-22

U varianty b) se jedná o svařenec třech plechů:

tunel	5Q0 803 299B	22MnB5 AS150	tl. 1,4 [mm]
držák ruční brzdy	5Q0 861 374C	DC03	tl. 1.5 [mm]
držák ruční brzdy	5Q0 861 374C	DC03	tl. 1.5 [mm]

Pro tento experiment byly nastaveny tyto základní svařovací parametry:

- svařovací proud 8,7 [kA]
- svařovací čas 385 [ms]
- svařovací síla 3 [kN]
- počet cyklů frézování 30x, při 112 bodech cyklus frézování, celkem 3 472 svarových bodů na celkový cyklus svařovacích elektrod

Svařovací středofrekvenční řízení od firmy Harms Wende vybavené uživatelským softwarem Pegasus s regulací IQR.

Svařovací kleště Düring, svařovací ramena uspořádaná ve tvaru X

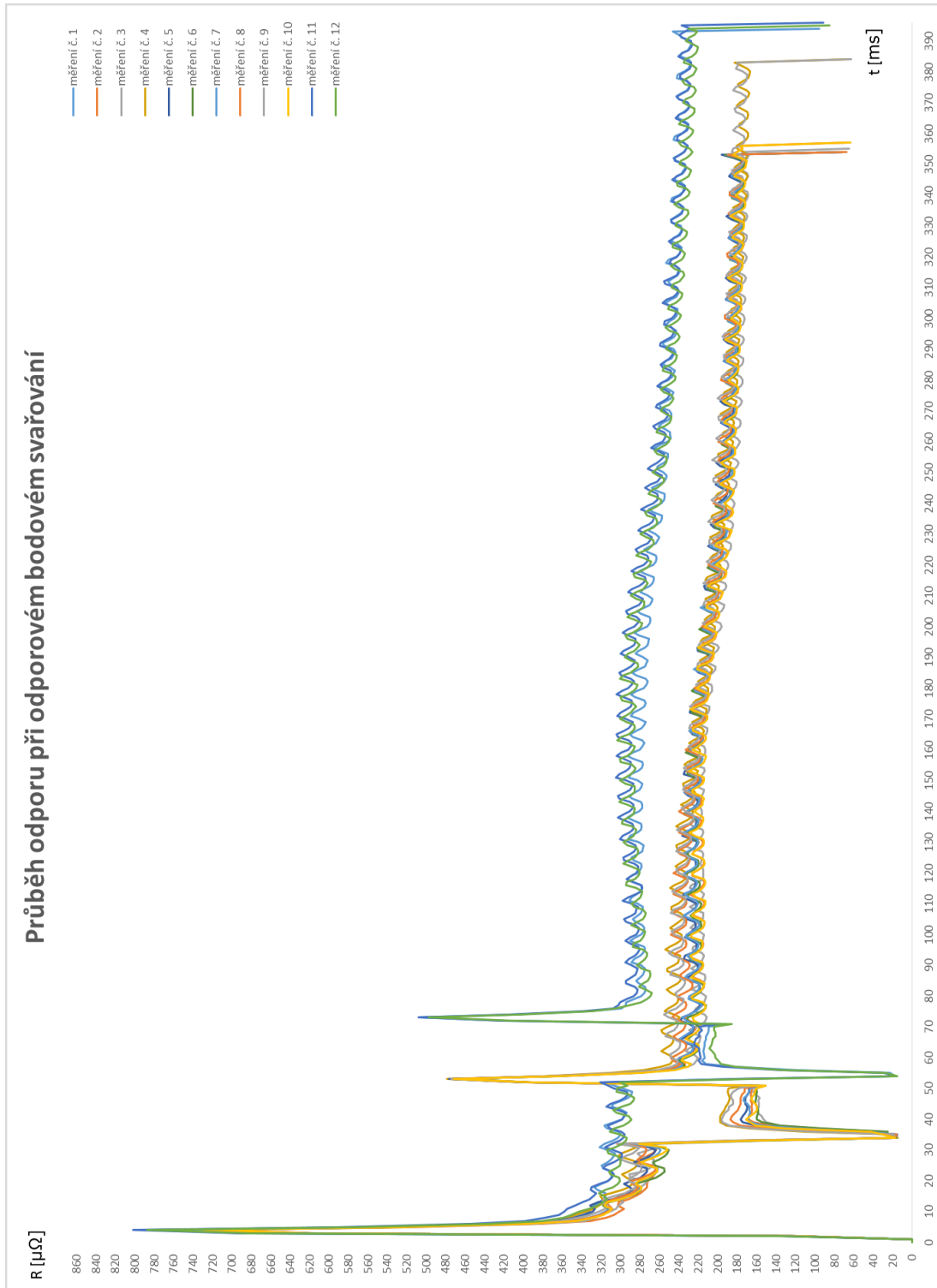
Svařovací elektrody podle ČSN EN ISO 5821 [52] F1-16-22

Při odporovém bodovém svařování byly snímány dvě elektrické veličiny:

- svařovací proud
- svařovací napětí

Tyto dvě veličiny byly snímány každou milisekundu včetně záznamu naměřených hodnot. Hodnoty byly zaznamenány v průběhu celého cyklu životnosti svařovacích elektrod. Z těchto hodnot byl následně vypočten odpor při svařování každou milisekundu. Na obr. 97 je znázorněn průběh odporu při odporovém bodovém svařování. Pro grafické zobrazení jsem vybral celkem 12 měření. Měření č. 1, č. 11 a č. 12 je svařovací bod (21UPS0005) přes tři plechy. Měření č. 2 – č. 10 jsou naměřené hodnoty odporu u svařovacího bodu pod označením 18XPS0008. Jednotlivé křivky na obr. 97 jsou sestrojeny z naměřených hodnot svařovacího proudu a napětí v časovém rozlišení jedné milisekundy. Pro zvolený interval každá křivka obnáší cca.: 800 naměřených. V příloze č. 22 je grafické zobrazení průběhu odporu při odporovém bodovém svařování ve formátu A3.

Při výběru intervalu od 140 do 200 [ms] je průběh elektrického odporu v rozmezí 200 – 240 [$\mu\Omega$]. V intervalu od 200 – 250 [ms] se hodnota elektrického odporu nachází v rozpětí 180 – 220 [$\mu\Omega$]. Šířka regulačního pásma je cca.: 40 [$\mu\Omega$]. V případě intervalu po 250 [ms] je velikost regulační meze pouze do 25 [$\mu\Omega$]. U křivek v legendě měření č. 2 – č. 10 se jedná o hodnoty bodového svaru pod označením v obrazové pracovní návodce 18XPS0008. Bodový svar byl při destrukční zkoušce vždy vyhovující a hodnoty průměru svařovací čochky uvedené v tab. 19 byly nad minimálním požadavkem 4,8 [mm]. Pro tento bodový svar byl zhotoven metalografický výbrus pro zjištění případných vad v bodovém svaru. Na jednotlivých metalografických výbrusech je vidět typické rozhraní pro svarovou čochku a teplem ovlivněnou oblast. Na žádném metalografickém vzorku nebyla zjištěna vada bodového svaru.



Obr. 97. Grafické zobrazení výsledků průběhu odporu při bodovém svařování

10.0 Přínos disertační práce

V disertační práci je řešena problematika vyhodnocení kvality bodového svaru na základě analýzy časových průběhů elektrických veličin. V rámci disertační práce byla rozpracována metodika hodnocení kvality frézování dosedacích ploch svařovacích elektrod na základě analýzy časových průběhů elektrických veličin. Metodika hodnocení je založena na průběhu elektrického odporu instalovaného svařovacího systému pro bodové svařování a není nutné instalovat další senzory pro kontrolu svařovacích elektrod. V disertační práci je zmapován průběh elektrického odporu v intervalu 100 [ms]. Metodika hodnocení kvality frézování svařovacích elektrod byla zpracována ve vztahu na kvalitu provedeného bodového svaru. Definovaná kritéria kvality bodových svarů byla při experimentálním měření splněna. Navrhované řešení kontroly dosedacích ploch velmi úzce souvisí s tématem celkové životnosti svařovacích elektrod.

Při realizaci experimentálního měření byl učiněn posun v kvalitě měření elektrických veličin při odporovém bodovém svařování. Naměřené hodnoty jsou v intervalu 1 [ms] a získaný počet dat poskytuje detailní průběh elektrického odporu v závislosti na čase. Při analýzách povlaku Al-Si vysokopevnostních plechů byly nalezeny příčiny nestability odporového bodového svařovacího procesu. Zjištěné rozdíly v povlaku Al-Si vysokopevnostních svařovaných dílů potvrdily souvislost s nestabilitou svařovacího procesu.

Pro technickou praxi jsou získané výsledky při kontrole frézování svařovacích elektrod přínosné. Navrhuji zavést metodiku kontroly frézování svařovacích elektrod na základě průběhu elektrického odporu do výrobního procesu. Hlavním přínosem v praxi bude prodloužení celkové životnosti svařovacích elektrod. Zvýšení životnosti svařovacích elektrod bude dosaženo prodloužením počtu frézovacích cyklů z třiceti na čtyřicet cyklů. Další možností je prodloužení zvoleného intervalu frézovacího cyklu, který byl při zvoleném experimentu do 112 bodových svarů. Zde je sledován velký potenciál pro technickou praxi. Pro nalezení vhodného intervalu pro frézovací cyklus by bylo vhodné zpracovat metodiku hodnocení kvality bodových svarů v automobilovém průmyslu. V současné době je frézovací cyklus nastaven

v rozmezí 90 – 200 bodových svarů. Popsaná opatření mají pozitivní vliv na celkovou spotřebu svařovacích elektrod na karoserii popsanou v kapitole 7.1. V případě realizace v technické praxi bude dosaženo snížení finančních nákladů při bodovém svařování.

Navrhovaný systém kontroly frézování svařovacích elektrod bude mít pozitivní vliv na počet vyrobených vadných svarů. Kontrola dosedacích ploch svařovacích elektrod v současné době probíhá pouze vizuálně pracovníkem, ale pouze při výměně svařovacích elektrod. Kontrola mezi jednotlivými frézovacími cykly v současnosti není a to je častá příčina nevyhovujících bodových svarů. Frézovací zařízení může být znečištěné od používaných lepidel v automobilovém průmyslu nebo zanesené od měděných třísek po předchozích frézovacích cyklech.

11.0 Doporučení pro další postup

Doporučuji se dále zabývat mapováním vlivu jednotlivých povlaků svařovaných ocelových plechů při odporovém svařování. Klást si otázku potřeby těchto protikorozních povlaků se zaměřením na výrobní proces v lakovnách. V rámci spolupráce s TU v Liberci navrhuji analyzovat průběh elektrických veličin při svařování ocelových plechů bez povlaku a s povlakem. Dále stanovení intervalu při průběhu svařovacího procesu vhodného pro vyhodnocení bodového svaru. Aplikovat statistické metody pro zpracování naměřených hodnot průběhu elektrických veličin.

Velmi zajímavým tématem v oblasti kontroly odporových bodových svarů je využití fyzikálního principu tepelné expanze materiálu. V současné době již disponujeme potřebnými snímači pro měření objemové expanze svařovaného materiálu.

12.0 Závěr - diskuse výsledků

Při analýze tloušťky povlaku a při analýze povrchové vrstvy Al-Si byly zjištěny rozdíly mezi výlisky od dodavatelů VW Kassel a Benteler Rumburk. Naměřené hodnoty u výlisku od dodavatele VW Kassel byly tyto:

- dvojnásobný rozměr tloušťky intermetalické vrstvy cca: 14 [μm]
- vznik další souvislé vrstvy bohatší o prvky Fe a Si
- vyšší poměr Al/Si v homogenní povrchové vrstvě

Na základě naměřených hodnot lze tyto rozdíly spojovat s problematikou při odporovém bodovém svařování. Vlivem zvyšování svařovacího proudu nebo prodlužováním svařovacího času dochází k nadměrnému opotřebení dosedacích ploch svařovacích elektrod. Zvětšený průměr dosedacích ploch má přímý vliv na počáteční podmínky nutné pro odporový svařovací proces. Nežádoucím projevem při automatické regulaci odporového svařovacího procesu je rozstřík, který při svařování vysokopevnostních ocelových plechů může snižovat korozní ochranu karoserie.

Analýzy časových průběhů elektrického odporu při odporovém bodovém svařování nám umožňují nastavení při kontrole frézovacího cyklu. Z křivek na obr. 95 je definovaná šířka regulačního pásma ± 20 [$\mu\Omega$]. Provedené destrukční zkoušky odporových bodových svarů potvrdily stabilitu svařovacího procesu v celém rozsahu životnosti svařovacích elektrod. Při zavedení této metodiky kontroly frézování dosedacích ploch svařovacích elektrod následně předpokládám zvýšení životnosti svařovacích elektrod a odstranění jedné z možných příčin nevyhovujících bodových svarů vlivem vadně provedeného frézování svařovacích elektrod. Navržený kontrolní systém frézování svařovacích elektrod zvýší procesní jistotu při odporovém bodovém svařování.

Využití časových průběhů elektrických veličin při odporovém bodovém svařování pro stanovení kritéria kvalitního bodového svaru je možné.

Zásadní otázkou je stanovení šířky regulačního pásma pro průběh odporu. Šířka regulačního pásma bude vycházet jednak z teoretického předpokladu průběhu elektrického odporu a z referenční křivky získané při nastavení svařovacího procesu.

13.0 Seznam použité literatury

- [1] PLÍVA, L.: *Odporové svařování*. SNTL Praha. 1975.
- [2] JANOTA. M.: *Procesy a riadenie odporového zvarania*. Bratislava. VÚZ 1985. 317 s.
- [3] ČSN 05 0003. *ODPOROVÉ ZVÁRANIE. Základné pojmy*. 1991.
- [4] VW 011 05 – 1. *Odporové bodové svařování*. 2014. Koncernová norma.
- [5] ČSN EN ISO 8166. *Odporové svařování – Způsob hodnocení životnosti bodových svařovacích elektrod při konstantním nastavení stroje*. 2004.
- [6] ČSN EN ISO 15609 - 5. *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů – Specifikace postupu svařování – Část 5: Odporové svařování*. 2005.
- [7] ČSN EN ISO 14554 – 1. *Požadavky na jakost při svařování - Odporové svařování kovových materiálů – Část 1: Vyšší požadavky na jakost*. 2014.
- [8] ČSN EN ISO 14554 – 2. *Požadavky na jakost při svařování - Odporové svařování kovových materiálů – Část 2: Vyšší požadavky na jakost*. 2014.
- [9] Svítal, A.: *Životnost elektrod při odporovém bodovém svařování pozinkovaných ocelových plechů*. Zvaranie, XXVI, 1977, č1, str. 9-13.

- [10] ČSN EN ISO 18278 – 1. *Odporové svařování – Svařitelnost – Část 1: Hodnocení svařitelnosti kovových materiálů pro odporové bodové, švové a výstupkové svařování.* 2005.
- [11] ČSN EN ISO 18278 – 2. *Odporové svařování – Svařitelnost – Část 2: Alternativní způsoby hodnocení ocelových plechů pro odporové bodové svařování.* 2005.
- [12] WEBER, Gert; GÖKLÜ, Sinasi: RESISTANCE SPOT WELDING OF UNCOATED AND ZINC COATED ADVANCED HIGH-STRENGTH STEELS (AHSS), WELDABILITY AND PROCESS RELIABILITY INFLUENCE OF WELDING PARAMETERS. *IIW Annual Assembly Meeting 2005 Prague.* s. 1-19, IIW Doc. No. III- 1347-05
- [13] ČSN EN ISO 14327. *Odporové svařování – Způsoby určení diagramu oblasti svařování při odporovém bodovém, výstupkovém a švovém svařování.* 2005.
- [14] ČSN EN ISO 14373. *Odporové svařování – Postup pro bodové svařování nepovlakovaných a povlakovaných nízkouhlíkových ocelí.* 2007.
- [15] ČSN EN ISO 14329. *Odporové svařování – Destruktivní zkoušky svarů – Typy porušení a geometrická měření odporových bodových, švových a výstupkových svarů.* 2004.
- [16] PV 6702. *Bodové svarové spoje, pevnostní zkoušky ocelových materiálů.* 2004. Koncernová norma
- [17] ČSN EN ISO 6520-2. *Svařování a příbuzné procesy – Klasifikace geometrických vad kovových materiálů – část 2: Tlakové svařování.* 2003.

- [18] ČSN EN ISO 14273. *Rozměry vzorků a postup pro zkoušení stříhem odporových bodových, švových a výstupkových svarů.* 2003.
- [19] ČSN EN ISO 14324. *Bodové odporové svařování – Destruktivní zkoušky svarů – Metody zkoušení bodově svařovaných spojů na únavu.* 2004.
- [20] ČSN EN ISO 14270. *Rozměry vzorků a postup pro mechanizované odlupovací zkoušení odporových bodových, švových a výstupkových svarů.* 2003.
- [21] ČSN EN ISO 14272. *Rozměry vzorků a postup pro křížové zkoušení tahem odporových bodových a výstupkových svarů.* 2000.
- [22] ČSN EN ISO 17639. *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů – Makroskopická a mikroskopická kontrola svarů.* 2014.
- [23] HÝŽA, R; KUČÍK, P.: Skúšanie odporových bodových zvarových spojov ultrazvukom. *ZVÁRANIE – SVAŘOVÁNÍ*, 2005, č. 1, s. 15 – 19.
- [24] ČSN EN 473. *Nedestruktivní zkoušení – Kvalifikace a certifikace pracovníků nedestruktivního zkoušení – Všeobecné zásady.* 2001.
- [25] TL 4225. *Alloyed Quenched and Tempered Steel for Press Quenching - Uncoated or Pre-Coated*, 1995-09, 2006-05.
- [26] NEUMANN, H.: *Sledování a řízení svařovacího procesu při bodovém odporovém svařování žárově pohlínkovaných ocelových plechů: disertační práce.* Liberec: TU Liberec Fakulta strojní, 1990. 142., 139 příl.
- [27] COOK, G. E.: *Feedback and adaptive control in automated arc welding systems.* *Metall Construction*, 13, 1981, 4. 9, s. 551 - 556.

- [28] Kolektiv: *Riadenie procesu odporového bodového zvarania: technická zpráva*. Bratislava: VÚZ, 1984, 32 s.
- [29] JANOTA, M.: *Adaptivní riadenie bodového zvarania na robotových pracoviskách: technická zpráva*. Bratislava: VÚZ, 1985, 35 s.
- [30] HOLÁSEK, J.: *Odporové zvaranie*. SVTL Bratislava, 1968.
- [31] JANOTA, M.: Tvrdosť zvaracieho procesu v tabulkách odporovaných parametrov odporového zvarania. *ZVÁRANIE – SVAŘOVÁNÍ*, 2005 č. 11-12.
- [32] SLÁMOVÁ, M.: *Vysokopevnostní materiály v konstrukci osobního automobilu: diplomová práce*. Liberec KMT – 210, TU Liberec, 2006. 92 s.
- [33] ČSN EN 10346. *Kontinuálně žárově ponorem povlakované ocelové ploché výrobky – Technické dodací podmínky*. 2009.
- [34] VW 50060-1. *Kaltgewalzte Dualphasenstähle* . Konzernová norma VW. 2007.
- [35] HEILMANN, S; MATHISZIK, Ch. *Numerical simulation strategies and test setup for resistance spot welding process with motion overlay*. Dokument IIW komise III, 14 s., 2016.
- [36] NEUMANN, H.: *TEORIE SVAŘOVÁNÍ A PÁJENÍ*. Přednáška č. 6, katedra strojírenské technologie, fakulta strojní, TU Liberec 2016.
- [37] SCHMIDOVÁ, Eva; SOLDÁT, Rostislav; aj.: *ANALÝZY SVAŘITELNOSTI VYSOKOPEVNÝCH OCELÍ: výzkumná zpráva č. ASDI 77-12-1*. Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. 2012. 15 s.

- [38] SCHWARZ, D; PURMENSKÝ, J., aj.: *MATERIÁLY A JEJICH SVAŘITELNOST*. ZEROSS, Ostrava září 1999. ISBN: 80-85771-63-2
- [39] BARTÁK, J; NEUMANN, H.; aj.: *VÝROBA A APLIKOVANÉ INŽENÝRSTVÍ VE SVAŘOVÁNÍ*. ZEROSS, Ostrava, únor 2000. ISBN: 80-85771-72-1
- [39] VEJVODA, S; MAJER, L., aj.: *NAVRHOVÁNÍ A POSUZOVÁNÍ SVAŘOVANÝCH KONSTRUKCÍ A TLAKOVÝCH NÁDOB*. ZEROSS, Ostrava listopad 1999. ISBN: 80-85771-70-5
- [40] MACHEK, V; SODOMKA, J.: *STRUKTURY KOVOVÝCH MATERIÁLŮ Nauka o materiálu - 1. část*, fakulta dopravní ČVUT, 2006. ISBN: 80-01-03379-1
- [41] MACHEK, V; SODOMKA, J.: *STRUKTURY KOVOVÝCH MATERIÁLŮ Nauka o materiálu - 2. část*, fakulta dopravní ČVUT, 2006. ISBN: 978-80-01-03686-0
- [42] ALAXIN, J.: *FYZIKÁLNÍ METALURGIE I.* katedra materiálů a strojírenské technologie, fakulta strojní, TU Liberec 1987.
- [43] ALAXIN, J.: *FYZIKÁLNÍ METALURGIE II.* katedra materiálů a strojírenské technologie, fakulta strojní, TU Liberec 1986.
- [44] PTÁČEK, L., aj.: *NAUKA O MATERIÁLU I.* Akademické nakladatelství Cerm, s.r.o., 2003. ISBN: 80-7204-283-1
- [45] PTÁČEK, L., aj.: *NAUKA O MATERIÁLU II.* Akademické nakladatelství Cerm, s.r.o., 2003. ISBN:80-7204-248-3
- [46] PLUHAŘ, J; KORITTA, J.: *STROJÍRENSKÉ MATERIÁLY*. SNTL Praha 1977.

- [47] PACÁK, J.: *Bodové odporové svařování vysokopevnostních plechů v automobilovém průmyslu: diplomová práce. Liberec. TU Liberec, katedra strojírenské technologie, 2007. 63 s., 26 příl.*
- [48] MATUSCHEK, Ulrich; POELL, Karl.: SPOT WELDING WITH ADAPTIVE PROCESS CONTROL. *IIW Annual Assembly Meeting 2005 Prague. s. 1-19, IIW Doc. No. III- 1346-05*
- [49] Harms & Wende GmbH; BOTHFELD, Ralf.: IQR QUALITY REGULATION SYSTEM FOR SPOT WELDING. *IIW Annual Assembly Meeting 2005 Prague. s. 1-16, IIW Doc. No. III- 1344-05*
- [50] BOTHFELD, Ralf; Harms & Wende GmbH.: IQR QUALITY REGULATION SYSTEM FOR SPOT WELDING. *IIW Annual Assembly Meeting 2005 Prague. s. 1-16, IIW Doc. No. III- 1344b-05*
- [51] ZHANG, Wenqi; SWANTEC Software and Engineering ApS.: RECENT ADVANCED AND IMPROVEMENTS IN THE SIMULATION OF RESISTANCE WELDING PROCESSES. *IIW Annual Assembly Meeting 2005 Prague. s. 1-11, IIW Doc. No. III- 1345-05*
- [52] ČSN EN ISO 5821. *Odporové svařování – Elektrodové čepičky pro bodové odporové svařování. 2010.*
- [53] ČSN EN 25184. *Přímé elektrody pro odporové bodové svařování. 1997.*

14.0 Přehled publikací k dané problematice

- [1] PACÁK, J.: Systémy kontroly odporových bodových svarů v automobilovém průmyslu: *Zborník prednášok z konferencie - Súčasný stav odporového zvarania. Konferencie poriadaná v rámci veletrhu INDUSTRY EXPO 2009.* 71 s. ISBN 978-80-89296 06 4
- [2] NEUMANN, H; PACÁK, J.: Chlazení elektrodových čepiček u odporového bodového svařování kapalným oxidem uhličitým jako prostředek pro zvýšení jejich životnosti: *Zborník prednášok z konferencie Kvalita vo zváraní 2015.* Výskumný ústav zvaračský – Priemyselný inštitút SR, 2015. 143 s. ISBN 978 - 80 - 88734 - 72 - 7

Životopis

Osobní údaje

Jméno a příjmení: Ing. Jiří Pacák
Datum narození: 20. 05. 1975
Stav: ženatý
Adresa: Antonína Dvořáka 1094, Hradec Králové, 500 02
Kontaktní telefon: 732 294 134
e-mail: jiri.pacak@skoda-auto.cz

Vzdělání

TU Liberec, strojní inženýrství, katedra strojírenské technologie,
(2001 – 2007) obor strojírenská technologie - svařování
diplomová práce na téma: ***Odporové svařování vysokopevnostních plechů v automobilovém průmyslu***

střední škola: mechanik elektronik pro automatizační techniku v Nové Pace
(1989 – 1993)

Ostatní kurzy

- měření odporových svarů ultrazvukem
- svařovací metoda CMT Fronius
- odporové svařování
- Assessment Center Management

Pracovní zkušenosti

- HST technologie s.r.o. - vedoucí technického oddělení 1996 - 2001
- Škoda Auto a.s. od 9/ 2001 zaměstnán jako Specialista laserové a svářečské techniky
- Škoda Auto a.s. od 1/ 2008 zaměstnán jako vedoucí svařovny Roomster
- Škoda Auto a.s. od 1/ 2010 zaměstnán jako vedoucí svařovny Fabia
- Škoda Auto a.s. od 7/ 2012 zaměstnán jako vedoucí svařovny Octavia

Ostatní znalosti

- **Počítače:** MS Windows, MS Office,
- **Jazyk:** Anglický jazyk A2, Německý jazyk B2

Zájmy bezmotorové létání, horská turistika, lyžování

15.0 Seznam příloh

- Příloha č. 1 Technická data svařovny Octavia
- Příloha č. 2 Diagram růstové křivky svaru při konstantní elektrodové síle, době svaru $t = 6$ [per] a různých svařovacích proudech
- Příloha č. 3 Diagram růstové křivky svaru při konstantní elektrodové síle, době svaru $t = 8$ [per] a různých svařovacích proudech
- Příloha č. 4 Diagram růstové křivky svaru při konstantní elektrodové síle, době svaru $t = 10$ [per] a různých svařovacích proudech
- Příloha č. 5 Diagram růstové křivky svaru při konstantní elektrodové síle, době svaru $t = 12$ [per] a různých svařovacích proudech
- Příloha č. 6 Diagram růstové křivky svaru při konstantní elektrodové síle, době svaru $t = 14$ [per] a různých svařovacích proudech
- Příloha č. 7 Diagram růstové křivky svaru při konstantní elektrodové síle, době svaru $t = 16$ [per] a různých svařovacích proudech
- Příloha č. 8 Diagram růstové křivky svaru při konstantní elektrodové síle, době svaru $t = 18$ [per] a různých svařovacích proudech
- Příloha č. 9 Diagram růstové křivky svaru při konstantní elektrodové síle, době svaru $t = 20$ [per] a různých svařovacích proudech
- Příloha č. 10 Diagram růstové křivky svaru při konstantní době svaru, elektrodové síle $F 760$ [N] a různých svařovacích proudech
- Příloha č. 11 Diagram růstové křivky svaru při konstantní době svaru, elektrodové síle $F 1 200$ [N] a různých svařovacích proudech

- Příloha č. 12 Diagram růstové křivky svaru při konstantní době svaru, elektrodové síle $F 1\ 800$ [N] a různých svařovacích proudech
- Příloha č. 13 Diagram růstové křivky svaru při konstantní době svaru, elektrodové síle $F 2\ 400$ [N] a různých svařovacích proudech
- Příloha č. 14 Diagram růstové křivky svaru při konstantní době svaru, elektrodové síle $F 3\ 000$ [N] a různých svařovacích proudech
- Příloha č. 15 Diagram růstové křivky svaru při konstantní době svaru, elektrodové síle $F 3\ 600$ [N] a různých svařovacích proudech
- Příloha č. 16 Diagram růstové křivky svaru při konstantní době svaru, elektrodové síle $F 4\ 200$ [N] a různých svařovacích proudech
- Příloha č. 17 Diagram růstové křivky svaru při konstantní době svaru, elektrodové síle $F 4\ 800$ [N] a různých svařovacích proudech
- Příloha č. 18 Obrazová pracovní návodka pro tunel přední podlahy
- Příloha č. 19 Obrazová pracovní návodka pro tunel přední podlahy
- Příloha č. 20 Průběh odporu při kontrole frézování na základě průběhu elektrických veličin ve formátu A3
- Příloha č. 21 Výsledky destrukčních zkoušek dle VW 01105-1, kompletní zpráva, interní dokument Škoda auto a.s.
- Příloha č. 22 Grafické zobrazení průběhu odporu při odporovém bodovém svařování ve formátu A3

Technická data



Zahjení sériové výroby - Octavia III	OCTAVIA III / Rapid, Toledo
Zahjení sériové výroby - Rapid, Toledo	17. 12.2012
Plocha svařovny M12	2.7.2012
Výrobní plocha	54800 m ²
Čas průjezdu karoserie svařovnou	24700 m ²
Kapacita	5.5hod.
Takt linky	1290 kar/3 sm.
Hloubka výroby	51 sec.
Stupeň automatizace	73%
Počet robotů	83%
Ruční kleště	622 (214 Fanuc, 408 Kulka)
Automatické kleště	1 ks
Počet variant karoserií	383 ks
Počet vstupujících dílů	312/4
- Octavia III liftback	413
- Octavia III combi	410
- Rapid / Toledo	373
Váha karoserie	340 kg
Tloušťka plechu	0,5-3,5 mm
Počet svařových bodů ve Svařovně	liftback: 5038, combi: 4955, rap./tol: 4485
Počet normovaných dílů celkem	311
Celková délka laserových spojů	liftback: 6,24 m, combi: 6,43 m, rap./tol: 5,98 m
Celková délka tavných spojů (MIG+MAG)	
Celková délka lepených spojů	liftback: 3,15 m, combi: 2,8 m, rap./tol: 2,6 m
Počet druhů lepidel	liftback: 88,52 m, combi: 91,3 m, rap./tol: 61,46 m
Počet nýtovaných matic	Octavia III 13, Rapid/Toledo 18
Počet buketových spojů	37 / 26
Počet přivařovaných čepů	22 / 18
	218 / 132

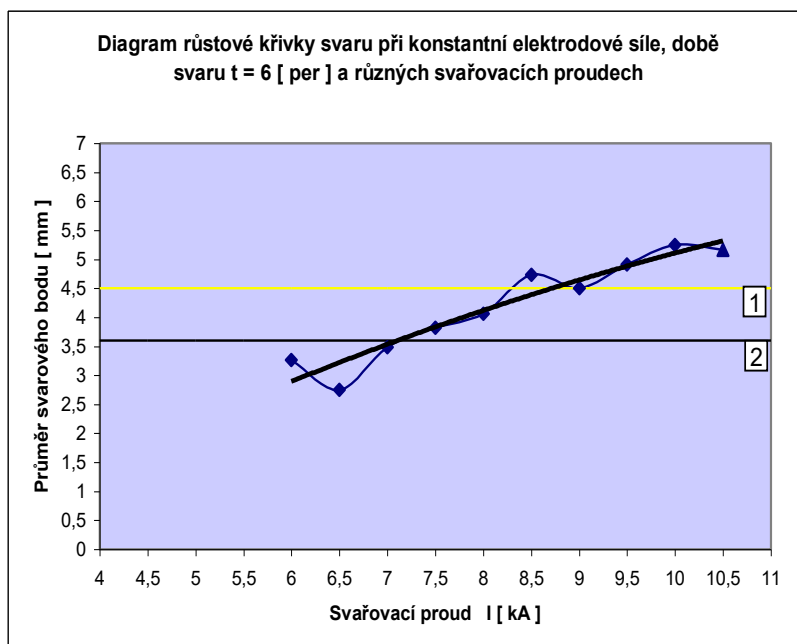
Porovnání svařoven Octavia II/Octavia III			
	Octavia II	Octavia III	Δ
Počet robotů /ks/	273	622	Δ+349
Stupeň automatizace	36,20%	83%	Δ+46,8%
VD /3-směny/	1449	730	Δ-719
Kapacita /3-směny/	1000	1290	Δ+290
takt /sec/	66	51	Δ-15

Příloha č. 2

Diagram růstové křivky svaru při konstantní síle, době svaru $t = 6$ [per] a různých svařovacích proudech

Svařovací čas t [per]	Svařovací proud I [kA]	Průměr svarového bodu [mm]						arit. průměr [mm]
		1	2	3	4	5	6	
$t = 6$ [per]	6,0	3,8	2,5	2,8	2,8	3,0	3,2	3,0
$t = 6$ [per]	6,5	3,1	2,8	2,9	2,3	2,9	2,5	2,8
$t = 6$ [per]	7,0	3,5	3,5	3,4	3,5	3,5	3,5	3,5
$t = 6$ [per]	7,5	4,0	3,6	3,7	3,8	4,2	3,6	3,8
$t = 6$ [per]	8,0	4,3	3,9	4,1	4,0	3,9	4,2	4,1
$t = 6$ [per]	8,5	4,8	4,2	4,1	4,4	5,4	5,5	4,7
$t = 6$ [per]	9,0	4,9	4,3	4,5	4,4	4,5	4,4	4,5
$t = 6$ [per]	9,5	4,8	4,6	4,7	4,7	5,6	5,1	4,9
$t = 6$ [per]	10,0	5,3	5,2	5,4	5,7	5,0	4,9	5,3
$t = 6$ [per]	10,5	5,2	5,5	4,9	5,1	5,3	5,0	5,2

Legenda: rozstřík



Legenda:

1 Mez rozstříku

2 Minimální průměr svaru 3,6 [mm]

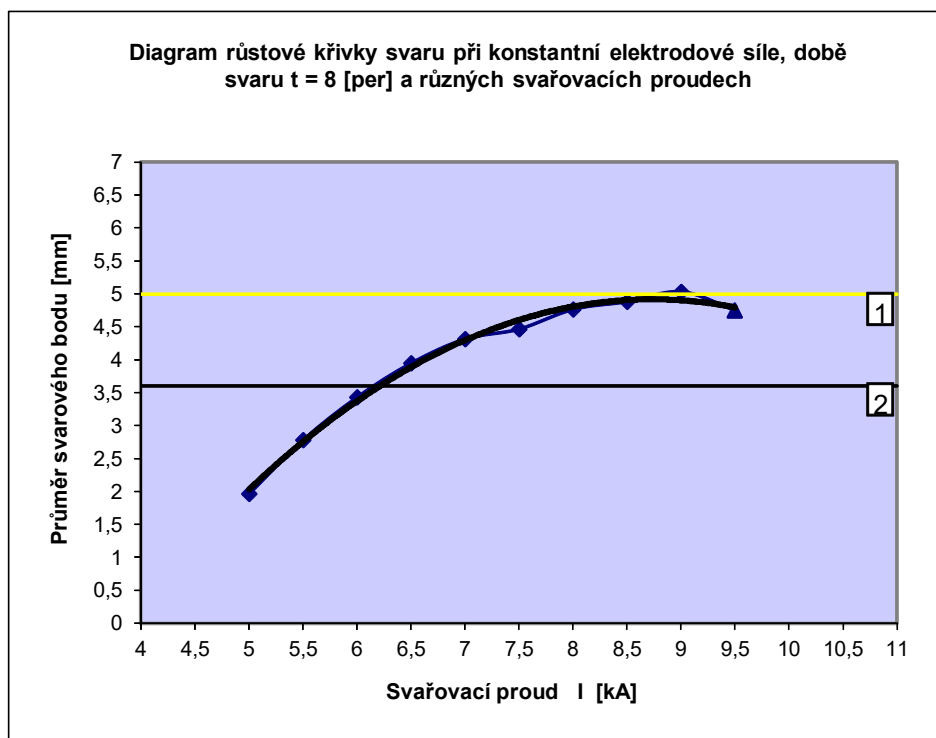
Příloha č. 3

Diagram růstové křivky svaru při konstantní síle, době svaru $t = 8$ [per] a různých svařovacích proudech

Svařovací čas t [per]	Svařovací proud I [kA]	Průměr svarového bodu [mm]						arit. průměr [mm]
		1	2	3	4	5	6	
$t = 8$ [per]	5,0	4,0	2,4	1,4	1,6	0,4	2,0	2,0
$t = 8$ [per]	5,5	2,5	2,7	2,8	3,0	2,7	3,0	2,8
$t = 8$ [per]	6,0	3,5	3,5	3,4	3,6	3,4	3,2	3,4
$t = 8$ [per]	6,5	3,9	3,8	3,9	3,8	4,1	4,2	4,0
$t = 8$ [per]	7,0	4,5	4,2	4,1	4,6	4,2	4,3	4,3
$t = 8$ [per]	7,5	4,3	4,4	4,3	4,6	4,7	4,5	4,5
$t = 8$ [per]	8,0	5,2	4,7	4,6	4,8	4,5	4,8	4,8
$t = 8$ [per]	8,5	4,4	5,0	4,9	5,0	5,4	4,6	4,9
$t = 8$ [per]	9,0	5,0	4,9	5,2	5,6	5,2	4,3	5,0
$t = 8$ [per]	9,5	4,7	4,6	4,7	4,8	5,0	4,7	4,8

Legenda:

rozstřík



Legenda:

1 Mez rozstříku

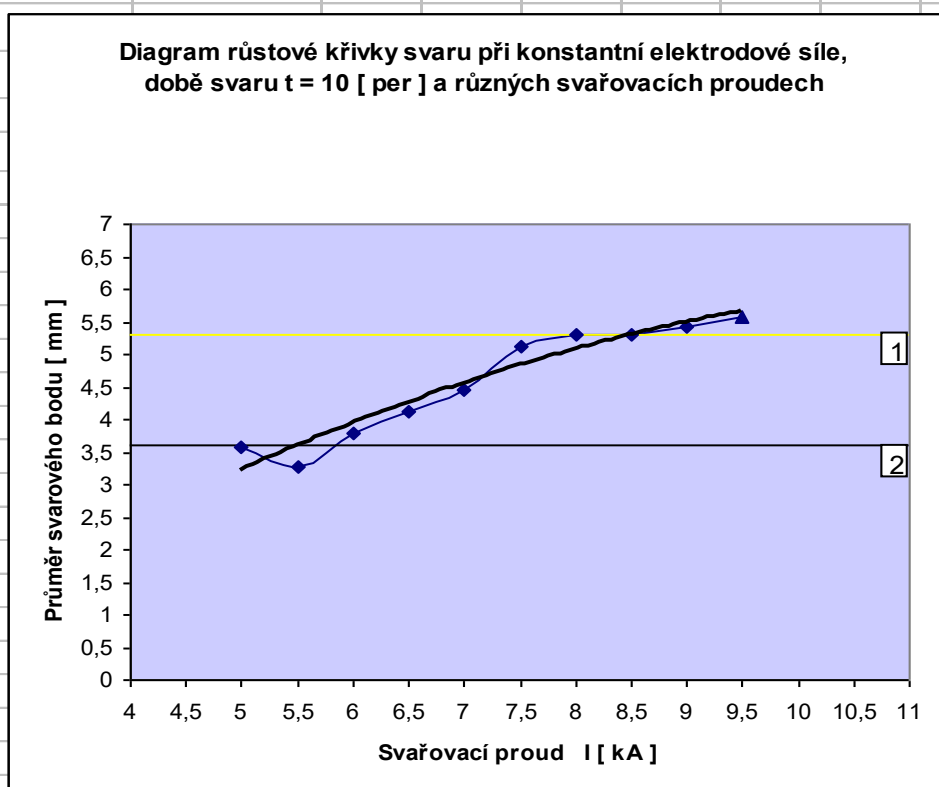
2 Minimální průměr svaru 3,6 [mm]

Příloha č. 4

Diagram růstové křivky svaru při konstantní síle, době svaru $t = 10$ [per] a různých svařovacích proudech

Svařovací čas t [per]	Svařovací proud I [kA]	Průměr svarového bodu [mm]						arit. průměr [mm]
		1	2	3	4	5	6	
$t = 10$ [per]	5,0	4,0	3,5	3,2	3,0	2,8	2,4	3,2
$t = 10$ [per]	5,5	3,3	3,1	3,5	3,2	3,5	3,1	3,3
$t = 10$ [per]	6,0	3,8	3,9	3,5	4,0	3,8	3,7	3,8
$t = 10$ [per]	6,5	4,0	4,3	4,0	4,4	4,0	4,0	4,1
$t = 10$ [per]	7,0	4,3	4,3	4,4	4,4	4,5	4,8	4,5
$t = 10$ [per]	7,5	5,0	4,8	5,3	5,3	5,2	5,2	5,1
$t = 10$ [per]	8,0	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,4	5,3
$t = 10$ [per]	8,5	5,2	5,1	5,3	5,5	5,4	5,3	5,3
$t = 10$ [per]	9,0	5,3	5,5	5,2	5,4	5,6	5,5	5,4
$t = 10$ [per]	9,5	5,6	5,5	5,5	5,6	5,6	5,7	5,6

Legenda: rozstřík



Legenda:

1 Mez rozstříku

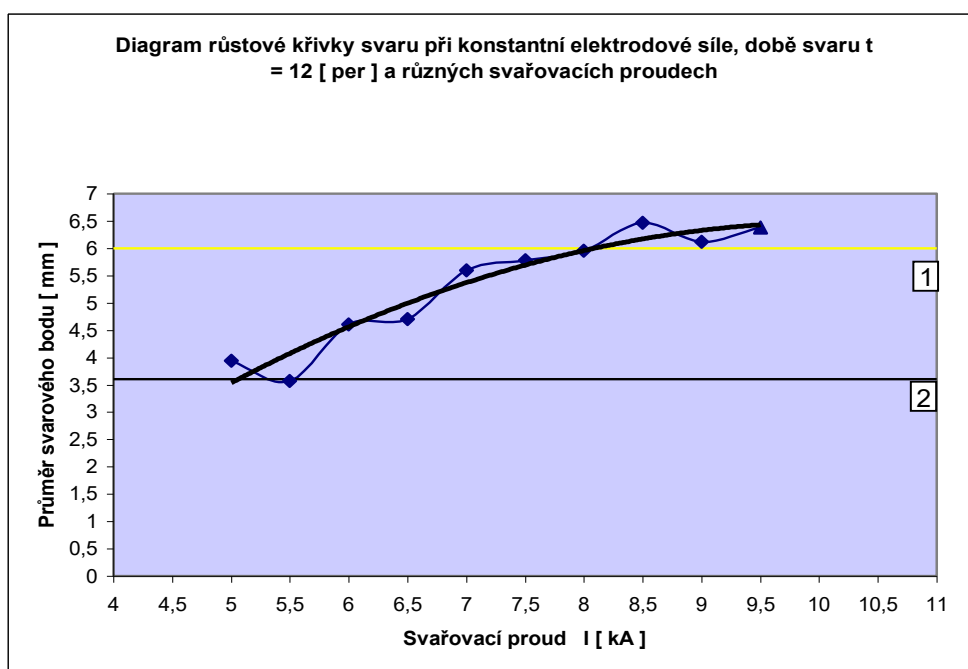
2 Minimální průměr svaru 3,6 [mm]

Příloha č. 5

Diagram růstové křivky svaru při konstantní síle, době svaru $t = 12$ [per] a různých svařovacích proudech

Svařovací čas t [per]	Svařovací proud I [kA]	Průměr svarového bodu [mm]						arit. průměr [mm]
		1	2	3	4	5	6	
$t = 12$ [per]	5,0	4,2	2,8	2,6	2,3	2,7	2,8	2,9
$t = 12$ [per]	5,5	3,6	3,5	3,6	3,5	3,7	3,5	3,6
$t = 12$ [per]	6,0	4,3	4,7	4,7	4,9	4,4	4,6	4,6
$t = 12$ [per]	6,5	4,6	4,5	4,7	4,8	4,8	4,8	4,7
$t = 12$ [per]	7,0	5,4	5,4	5,7	5,6	5,6	5,9	5,6
$t = 12$ [per]	7,5	6,3	4,9	6,6	6,7	4,5	5,7	5,8
$t = 12$ [per]	8,0	5,6	6,4	5,6	6,0	6,5	5,6	6,0
$t = 12$ [per]	8,5	6,2	6,7	6,7	6,5	6,6	6,1	6,5
$t = 12$ [per]	9,0	5,8	6,6	7,0	6,2	5,6	5,5	6,1
$t = 12$ [per]	9,5	6,4	6,4	6,6	6,5	6,2	6,2	6,4

Legenda: **rozstřík**



Legenda:

1 Mez rozstříku

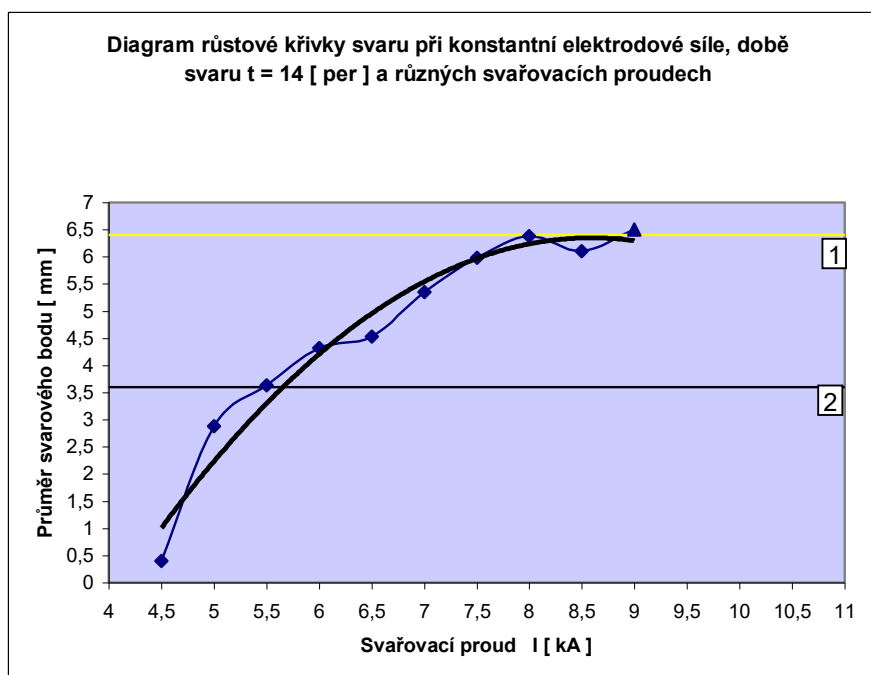
2 Minimální průměr svaru 3,6 [mm]

Příloha č. 6

Diagram růstové křivky svaru při konstantní síle, době svaru $t = 14$ [per] a různých svařovacích proudech

Svařovací čas t [per]	Svařovací proud I [kA]	Průměr svarového bodu [mm]						arit. průměr [mm]
		1	2	3	4	5	6	
$t = 14$ [per]	4,5	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
$t = 14$ [per]	5,0	3,0	2,8	2,7	2,8	3,1	2,9	2,9
$t = 14$ [per]	5,5	3,6	3,6	3,7	3,6	3,6	3,7	3,6
$t = 14$ [per]	6,0	4,0	4,2	4,0	4,3	4,0	5,4	4,3
$t = 14$ [per]	6,5	4,4	4,5	4,6	4,5	4,8	4,4	4,5
$t = 14$ [per]	7,0	5,3	5,3	5,3	5,2	5,6	5,4	5,4
$t = 14$ [per]	7,5	6,0	6,0	6,2	5,7	6,2	5,8	6,0
$t = 14$ [per]	8,0	6,3	6,3	6,3	6,5	6,5	6,4	6,4
$t = 14$ [per]	8,5	5,9	5,5	6,4	6,2	6,3	6,3	6,1
$t = 14$ [per]	9,0	6,4	6,3	6,6	6,6	6,8	6,3	6,5

Legenda: rozstřík



Legenda:

1 Mez rozstříku

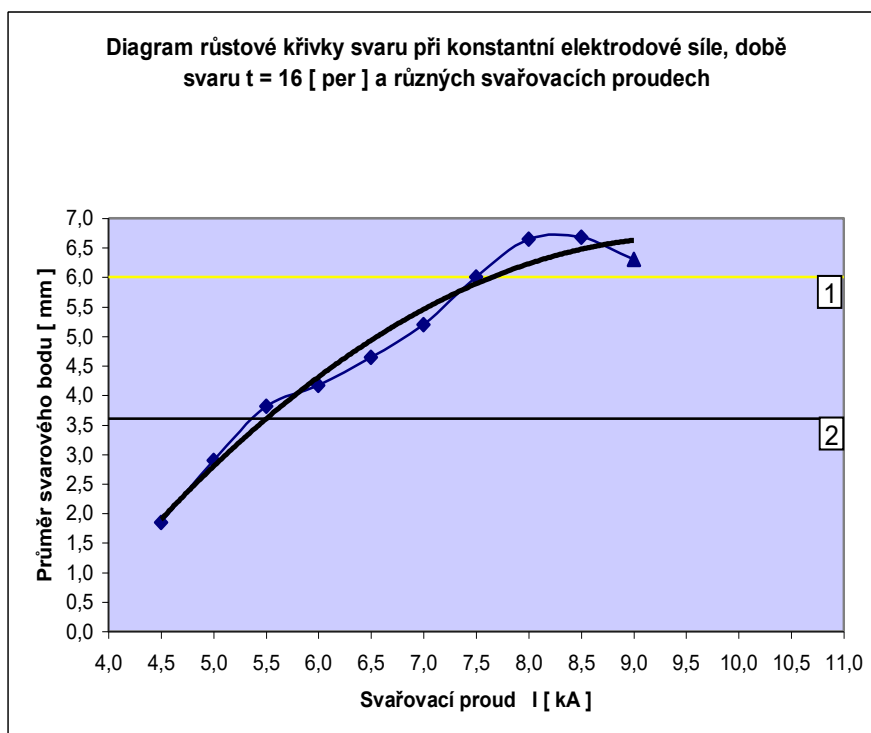
2 Minimální průměr svaru 3,6 [mm]

Příloha č. 7

Diagram růstové křivky svaru při konstantní síle, době svaru $t = 16$ [per] a různých svařovacích proudech

Svařovací čas t [per]	Svařovací proud I [kA]	Průměr svarového bodu [mm]						arit. průměr [mm]
		1	2	3	4	5	6	
$t = 16$ [per]	4,5	3,0	2,0	1,1	0,9	1,5	2,6	1,9
$t = 16$ [per]	5,0	2,6	2,7	2,8	3,3	2,8	3,2	2,9
$t = 16$ [per]	5,5	3,7	4,2	3,7	3,6	3,8	3,9	3,8
$t = 16$ [per]	6,0	4,1	4,0	4,4	4,2	4,0	4,3	4,2
$t = 16$ [per]	6,5	4,5	4,7	4,7	4,5	4,7	4,8	4,7
$t = 16$ [per]	7,0	5,2	5,0	4,9	5,0	5,5	5,6	5,2
$t = 16$ [per]	7,5	5,9	5,8	5,6	6,3	5,6	6,8	6,0
$t = 16$ [per]	8,0	6,7	6,7	6,6	6,7	6,6	6,6	6,7
$t = 16$ [per]	8,5	6,6	6,8	6,7	6,7	6,6	6,7	6,7
$t = 16$ [per]	9,0	7,2	5,6	5,6	6,3	6,7	6,4	6,3

Legenda: rozstřík



Legenda:

1 Mez rozstříku

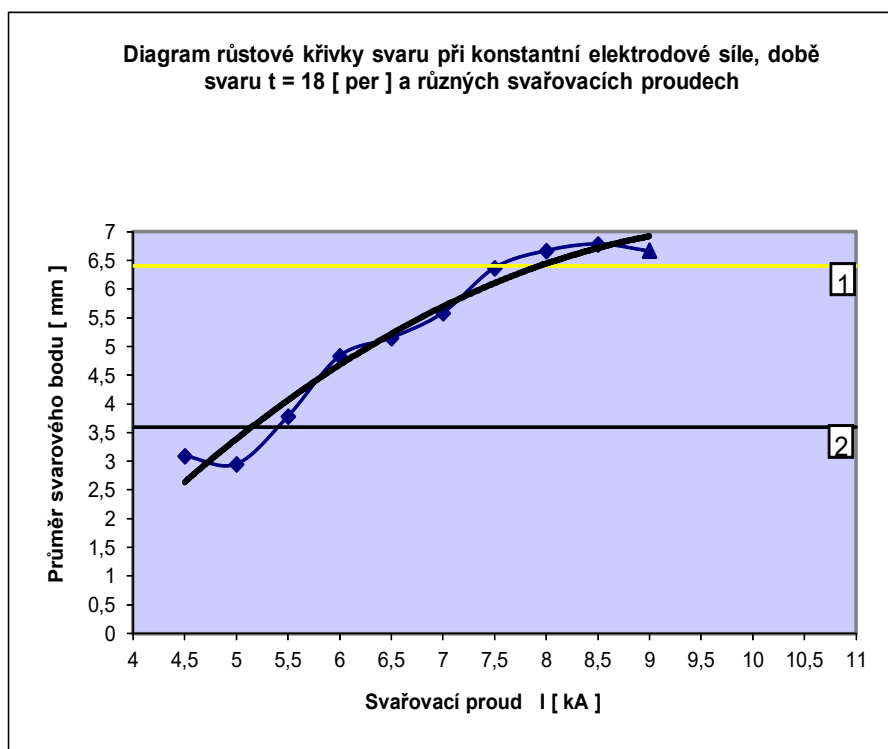
2 Minimální průměr svaru 3,6 [mm]

Příloha č. 8

Diagram růstové křivky svaru při konstantní síle, době svaru $t = 18$ [per] a různých svařovacích proudech

Svařovací čas t [per]	Svařovací proud I [kA]	Průměr svarového bodu [mm]						arit. průměr [mm]
		1	2	3	4	5	6	
$t = 18$ [per]	4,5	3,4	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8
$t = 18$ [per]	5,0	3,0	2,7	2,9	2,8	3,0	3,3	3,0
$t = 18$ [per]	5,5	3,9	3,9	3,7	4,1	3,4	3,7	3,8
$t = 18$ [per]	6,0	5,0	4,7	4,8	4,9	4,7	4,9	4,8
$t = 18$ [per]	6,5	5,4	4,9	5,3	5,0	5,1	5,2	5,2
$t = 18$ [per]	7,0	5,3	5,6	5,7	5,6	5,7	5,6	5,6
$t = 18$ [per]	7,5	6,2	6,2	6,2	6,4	6,5	6,7	6,4
$t = 18$ [per]	8,0	6,4	6,9	6,9	6,4	6,6	6,8	6,7
$t = 18$ [per]	8,5	6,7	6,9	7,0	6,1	7,0	7,0	6,8
$t = 18$ [per]	9,0	6,3	6,7	6,3	6,6	7,0	7,1	6,7

Legenda: **rozstřík**



Legenda:

1 Mez rozstříku

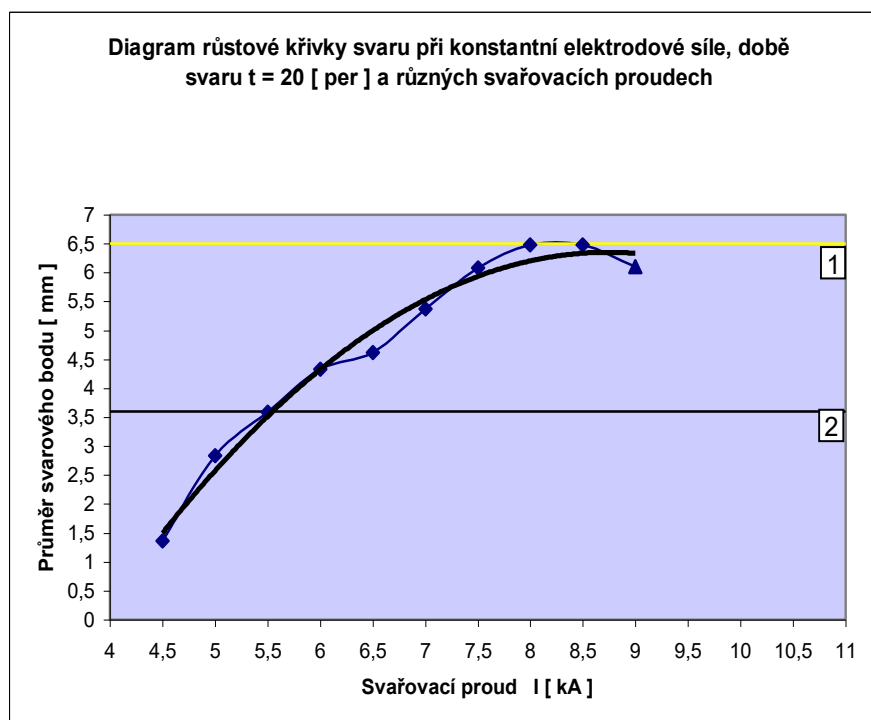
2 Minimální průměr svaru 3,6 [mm]

Příloha č. 9

Diagram růstové křivky svaru při konstantní síle, době svaru $t = 20$ [per] a různých svařovacích proudech

Svařovací čas t [per]	Svařovací proud I [kA]	Průměr svarového bodu [mm]						arit. průměr [mm]
		1	2	3	4	5	6	
$t = 20$ [per]	4,5	2,1	1,8	0,0	1,0	1,7	1,6	1,4
$t = 20$ [per]	5,0	2,7	2,7	2,9	2,8	2,9	3,0	2,8
$t = 20$ [per]	5,5	3,6	3,6	3,5	3,7	3,5	3,6	3,6
$t = 20$ [per]	6,0	4,2	4,1	4,3	4,4	4,3	4,7	4,3
$t = 20$ [per]	6,5	4,9	4,6	4,5	4,7	4,4	4,6	4,6
$t = 20$ [per]	7,0	4,8	5,4	5,8	5,4	5,3	5,5	5,4
$t = 20$ [per]	7,5	6,4	6,3	5,7	6,0	5,8	6,3	6,1
$t = 20$ [per]	8,0	6,5	6,3	6,5	6,3	6,6	6,7	6,5
$t = 20$ [per]	8,5	5,6	5,7	5,6	6,0	6,5	6,3	6,5
$t = 20$ [per]	9,0	5,7	6,0	6,3	6,7	6,2	5,7	6,1

Legenda: rozstřík



Legenda:

1 Mez rozstříku

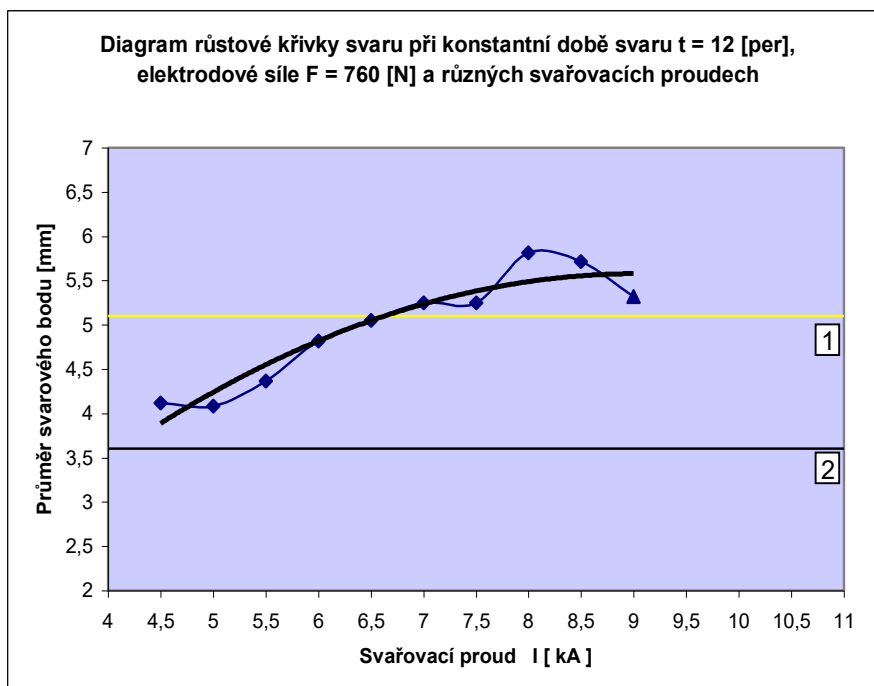
2 Minimální průměr svaru 3,6 [mm]

Příloha č. 10

Diagram růstové křivky svaru při konstantní době svaru $t = 12$ [per] , elektrodové síle $F = 760$ [N] a různých svařovacích proudech

Elektrodová síla F [N]	Svařovací proud I [kA]	Průměr svarového bodu [mm]						arit. průměr [mm]
		1	2	3	4	5	6	
F = 760 [N]	4,5	4,2	4,2	3,8	3,9	4,4	4,2	4,1
F = 760 [N]	5,0	4,2	3,8	4,0	4,0	4,2	4,3	4,1
F = 760 [N]	5,5	4,3	4,5	4,3	4,4	4,2	4,5	4,4
F = 760 [N]	6,0	5,2	4,6	4,8	4,8	4,7	4,8	4,8
F = 760 [N]	6,5	4,7	5,0	5,0	5,1	5,3	5,2	5,1
F = 760 [N]	7,0	5,1	5,2	5,3	5,4	5,2	5,3	5,3
F = 760 [N]	7,5	5,3	5,0	5,3	5,2	5,5	5,2	5,3
F = 760 [N]	8,0	5,3	6,0	6,3	6,0	5,9	5,4	5,8
F = 760 [N]	8,5	6,0	5,5	5,9	5,5	6,0	5,4	5,7
F = 760 [N]	9,0	3,7	5,4	5,4	5,7	5,7	6,0	5,3

Legenda: rozstřík



Legenda:

1 Mez rozstříku

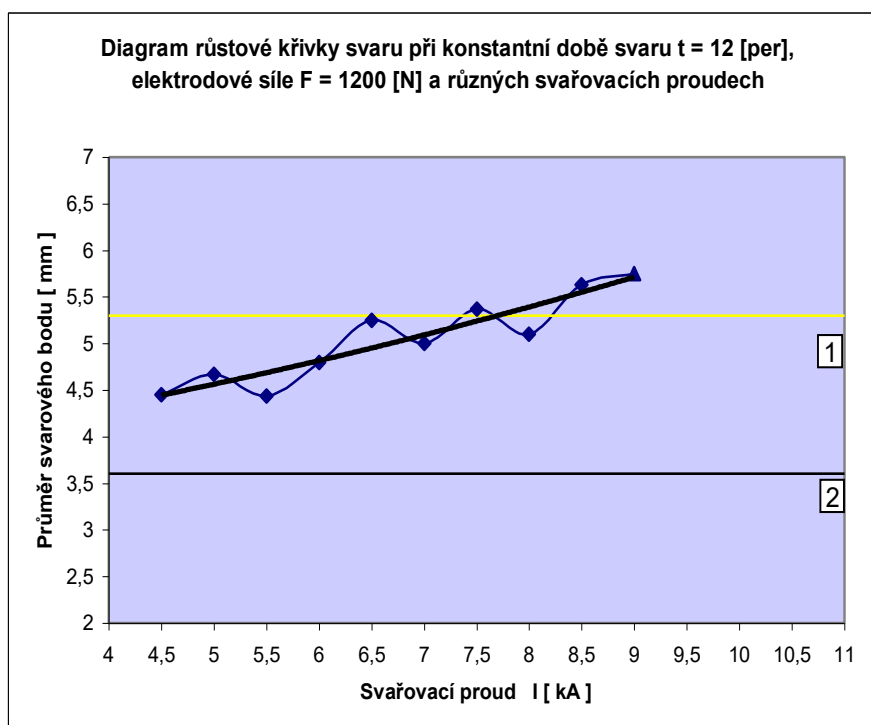
2 Minimální průměr svaru 3,6 [mm]

Příloha č. 11

Diagram růstové křivky svaru při konstantní době svaru $t = 12$ [per] , elektrodové síle $F = 1200$ [N] a různých svařovacích proudech

Elektrodová síla F [N]	Svařovací proud I [kA]	Průměr svarového bodu [mm]						arit. průměr [mm]
		1	2	3	4	5	6	
F = 1200 [N]	4,5	4,1	4,4	4,6	4,5	4,5	4,6	4,5
F = 1200 [N]	5,0	5,0	4,6	4,3	4,8	4,5	4,8	4,7
F = 1200 [N]	5,5	4,6	5,0	4,5	4,2	3,8	4,5	4,4
F = 1200 [N]	6,0	5,2	4,9	4,7	4,4	5,1	4,5	4,8
F = 1200 [N]	6,5	4,4	5,6	5,2	5,3	5,6	5,4	5,3
F = 1200 [N]	7,0	4,8	5,3	4,8	5,4	4,8	4,9	5,0
F = 1200 [N]	7,5	4,5	5,1	5,6	5,7	5,5	5,8	5,4
F = 1200 [N]	8,0	4,8	5,1	5,1	5,6	4,8	5,2	5,1
F = 1200 [N]	8,5	5,9	5,5	5,5	5,5	5,8	5,6	5,6
F = 1200 [N]	9,0	5,7	5,7	5,6	5,5	6,2	5,8	5,8

Legenda: rozstřík



Legenda:

1 Mez rozstříku

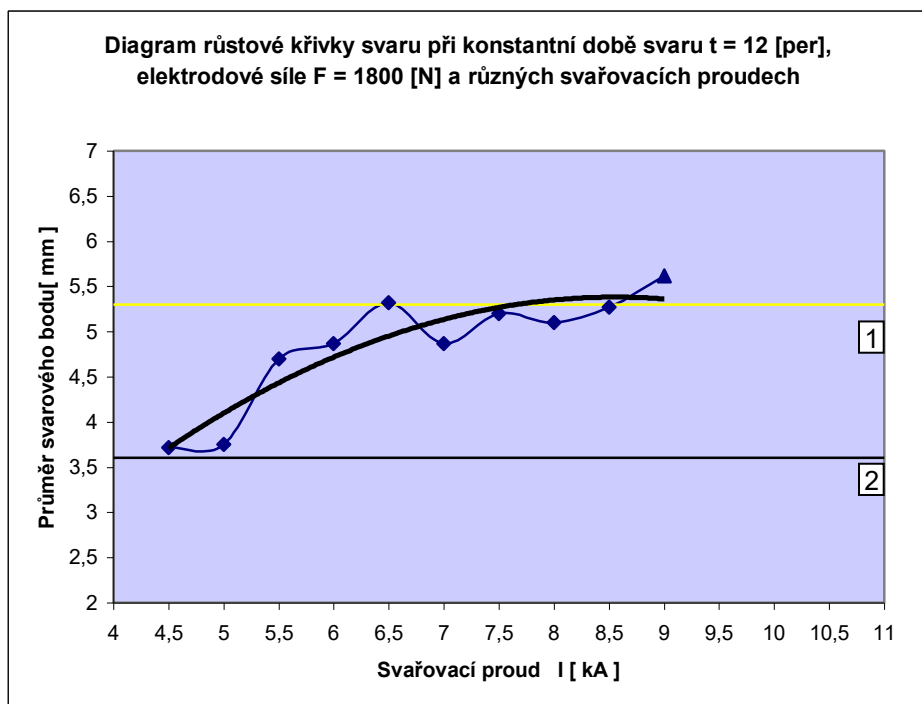
2 Minimální průměr svaru 3,6 [mm]

Příloha č. 12

Diagram růstové křivky svaru při konstantní době svaru $t = 12$ [per], elektrodové síle $F = 1800$ [N] a různých svařovacích proudech

Elektrodová síla F [N]	Svařovací proud I [kA]	Průměr svarového bodu [mm]						arit. průměr [mm]
		1	2	3	4	5	6	
F =1800 [N]	4,5	4,5	3,4	3,8	3,4	3,4	3,8	3,7
F =1800 [N]	5,0	3,5	3,8	3,7	3,8	3,8	3,9	3,8
F =1800 [N]	5,5	4,2	4,8	4,5	4,6	5,2	4,9	4,7
F =1800 [N]	6,0	4,7	4,5	5,4	4,6	4,7	5,3	4,9
F =1800 [N]	6,5	5,2	5,4	5,9	5,3	4,8	5,3	5,3
F =1800 [N]	7,0	4,6	4,9	4,7	5,1	5,1	4,8	4,9
F =1800 [N]	7,5	5,4	5,4	4,6	5,0	5,7	5,1	5,2
F =1800 [N]	8,0	5,2	5,3	5,1	4,9	5,2	4,9	5,1
F =1800 [N]	8,5	4,9	5,6	4,8	5,5	5,6	5,2	5,3
F =1800 [N]	9,0	5,9	5,3	5,2	5,4	5,8	6,1	5,6

Legenda: rozstřík



Legenda:

1 Mez rozstříku

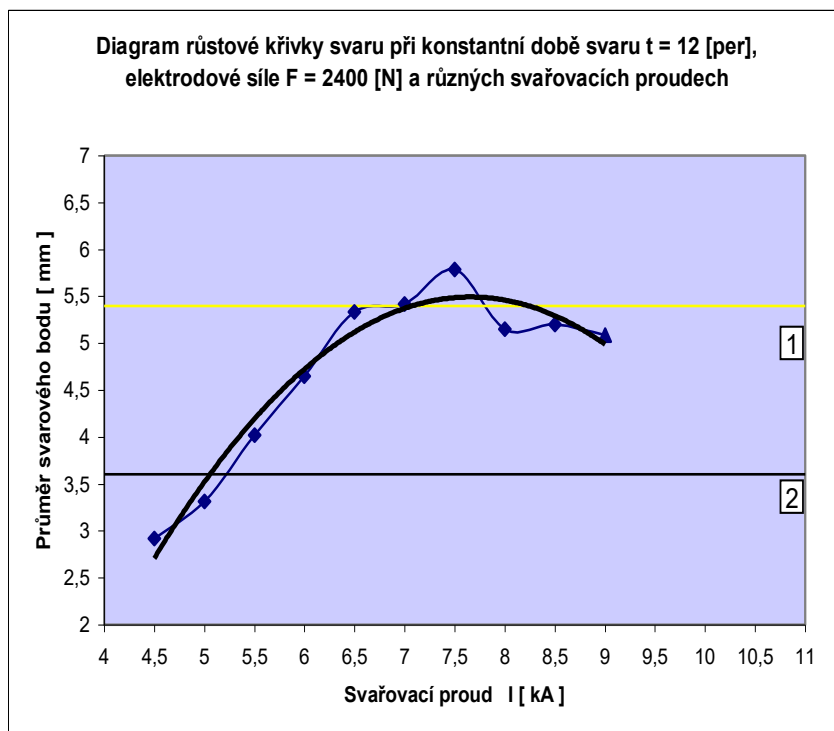
2 Minimální průměr svaru 3,6 [mm]

Příloha č. 13

Diagram růstové křivky svaru při konstantní době svaru $t = 12$ [per], elektrodové síle $F = 2400$ [N] a různých svařovacích proudech

Elektrodová síla F [N]	Svařovací proud I [kA]	Průměr svarového bodu [mm]						arit. průměr [mm]
		1	2	3	4	5	6	
F = 2400 [N]	4,5	3,3	2,5	2,0	3,1	3,4	3,2	2,9
F = 2400 [N]	5,0	3,3	3,2	3,3	2,9	3,0	4,2	3,3
F = 2400 [N]	5,5	4,0	4,4	3,6	3,9	3,8	4,4	4,0
F = 2400 [N]	6,0	4,8	4,9	4,7	4,7	4,3	4,5	4,7
F = 2400 [N]	6,5	5,3	5,3	5,7	5,1	5,2	5,4	5,3
F = 2400 [N]	7,0	5,5	5,6	5,6	5,6	5,6	4,6	5,4
F = 2400 [N]	7,5	5,4	5,7	5,9	6,0	5,7	6,0	5,8
F = 2400 [N]	8,0	5,3	5,4	5,1	4,9	5,3	4,9	5,2
F = 2400 [N]	8,5	4,8	5,6	5,1	5,9	4,9	4,9	5,2
F = 2400 [N]	9,0	5,1	5,1	4,8	5,1	5,2	5,2	5,1

Legenda: rozstřík



Legenda:

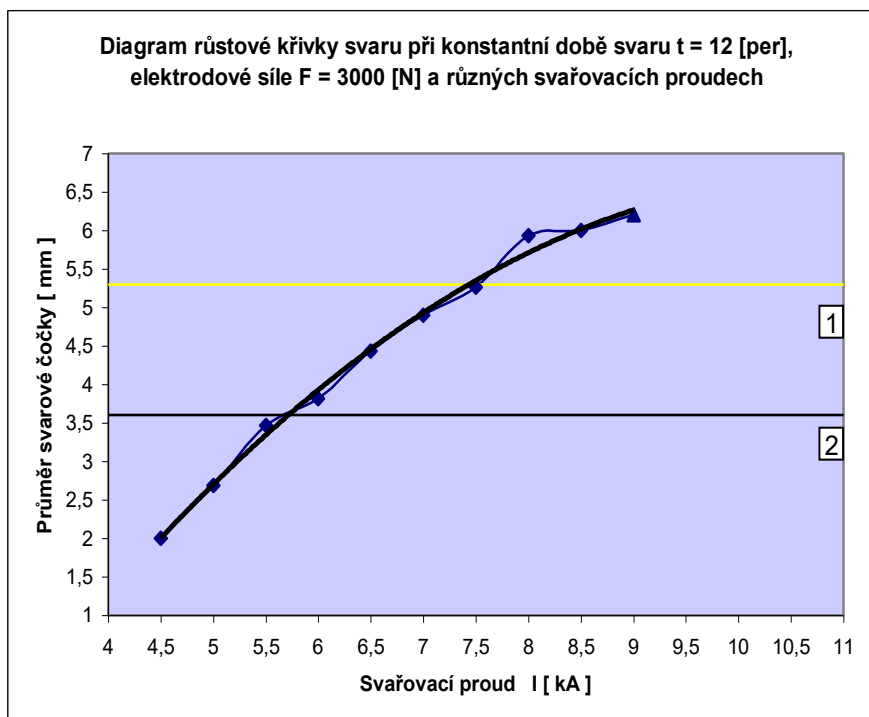
1 Mez rozstříku

2 Minimální průměr svaru 3,6 [mm]

Příloha č. 14

Elektrodová síla F [N]	Svařovací proud I [kA]	Průměr svarového bodu [mm]						arit. průměr [mm]
		1	2	3	4	5	6	
F = 3000 [N]	4,5	3,5	0,9	2,0	1,6	1,9	2,1	2,0
F = 3000 [N]	5,0	2,7	2,6	2,6	2,8	2,4	3,0	2,7
F = 3000 [N]	5,5	3,6	3,5	3,3	3,4	3,3	3,7	3,5
F = 3000 [N]	6,0	3,9	3,9	3,6	3,9	3,7	3,9	3,8
F = 3000 [N]	6,5	4,4	4,5	4,4	4,4	4,4	4,5	4,4
F = 3000 [N]	7,0	4,6	4,9	4,8	4,9	5,0	5,2	4,9
F = 3000 [N]	7,5	5,3	5,2	5,6	5,1	5,1	5,3	5,3
F = 3000 [N]	8,0	6,1	6,0	5,8	5,7	6,0	6,0	5,9
F = 3000 [N]	8,5	6,2	5,7	6,0	6,1	5,9	6,1	6,0
F = 3000 [N]	9,0	6,2	6,3	6,2	6,1	6,1	6,3	6,2

Legenda: rozstřík



Legenda:

1 Mez rozstříku

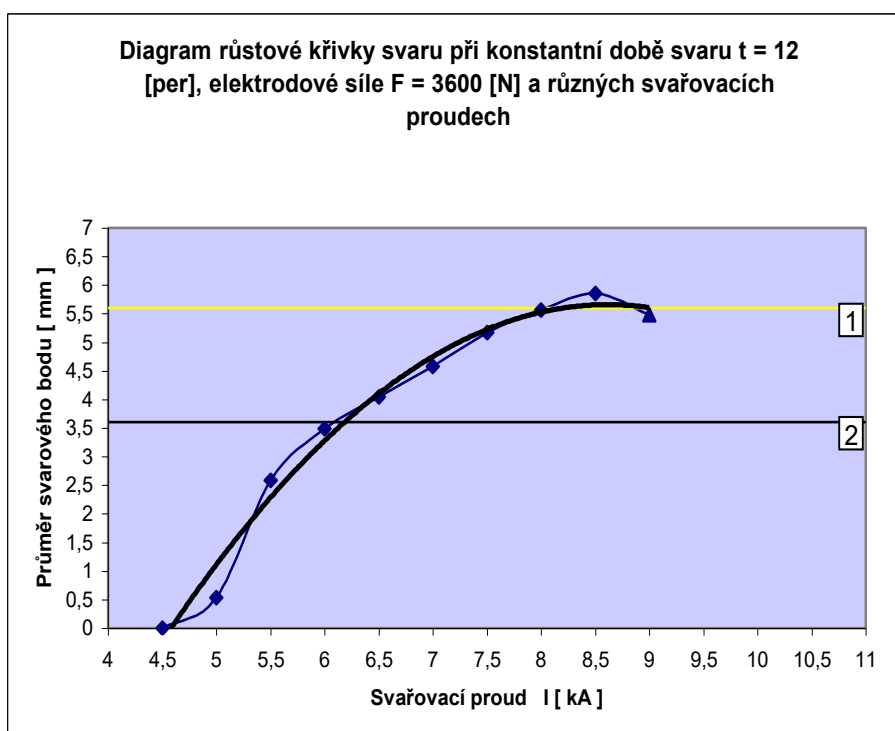
2 Minimální průměr svaru 3,6 [mm]

Příloha č. 15

Diagram růstové křivky svaru při konstantní době svaru $t = 12$ [per], elektrodové síle $F = 3600$ [N] a různých svařovacích proudech

Elektrodová síla F [N]	Svařovací proud I [kA]	Průměr svarového bodu [mm]						arit. průměr [mm]
		1	2	3	4	5	6	
$F = 3600$ [N]	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$F = 3600$ [N]	5,0	1,9	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5
$F = 3600$ [N]	5,5	3,2	2,7	2,7	2,1	2,3	2,5	2,6
$F = 3600$ [N]	6,0	3,5	3,6	3,3	3,6	3,5	3,4	3,5
$F = 3600$ [N]	6,5	4,0	4,1	4,1	4,0	4,0	4,1	4,1
$F = 3600$ [N]	7,0	4,7	4,4	4,5	4,8	4,6	4,5	4,6
$F = 3600$ [N]	7,5	5,2	5,4	5,3	5,1	5,0	5,0	5,2
$F = 3600$ [N]	8,0	5,6	5,6	5,4	5,5	5,8	5,5	5,6
$F = 3600$ [N]	8,5	5,8	5,9	5,7	5,8	6,1	5,8	5,9
$F = 3600$ [N]	9,0	6,1	5,2	5,2	5,5	5,6	5,3	5,5

Legenda: rozstřík



Legenda:

1 Mez rozstříku

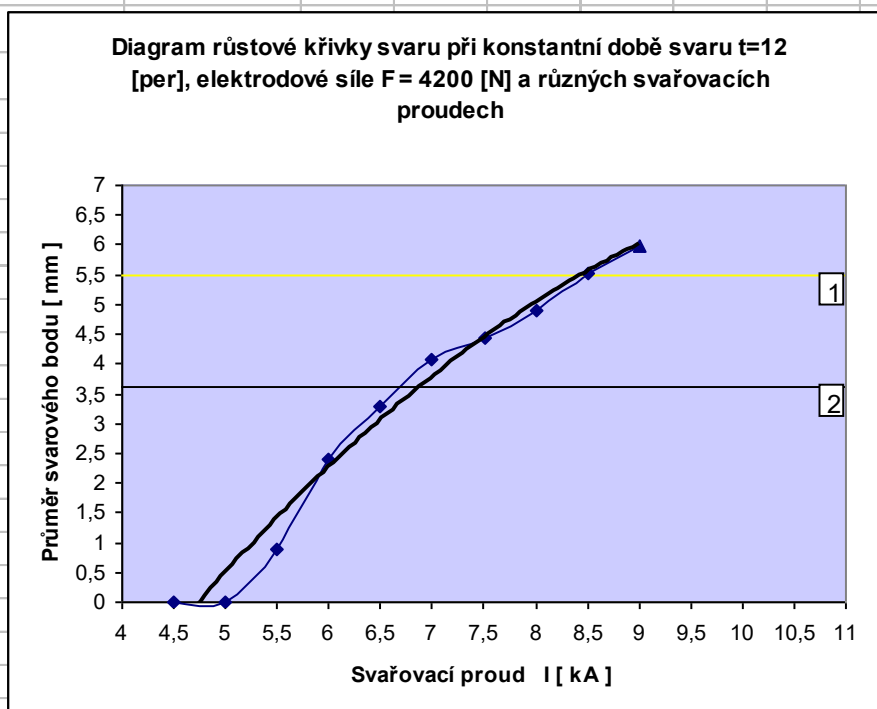
2 Minimální průměr svaru 3,6 [mm]

Příloha č. 16

Diagram růstové křivky svaru při konstantní době svaru $t = 12$ [per] ,
elektrodové síle $F = 4200$ [N] a různých svařovacích proudech

Elektrodová síla F [N]	Svařovací proud I [kA]	Průměr svarového bodu [mm]						arit. průměr [mm]
		1	2	3	4	5	6	
F = 4200 [N]	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
F = 4200 [N]	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
F = 4200 [N]	5,5	3,3	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9
F = 4200 [N]	6,0	2,6	2,4	2,3	2,4	2,3	2,4	2,4
F = 4200 [N]	6,5	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3	3,5	3,3
F = 4200 [N]	7,0	4,6	4,1	4,0	3,9	3,9	3,9	4,1
F = 4200 [N]	7,5	4,5	4,5	4,6	4,4	4,3	4,3	4,4
F = 4200 [N]	8,0	4,7	4,9	4,7	4,9	4,9	5,3	4,9
F = 4200 [N]	8,5	5,5	5,6	5,5	5,7	5,4	5,4	5,5
F = 4200 [N]	9,0	6,1	5,9	5,9	5,8	6,0	6,2	6,0

Legenda: rozstřík



Legenda:

1 Mez rozstříku

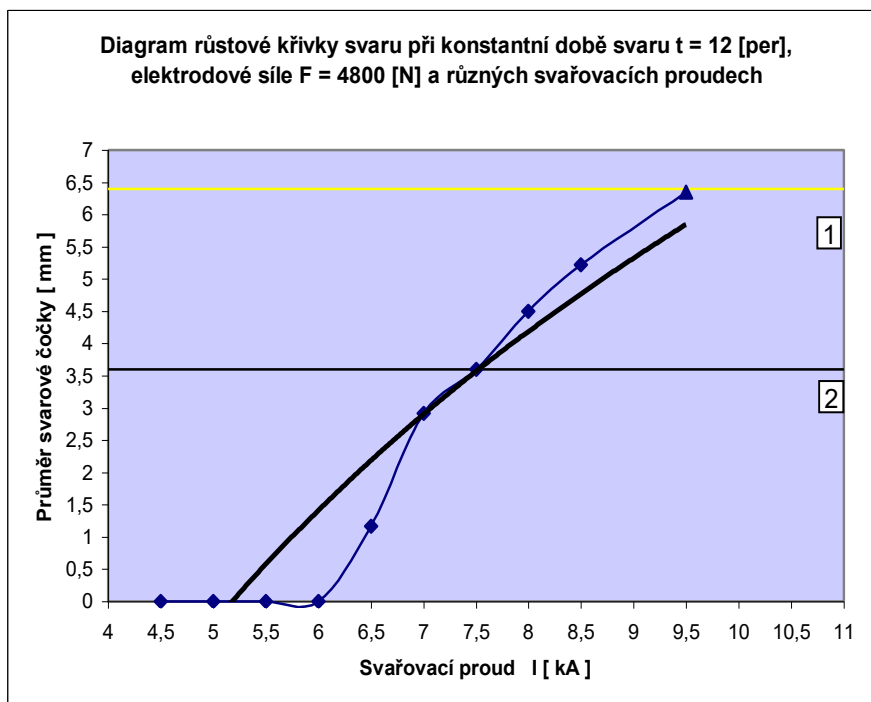
2 Minimální průměr svaru 3,6 [mm]

Příloha č. 17

Diagram růstové křivky svaru při konstantní době svaru $t = 12$ [per] , elektrodové síle $F = 4800$ [N] a různých svařovacích proudech

Elektrodová síla F [N]	Svařovací proud I [kA]	Průměr svarového bodu [mm]						arit. průměr [mm]
		1	2	3	4	5	6	
F = 4800 [N]	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
F = 4800 [N]	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
F = 4800 [N]	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
F = 4800 [N]	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
F = 4800 [N]	6,5	0,0	0,0	1,8	2,0	1,6	1,6	1,2
F = 4800 [N]	7,0	3,0	3,2	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9
F = 4800 [N]	7,5	3,7	3,7	3,5	3,6	3,6	3,5	3,6
F = 4800 [N]	8,0	4,5	4,4	4,5	4,4	4,4	4,8	4,5
F = 4800 [N]	8,5	5,2	5,0	5,1	4,9	5,5	5,6	5,2
F = 4800 [N]	9,5	6,5	6,1	6,3	6,6	6,2	6,4	6,4

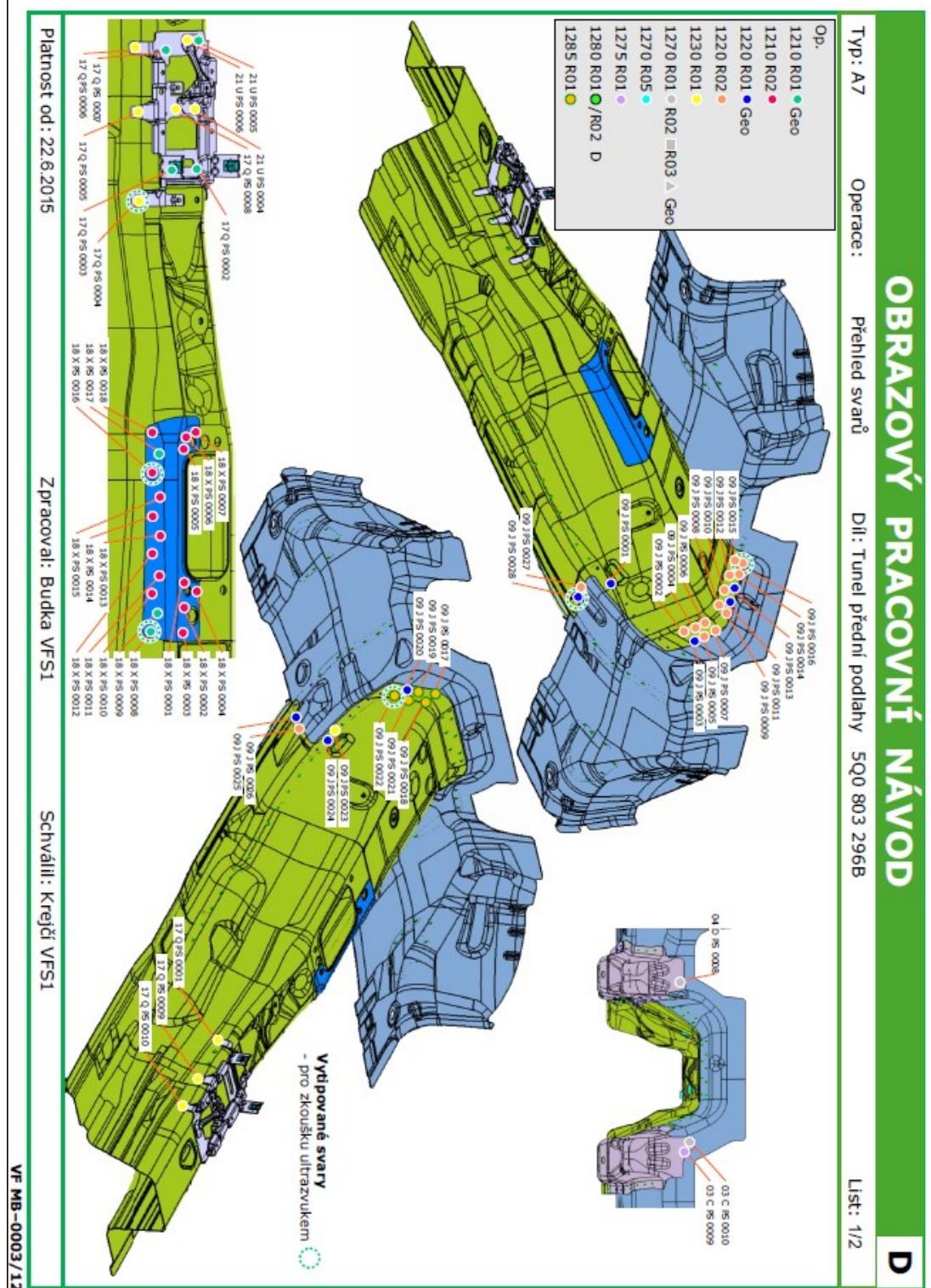
Legenda: rozstřik

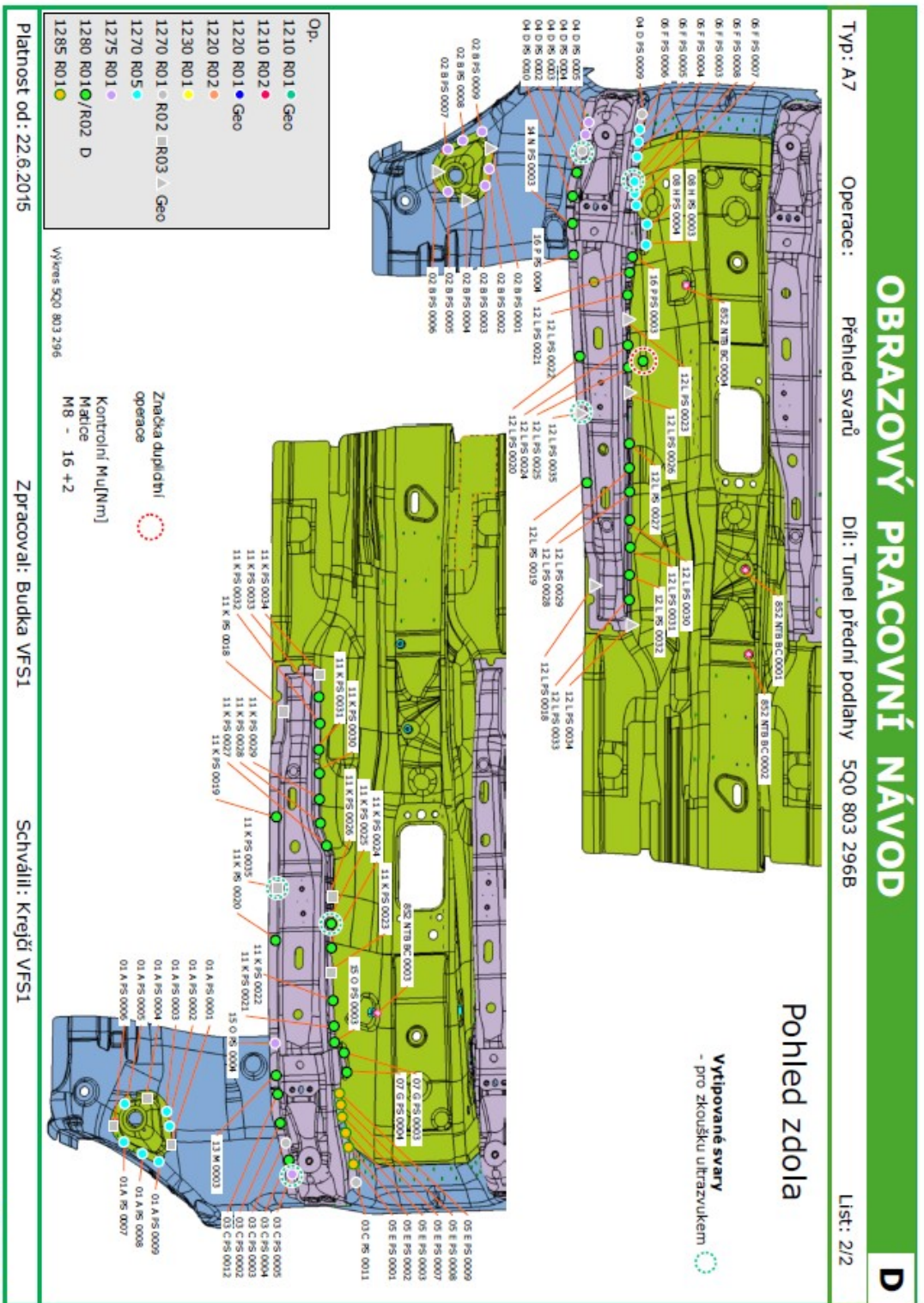


Legenda:

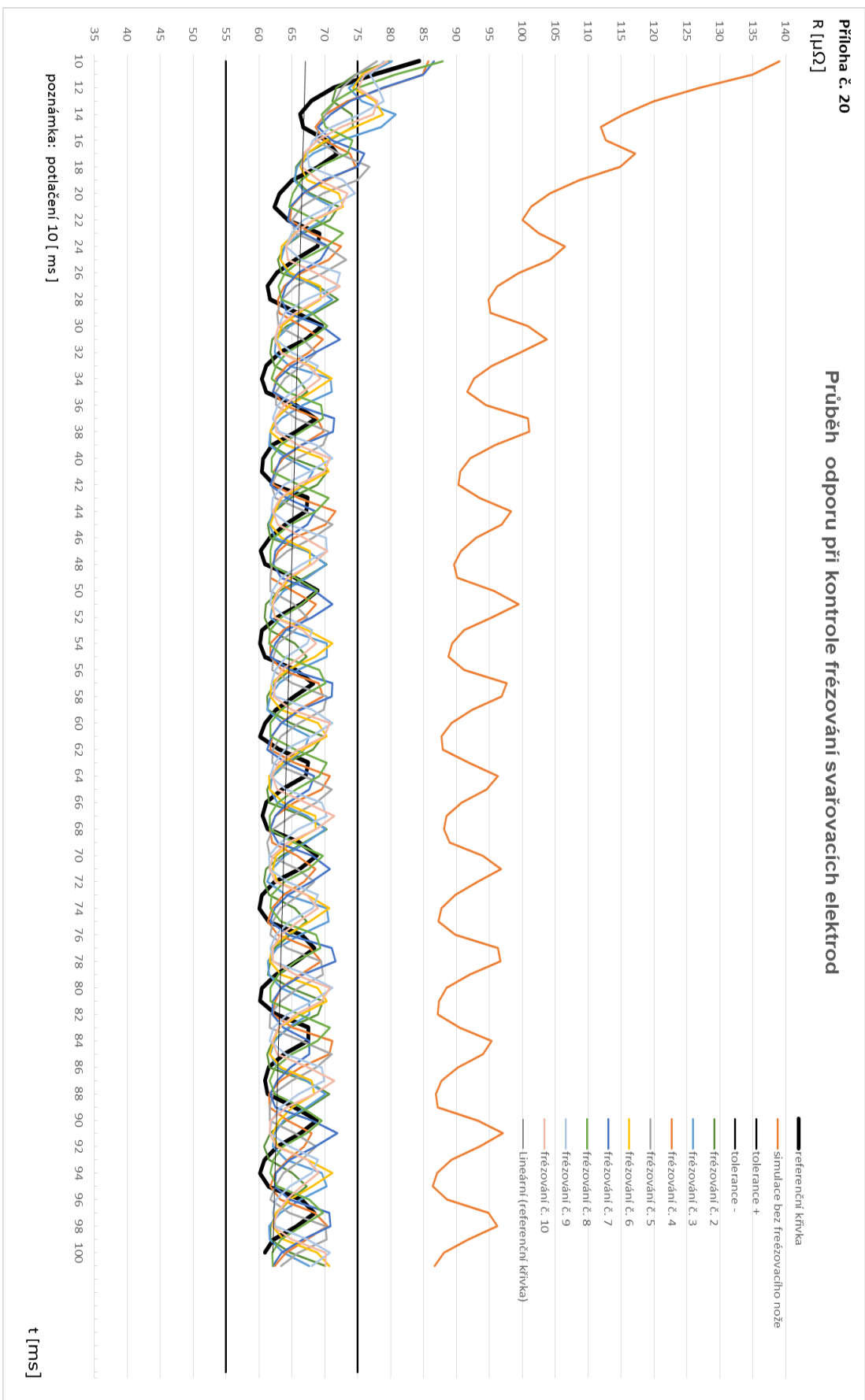
1 Mez rozstříku

2 Minimální průměr svaru 3,6 [mm]





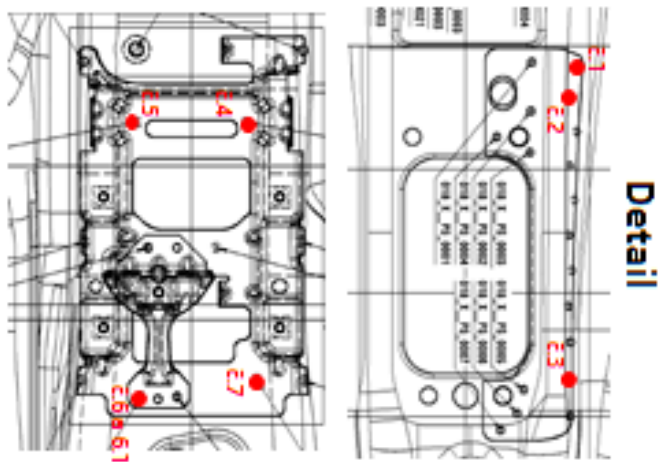
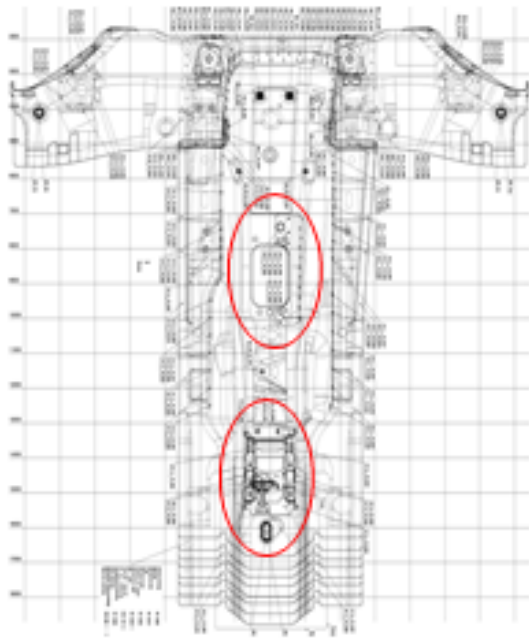
Příloha č. 20



Příloha č. 21

Tunel - kontrola sv. bodů op. 12110 R01 Geo před frézováním čepiček
PFS-K/1, Petr Křemenák, Ing. Jiří Pacák
19.8.2016

Tunel - kontrola sv. bodů op. 1210 R01 Geo před frézováním čepiček



Tunel č.1 (fréza 10)



označení sv. bodu	předepsaný průměr	naměřený průměr	hodnocení
018XP50008	4,8	6,5	1,0
018XP50009	4,8	6,4	1,0
018XP50017	4,8	5,9	1,0
017QP50003	4,8	5,8	1,0
017QP50002	4,8	6,3	1,0
021UP50005	4,8/4,9	6,7/5,6	1,0 / 1,0
017QP50007	4,9	5,9	1,0

Hodnoceno dle normy VW 01105 - 1

Tunel č.2 (fréza 20)



označení sv. bodu	předepsaný průměr	naměřený průměr	hodnocení
018XP50008	4,8	7,1	1,0
018XP50009	4,8	7,4	1,0
018XP50017	4,8	6,6	1,0
017QP50003	4,8	6,1	1,0
017QP50002	4,8	6,3	1,0
021UP50005	4,8/4,9	6,1/5,5	1,0/1,0
017QP50007	4,9	5,5	1,0

Hodnoceno dle normy VW 01105 - 1

Tunel č.3 (fréza 22)



označení sv. bodu	předepsaný průměr	naměřený průměr	hodnocení
018XPS0008	4,8	7,5	1,0
018XPS0009	4,8	6,4	1,0
018XPS0017	4,8	5,4	1,0
017QPS0008	4,8	6,3	1,0
017QPS0002	4,8	6,3	1,0
021UPPS0005	4,8/4,9	6,3/6,2	1,0/1,0
017QPS0007	4,9	5,9	1,0

Hodnoceno dle normy VW 01105 - 1

Tunel č.4 (fréza 23)



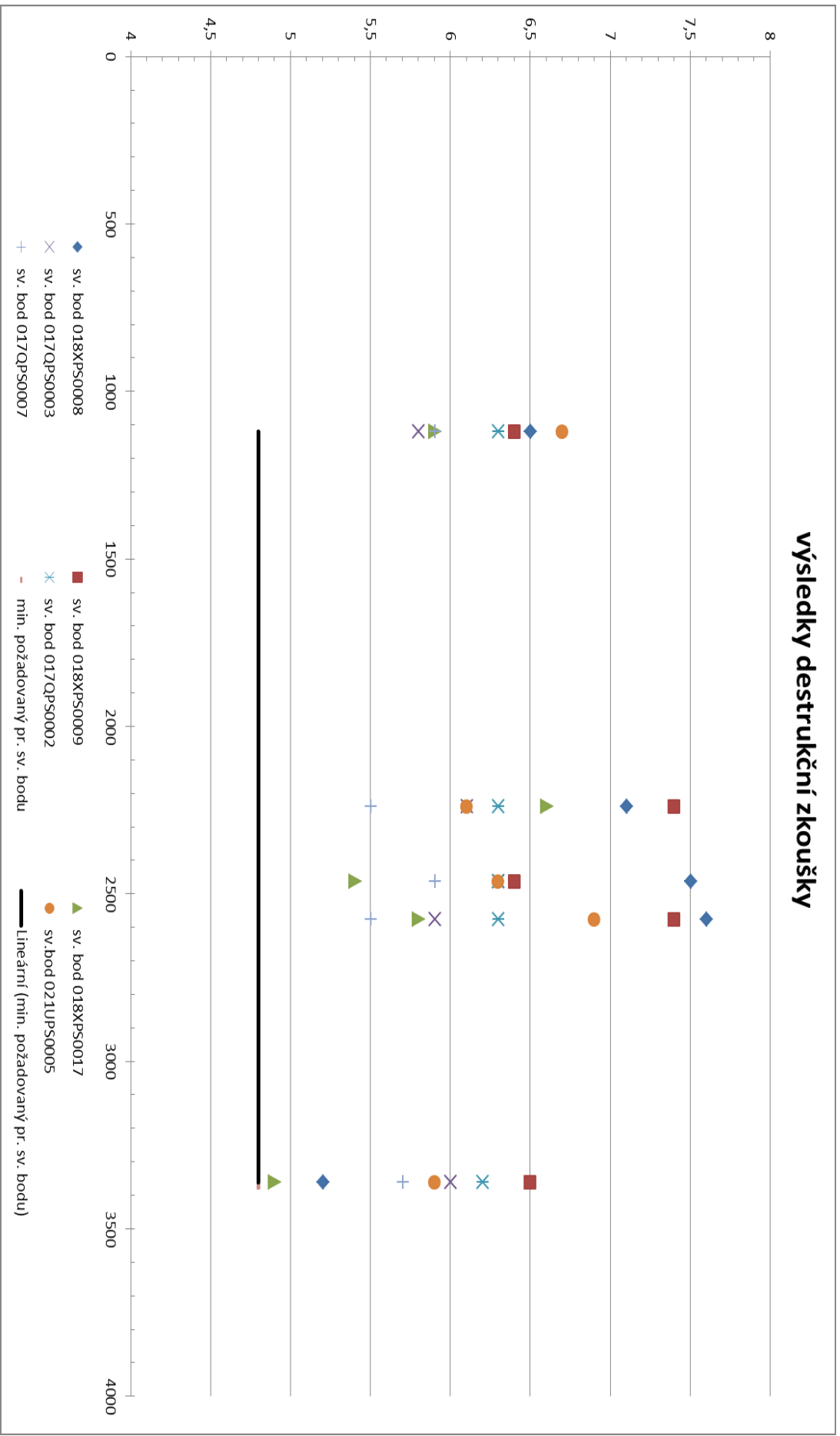
označení sv. bodu	předepsaný průměr	naměřený průměr	hodnocení
018XPS0008	4,8	7,6	1,0
018XPS0009	4,8	7,4	1,0
018XPS0017	4,8	5,8	1,0
017QP50003	4,8	5,9	1,0
017QP50002	4,8	6,3	1,0
021UP50005	4,8/4,9	6,9/5,4	1,0/1,0
017QP50007	4,9	5,5	1,0

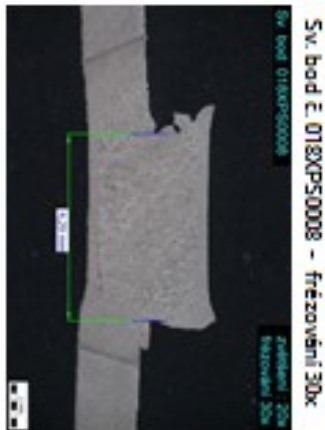
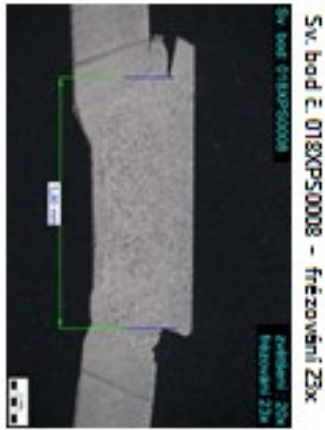
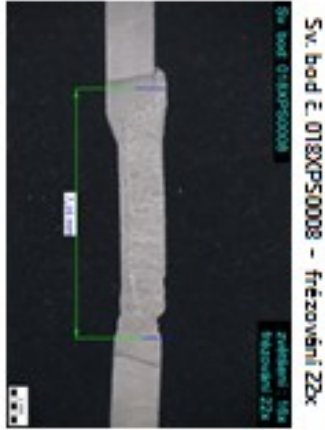
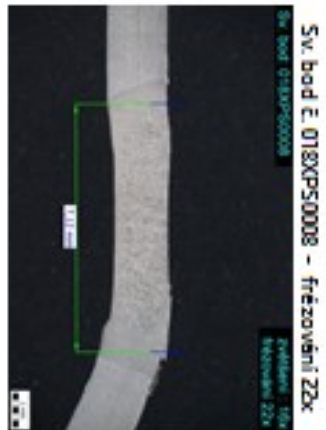
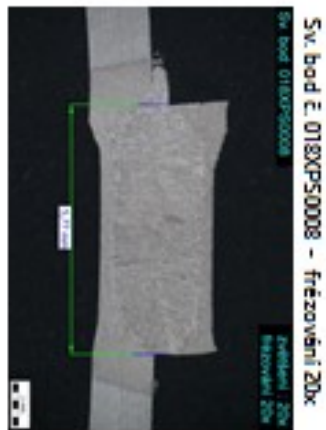
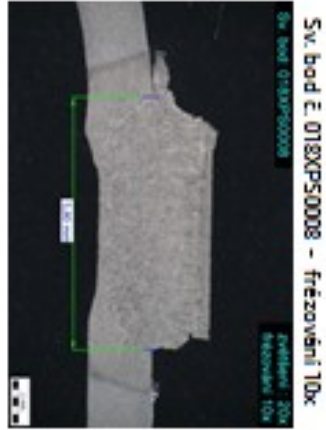
Hodnoceno dle normy VW 01105 - 1

Sumarizace

	Průměr svařovacího bodu [mm], požadavek dle VW 01105-1 4,8 [mm]				
svarový bod	10 ft. (1120 sv.)	20 ft. (2240 sv.)	22 ft. (2464 sv.)	23 ft. (2576 sv.)	30 ft. (3360 sv.)
018X/PS0008	6,5	7,1	7,5	7,6	5,2
018X/PS0009	6,4	7,4	6,4	7,4	6,5
018X/PS0017	5,9	6,6	5,4	5,8	4,9
017Q/PS0003	5,8	6,1	6,3	5,9	6
017Q/PS0002	6,3	6,3	6,3	6,3	6,2
021U/PS0005	6,7/5,6	6,1/5,5	6,3/6,2	6,9/5,4	5,9/5,6
017Q/PS0007	5,9	5,5	5,9	5,5	5,7

výsledky destrukční zkoušky





zvětšení	± u [um]
10x - 20x	20

Kovářík Roman/PS-017

produkt 6 10022871-1

10.2 Sv. bod 018XPS0008 018XPS0008

Příloha č. 22

