

OPTIMALIZACE SVAŘOVACÍCH PARAMETRŮ PŘI ODPOROVÉM BODOVÉM SVAŘOVÁNÍ KOMBINOVANÝCH MATERIÁLŮ

Marie KOLAŘÍKOVÁ, Ladislav KOLAŘÍK

ČVUT v Praze, FS, Technická 4, Praha 6, 166 07, tel: +420 224 352 628, email: marie.kolarikova@fs.cvut.cz, ladislav.kolarik@fs.cvut.cz

Abstrakt

Vzhledem k rostoucím nárokům na bezpečnost automobilů a environmentálním požadavkům, jsou kladeny i vyšší nároky na jejich výrobce. Pro zvýšení bezpečnosti a současného snižování hmotnosti jsou stále častěji používány vysokopevné ocelové plechy. Tyto materiály bývají často kombinovány např. s hlubokotažnými plechy a jsou obvykle upravovány různými povrchovými úpravami. Tyto kombinace s sebou přinášejí komplikace při jejich vzájemném svařování. Na optimálním nastavení svařovacích parametrů závisí výsledná kvalita spoje. Článek je zaměřen na optimalizaci svařovacích parametrů při odporovém bodovém svařování kombinace dvou ocelových plechů – vysokopevnostní ocelový termomechanicky zpracovaný plech (22MnB5) s povlakem Al-Si a hlubokotažný žárově pozinkovaný ocelový plech (HX420LAD + Z).

Klíčová slova: bodové odporové svařování; 22MnB5; HX420LAD; optimalizace svařovacích parametrů

1. Úvod

Produkce automobilů se celosvětově neustále zvyšuje. Stejně tak se i zvyšují požadavky zákazníků a na výrobce automobilů je vyvíjen tlak, aby zvyšovali bezpečnost a současně i snižovali hmotnost automobilů, čímž dochází k úspoře pohonných hmot. Rozhodující vliv na bezpečnost posádky má konstrukce a materiál karoserie. U nových modelů jsou v kritických místech karoserie používány vysokopevnostní ocelové plechy malých tloušťek. To s sebou přináší technologické problémy mimo jiné také z hlediska obtížnější svařitelnosti. Situaci dále komplikuje fakt, že používané vysokopevnostní plechy bývají povrchově upravovány (nejčastěji povlaky na bázi zinku) a na povrchu je tenký film maziva.

Nejčastěji používanou metodou při svařování karosérií je odporové bodové svařování. Pro vytvoření kvalitního spoje je třeba nastavit optimální svařovací parametry. Vzhledem k tomu, že bývají spojovány kombinace různých plechů, s různými povrchovými úpravami, někdy také s mezivrstvou lepidla (k zaxifování svařovaných dílů a zvýšení účinků tlumení hluků a vibrací), je nastavení optimálních parametrů komplikované. [1]

2. Materiály a jejich vlastnosti

Pro experiment popsáný v tomto příspěvku byly použity: Termomechanicky zpracovaný vysokopevnostní plech 22MnB5 (chemické složení je v tabulce 1, mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 2) je borová ocel válcovaná za studena, s vysokou pevností a dobrou tvárností. Je vhodná pro výrobky vyžadující tvárnost při zpracování a vysokou pevnost pro finální výrobek; pevnosti a tvrdosti této oceli se dosahuje kalením po tvářením. Používá se na výrobu nárazníků, výztuh A a B sloupků, střešních kolejnic a bezpečnostních komponentů. Použitý plech byl

povrchově upraven vrstvou Al-Si s tloušťkou 40 µm (obr. 1). Tloušťka svařovaného plechu byla 1,14 mm.

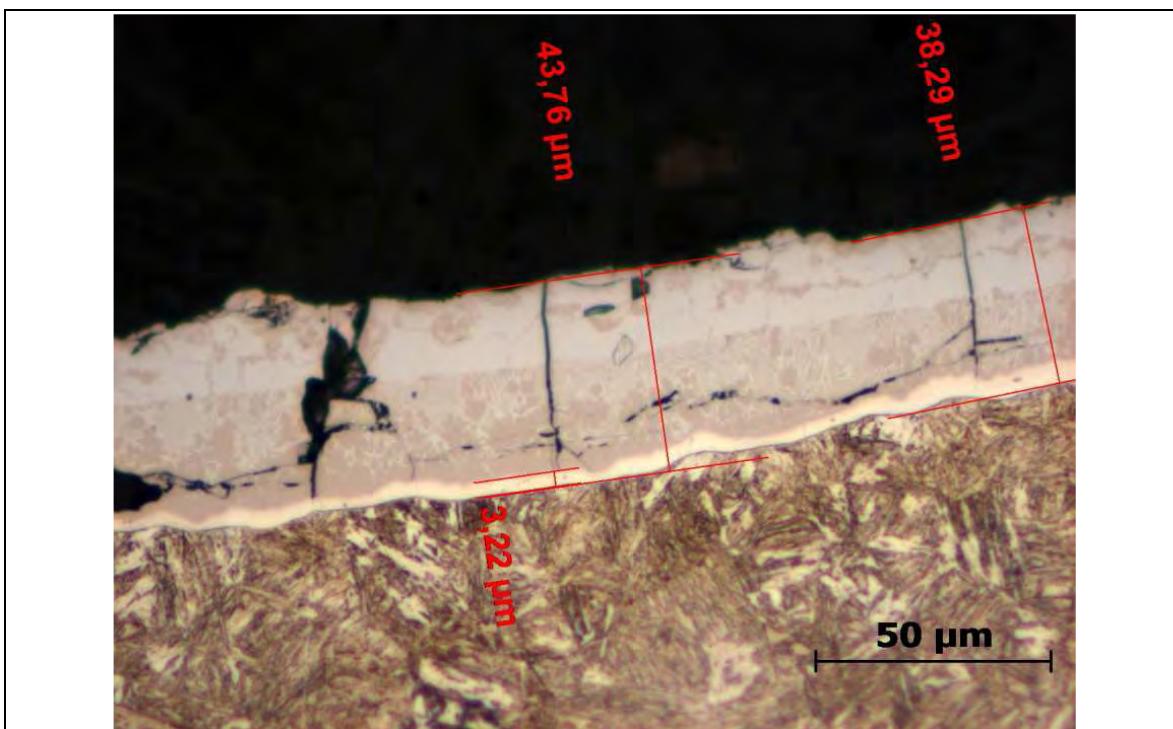
Ocel HX420LAD + Z je nízkolegovaná hlubokotažná feritická ocel (chemické složení je v tabulce 1, mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 2) tvářená za studena s minimální mezí kluzu $R_{p0,2} = 420$ MPa. Povrchovou úpravu tvoří žárově nanesený zinek.

Tab. 1: Chemické složení použitých materiálů

22MnB5	C	Si	Mn	P	S	Al	B	Cr	Mo	Ti
	0,20	0,15	1,10	≤ 0,025	≤ 0,005	0,02	0,002	≤ 0,35	≤ 0,35	0,02
HX420LAD	C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	Ti		
	0,11	0,5	1,7	0,03	0,025	0,015	0,09	0,15		

Tab. 2: Mechanické vlastnosti použitých materiálů

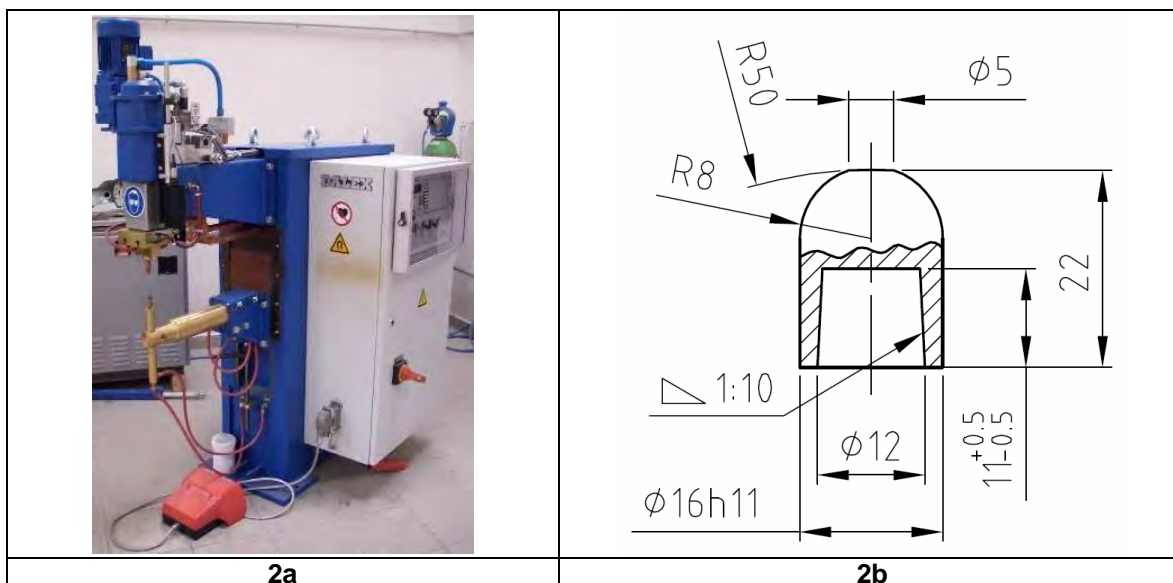
materiál	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A_{80} min. [%]
22MnB5	950 – 1250	1300 - 1650	4,5
HX420LAD	420 – 520	470 – 590	17



Obr. 1: Povlak Al-Si na vysokopevnostním plechu 22MnB5

3. Použité zařízení

Praktický ověřovací experiment byl z části proveden v mezifakultní laboratoři výuky svářečských technologií a z části ve výrobním závodě ŠKODA Auto a.s.. Pro svařování bylo použito zařízení DALEX PMS 11-4 (obr. 2a) s elektrodovými čepičkami 39D 1978-1 (obr. 2b). Materiál čepiček byl CuCr1Zr dle DIN ISO 5182-A2/2. Čepičky byly umístěny na elektrodových držácích DALEX 2S30. Průměr elektrod byl 5 mm.



Obr. 2: Svařovací odporový lis DALEX PMS 11-4 (2a), elektrodové čepičky 39D 1978-1 (2b)

4. Experiment

Optimalizace svařovacích parametrů byla provedena podle normy ČSN EN ISO 14327 [2] podle níž byl sestaven tzv. diagram oblasti svařování. Diagram oblasti svařování se stanovuje buď při konstantní elektrodové síle, nebo při konstantním čase a sestavuje se z tzv. růstových křivek. U všech vyhotovených svarů bylo provedeno kontrolní defektoskopické měření na vnitřní vady (ultrazvukem), měření maximální síly ve stříhu a měření průměru vytržených bodových svarů.

5. Naměřené hodnoty

Naměřené hodnoty svařovacích parametrů při konstantním čase 14 period (1 perioda = 0,02 s) jsou uvedeny v tabulce 3. Naměřené hodnoty svařovacích parametrů při konstantní elektrodové síle 2,5 kN jsou uvedeny v tabulce 4. Všechny svary vyhověly UT zkoušce. Vzorčky, u kterých došlo k rozstříku, měly velkou hloubku vtisku svařovacích elektrod.

Tab. 3: Naměřené hodnoty při konstantním čase svařování (14 period)

P_s [kN]	2				2,5				3			
I_s [kA]	5	6,5	8	9,5	5	6,5	8	9,5	5	6,5	8	9,5
d_p [mm]	3,65	4,10	4,55	5,65	3,60	4,45	4,80	5,30	3,80	4,50	4,80	5,40
F_{max} [kN]	-	8,73	9,15	10,02	-	9,43	9,01	9,28	-	8,35	7,69	9,47

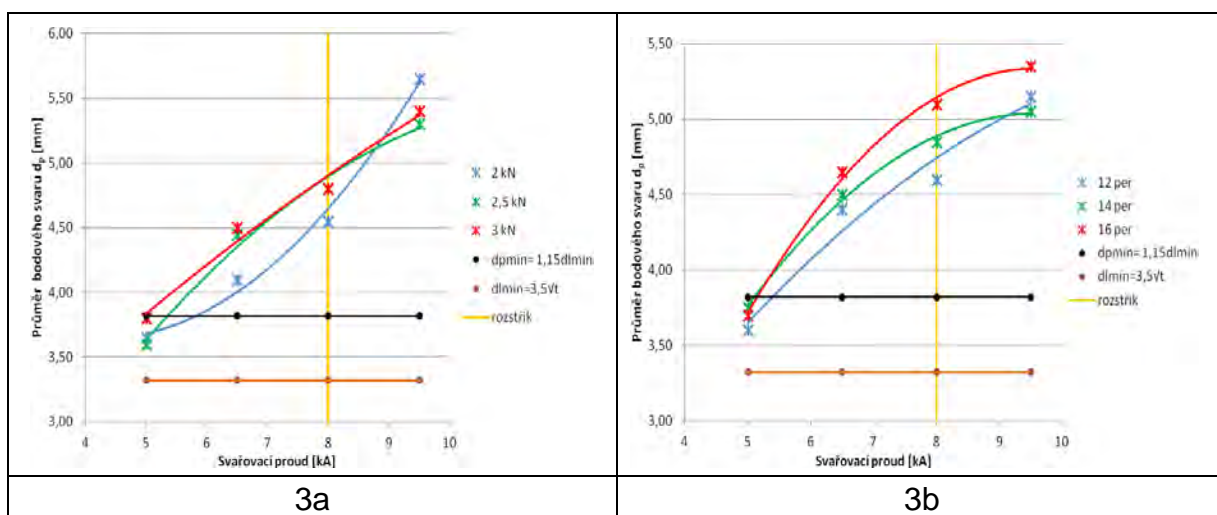
Tab. 4: Naměřené hodnoty při konstantní elektrodové síle (2,5 kN)

t_s [per]	12				14				16			
I_s [kA]	5	6,5	8	9,5	5	6,5	8	9,5	5	6,5	8	9,5
d_p [mm]	3,60	4,40	4,60	5,15	3,75	4,50	4,85	5,05	3,70	4,65	5,10	5,35
F_{max} [kN]	-	8,97	9,02	8,82	-	8,41	8,76	9,18	-	8,27	9,54	8,98

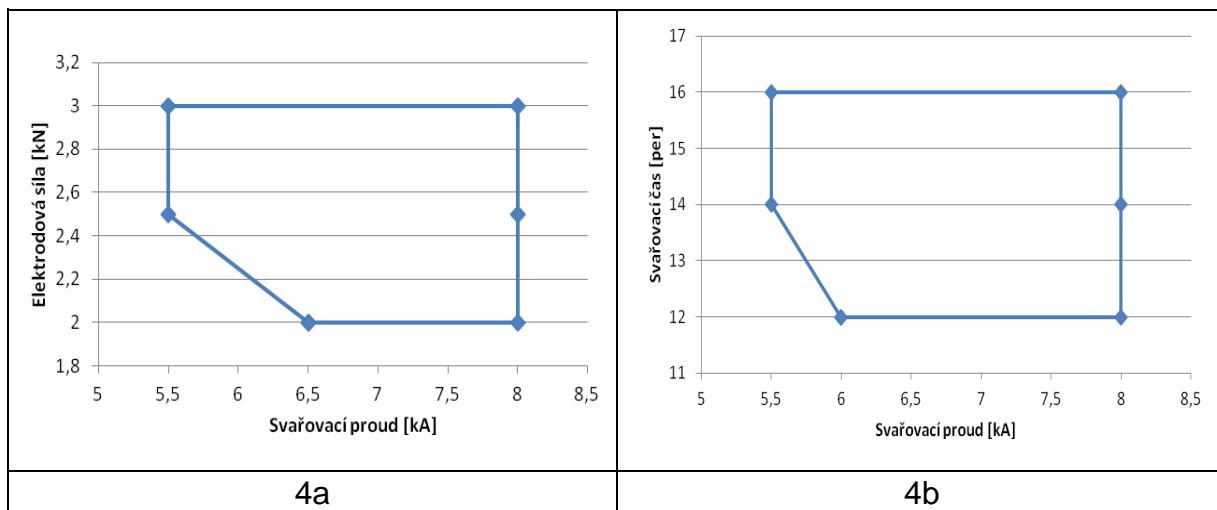
Pozn.: P_s – přítlačná elektrodová síla, I_s – svařovací proud, d_p – průměr svaru, t_s – doba svařování, F_{max} – maximální síla potřebná na přetržení svaru namáhaného na stříh

Růstové křivky jsou vidět na obrázku 3. Bodový svar vyhovující podmínce d_{pmin} ($d_{pmin} = 3,74$ mm) se pro elektrodovou sílu 2 kN vytvoří při hodnotě proudu 6,5 kA, zatímco při silách 2,5 a 3 kN se vyhovující svar vytvoří při hodnotě svařovacího proudu 5,5 kA. Rozstřík byl při konstantním čase pozorován pro všechny tři růstové křivky při stejné hodnotě svařovacího proudu 8 kA. Z růstových křivek byl sestaven diagram oblasti svařování (obr. 4). Modrá barva ohraničuje oblast optimálních svařovacích parametrů pro kombinaci 22MnB5 + HX420 konstantní čas svařování 14 period. Z diagramu je patrné, že při elektrodové síle 2 kN se vytvoří bodový svar požadované velikosti při vyšších hodnotách svařovacího proudu.

Růstové křivky pro konstantní elektrodovou sílu 2,5 kN jsou na obrázku 3b. Růstová křivka 12 period tvoří svary menších průměrů a se stoupajícím svařovacím časem se růstové křivky posouvají k vyšším hodnotám průměrů bodových svarů. Rozstřík byl u všech růstových křivek pozorován při 8 kA svařovacího proudu a vyšším. Při UT kontrole byly všechny svary vyhovující. Pouze u svarů s rozstříkem byla pozorována velká hloubka vtisku svařovacích elektrod. Diagram oblasti svařování je na obr. 4b. Modře ohraničená oblast reprezentuje optimální svařovací parametry pro zvolenou kombinaci při elektrodové síle 2,5 kN.



Obr. 3: Růstové křivky pro konstantní čas svařování 14 period (3a) a pro konstantní elektrodovou sílu 2,5 kN (3b)



Obr. 4: Diagram oblasti svařování pro konstantní čas svařování 14 period (4a) a pro konstantní elektrodovou sílu 2,5 kN (4b)

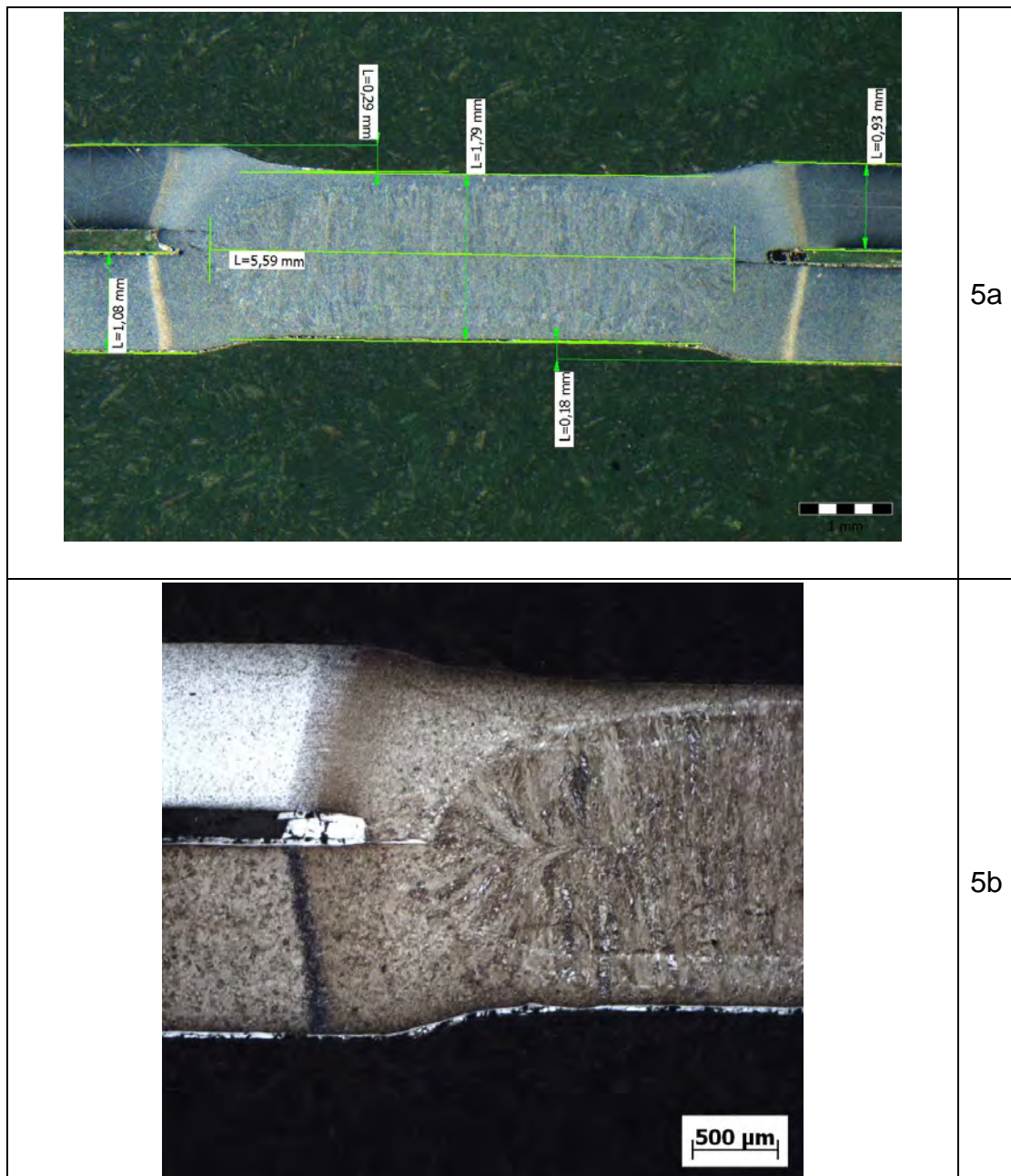
6. Určení optimálních svařovacích parametrů

Z diagramů oblasti svařování při konstantní elektrodové síle 2,5 kN a při konstantním času svařování 14 period byly zvoleny optimální svařovací parametry:

- Svařovací čas $t_s = 14$ period
- Svařovací proud $I_s = 7$ kA
- Elektrodová síla $P_s = 2,5$ kN

Po svaření zkušebního svaru optimalizovanými parametry byla provedena UT kontrola, metalografická kontrola (obr. 5a) a hodnocení geometrie svaru. Geometrie optimalizovaného bodového svaru byla bez viditelných vad, svar měl téměř pravidelný tvar. Při měření ultrazvukem nebyly zjištěny žádné vady.

Na obrázku 5b je viditelná jasně ohraničená tepelně ovlivněná oblast (TOO) a tvar svaru s kresbou licí dendritické struktury.



Obr. 5: Makrostruktura svaru 22MnB5 + HX 420LAD + Z svařeného optimalizovanými svařovacími parametry (5a), mikrostruktura s jasně viditelnou svarovou čočkou a TOO (5b)

7. Závěr

Zkoušky svažitelnosti a optimalizace svařovacích parametrů jsou v automobilovém průmyslu velice důležité nejen pro hospodárnost ale i pro čistotu procesu svařování. Svařování by mělo probíhat bez rozstříku. Rozstřík výrazně snižuje kvalitu bodových svarů, zhoršuje čistotu na pracovních stanicích (svařovacích robotech) a má další negativní důsledky. Např. odletující okuje znehodnocují svařovací zařízení, které je následně rychleji opotřebováváno a vyžaduje častější údržbu.

Výsledkem optimalizace svařovacích parametrů jsou diagramy oblasti svařování pro kombinaci plechů - při konstantní elektrodové síle (2,5 kN) a

konstantním čase svařování (14 period). Tyto diagramy reprezentují oblasti optimálních svařovacích parametrů pro konkrétní kombinace plechů.

Diagramy oblasti svařování byly vyhodnoceny dle ČSN EN ISO 14327 a byla provedena série zkoušek (nedestruktivní zkoušení ultrazvukem, destruktivní měření maximální síly ve stříhu bodových svarů dle ČSN EN ISO 14273 a následné měření průměrů vytržených bodových svarů a sestavení růstových křivek).

Optimalizované parametry byly po pozitivních výsledcích na reálných kusech doporučeny do výroby ve firmě ŠKODA Auto a.s..

Poděkování

Výzkum byl financován z dotačních prostředků MŠMT v rámci projektu SGS CVUT SGS13/187/OHK2/3T/12

LITERATURA

- [1] KOLAŘÍKOVÁ M. KOLAŘÍK L.: *The Influence of Resistance Spot Welding on Weld Joint Quality and Service Life of Elektrodes*, Sborník příspěvků mezinárodní konference Metal 2013, ISBN 978-80-87294-39-0
- [2] ČSN EN ISO 14327. *Odporové svařování - Způsoby určení diagramu oblasti svařování při odporovém bodovém, výstupkovém a švovém svařování*. Praha: © Český normalizační institut, 2005.
- [3] LUKAVSKÝ M.: *Odporové bodové svařování pro automobilový průmysl*, Diplomová práce, FS, ČVUT v Praze, 2013