

POSUDEK DISERTAČNÍ PRÁCE

<u>Název posuzované práce:</u>	ZAJIŠTĚNÍ KVALITY ODPOROVÝCH BODOVÝCH SVARŮ NA ZÁKLADĚ ANALÝZY ČASOVÝCH PRŮBĚHŮ VYBRANÝCH VELIČIN SVAŘOVACÍHO PROCESU
<u>Autor práce / doktorand:</u>	Ing. Jiří PACÁK
<u>Školitel:</u>	doc. Ing. Heinz Neumann, CSc.
<u>Recenzent:</u>	prof. Dr. Ing. Libor BENEŠ, IWE Fakulta výrobních technologií a managementu, katedra technologií a materiálového inženýrství Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem

Recenzovaná disertační práce, předkládaná ve studijním programu P2303 *Strojírenská technologie*, resp. ve studijním oboru 2303V002 *Strojírenská technologie*, na *Katedře strojírenské technologie*, Fakulty strojní, Technické univerzity v Liberci, vychází z teoretického úvodu, po kterém následuje experimentální část, zaměřená na vyhodnocení provedených bodových odporových svarů, ve vazbě na průběhy naměřených hodnot elektrických veličin při svařovacím procesu.

Z materiálového hlediska se jedná o aplikaci velice perspektivních materiálů, tzv. vysoko-pevných slitin, které zde představuje zvolená bórová ocel 22MnB5, jejíž význam v *konstrukci automobilové karoserie* je dnes značný a prakticky již nezastupitelný. Hodnocení problematiky svařitelnosti těchto vysoko-pevnostních ocelových plechů při výrobě karoserií a zajištění validace svařovacího procesu při svařování dílů od jednotlivých dodavatelů těchto TMZ-ocelových výlisků směřovalo nejprve na provedení materiálových analýz povrchové vrstvy Al-Si. Cílem bylo zjištění zásadních rozdílů ve struktuře a morfologii těchto povlaků pro jednotlivé vybrané díly, z produkce dvou výrobců, resp. jejich vzájemné porovnání. Na vzorcích bylo realizováno měření sub-vrstev, jimiž jsou tyto povlaky tvořené, odlišitelných metalograficky na leptaných příčných výbrusech.

Jako velice důležitý technologický parametr zde vystupuje celková životnost svařovacích elektrod při robotickém odporovém bodovém svařování, v podmínkách automobilového průmyslu, včetně jejich renovace frézováním, resp. dalšími navazujícími operacemi. V rámci předmětné disertační práce byla (jako jeden ze stěžejních cílů) rozpracována a následně validována *metodika hodnocení kvality frézování dosedacích ploch svařovacích elektrod na základě analýzy časových průběhů elektrických veličin*, která je založena na měření průběhu elektrického odporu instalovaného svařovacího systému pro bodové svařování, tak aby nebylo nutné vkládat další senzory pro kontrolu svařovacích elektrod.

Právě při realizaci experimentálních prací byl učiněn poměrně významný posun v kvalitě měření elektrických veličin při odporovém bodovém svařování. Zjištěné hodnoty jsou v intervalu 1 [ms] a získaný počet dat poskytuje detailní informaci o průběhu zvolené veličiny (elektrického odporu) v závislosti na čase. Na základě provedených (a metodicky velice dobře navržených) experimentů disertant dospěl k závěru, že *zjištěné rozdíly v tloušťce a morfologii aplikovaného povlaku Al-Si (na hodnocených vysoko-pevnostních svařovaných dílech) skutečně potvrdily zjevnou souvislost s nestabilitou svařovacího procesu*.

Za hlavní přínos pro technickou praxi (v práci representovanou technologií svařování automobilových karoserií) zde vnímám *prodloužení celkové životnosti svařovacích elektrod*, jehož lze dosáhnout (na základě provedených analýz a jejich následné diskuse) zvýšením počtu frézovacích cyklů, v daném případě ze třiceti na čtyřicet, resp. pak prodloužením zvoleného intervalu frézovacího cyklu, který byl při daném experimentu zvolen v počtu do 112 provedených bodových svarů.

Na základě výše uvedeného proto mohu na tomto místě konstatovat, že z hlediska inženýrsko-aplikačního, tzn. s ohledem na následné využití presentovaných výstupů v technické praxi, se jedná o velice zajímavou a bezesporu perspektivní problematiku, zahrnující moderní materiály a technologie, vhodné pro široké spektrum aplikací (zde zejména aplikace v *automotive*, ale i např. v průmyslu elektrotechnickém, viz zmínka str. 11). Proto zvolené téma disertace považuji za značně aktuální.

Odborným zaměřením předmětná problematika disertace rovněž i plně vyhovuje danému studijnímu oboru, resp. programu. Pro daný obor Strojírenská technologie lze tedy práci označit za relevantní a přínosnou.

Po stránce obsahové i formální, je předmětná disertační práce poměrně dobře propracovaná a koncepčně vyvážená. I pro nezasvěceného čtenáře je vcelku přehledná a konsistentní, a to jak z hlediska celkového uspořádání, systematického členění, tak i zvolené struktury a logických návazností.

Poněkud kritický ovšem musím být, pokud se týká publikační aktivity autora. Tu zde dokládají pouze dva příspěvky ve sbornících z odborných konferencí (rok 2009 a 2015), které se přímo vztahují k řešené problematice. Provedená, byť poněkud stručná rešerše současného stavu poznání v dané oblasti, zahrnuje celkem 53 citovaných prací z odborné literatury (domácí i zahraniční), vesměs obsahující normy, skripta i vlastní diplomovou práci autora (rok 2007).

Nicméně, z porovnání samotného zadání hodnocené práce, tak jak je uvedeno ve specifikaci „cílů disertační práce“ (str. 12-13), s obsahem jejích jednotlivých částí, resp. závěrečného shrnutí, zde mohu konstatovat, že autor beze zbytku naplnil stanovené požadavky i zadané cíle. Předložené závěry (str. 112-113), jakož i přínosy práce (str. 110-111), jsou sice stručně, ale přehledně a logicky propracované, podpořené vhodně provedeným experimentálním aparátem, včetně diskuse a formulace jednotlivých/dílčích závěrů.

Proto mohu závěrem svého posudku konstatovat, že oponovaná doktorská disertační práce je přínosná a předkládá nové poznatky, zejména z oblasti fyzikálně-metalurgické interpretace provedených experimentů, navíc s přímým dopadem do aplikační sféry.

K hodnocené práci mám následující otázky, resp. náměty do diskuse (k obhajobě):

- 1) Kromě povlaku na bázi Al-Si, jehož analýza je jedním z cílů práce, viz str. 13 (prosím disertanta o zdůvodnění, proč je tam tato vrstva aplikována?), existují dnes i jiné alternativy? jaké konkrétně?
- 2) Autor na str. 11 zmiňuje, cituji: *Při výrobě karoserie jsou používány různé svařovací technologie: a) laserové svařování a pájení; b) MAG a MIG obloukové svařování; c) bodové odporové svařování.* Zajímalo by mne, jaké je poměrné zastoupení uvedených technologií, resp. jejich pořadí důležitosti.
- 3) V práci se vyskytují jazykové nedostatky typu: *Nedílnou součástí se podílý na konečné vizuální podobě bodového svaru* (str. 20); *Obr. 14: Digram oblasti svařování;*
- 4) Autor na str. 21 konstatuje (a navazuje na str. 23), cituji: *V automobilovém průmyslu je životnost svařovacích elektrod vnímána jako maximální počet svarových bodů při dodržení požadované kvality bodového svaru.* Zajímalo by mne, jaká „kritéria kvality“ se zde definují/posuzují? Zejména pak ve vazbě na další tvrzení disertanta (ze str. 110), že: *Definovaná kritéria kvality bodových svarů byla při experimentálním měření splněna.*
- 5) Na str. 97 autor uvádí, že: *Rozdílné zbarvení povlaku může být způsobeno nedodržením výrobního postupu TMZ vysoko-pevnostních ocelí.* Mohl by zmínit, proč a jakými výrobními postupy k těmto změnám dochází?

Závěrečné shrnutí a zhodnocení:

Závěrem mohu shrnout, že hodnocená disertační práce pana Ing. Jiřího Pacáka má požadovanou odbornou úroveň, je vědecky přínosná a zároveň předkládá nové poznatky, vedoucí i k praktickým aplikacím. Jejím vypracováním disertant prokázal způsobilost k samostatné a tvořivé vědecké práci.

Předložená disertační práce splňuje veškeré požadavky ve smyslu § 47 Zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. **Recenzovanou práci proto doporučuji k obhajobě a po jejím úspěšném obhájení doporučuji udělit panu Ing. Jiřímu Pacákovi akademický titul Ph.D.**



prof. Dr. Ing. Libor Beneš, IWE



Oponentský posudek disertační práce

Autor práce:	Ing. Jiří Pacák
Název práce:	Zajištění kvality odporových bodových svarů na základě analýzy časových průběhů vybraných veličin svařovacího procesu
Studijní program:	P2303 – Strojírenská technologie
Studijní obor:	2303V002 – Strojírenská technologie
Školící pracoviště:	Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, Katedra strojírenské technologie
Školitel:	doc. Ing. Heinz Neumann, CSc.
Oponent:	doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE

Oponentský posudek byl zpracován na základě pověření prof. Dr. Ing. Petra Lenfelda – děkana Fakulty strojní, Technické univerzity v Liberci. Předložená disertační práce je psaná v českém jazyce a obsahuje 123 stran textu a 22 příloh (na 29 stranách), v seznamu použité literatury je uvedeno celkem 53 položek a 2 vlastní publikace k dané problematice.

Disertační práce je členěna do 15 kapitol. Úvodní kapitola popisuje aktuální trendy v automobilovém průmyslu z pohledu nadnárodních koncernů, s konkrétními případy z výrobního závodu Škoda Auto a.s.

V kapitole 2, na straně 12, je uvedeno „stanovení cílů disertační práce“. Předložená práce je podle této kapitoly zaměřená na navržení systému ověřování kvality bodových svarů na základě průběhu elektrických veličin při odporovém bodovém svařovacím procesu.

Vyjádření k postupu řešení problému a použitým metodám:

Od kapitoly 3 až do kapitoly 7 jsou (celkem na 50 stranách) teoreticky popsány: fyzikální děje při odporovém bodovém svařování, problematika životnosti svařovacích elektrod a odporové svařitelnosti základních materiálů (podle současně používaných EN ISO norem). Dále je popsán způsob hodnocení kvality bodových odporových svarů (včetně destruktivních a nedestruktivních zkoušek) a regulace a řízení odporového svařovacího procesu (včetně popisu svařovacích parametrů a systémů s vyhodnocováním a měřením elektrických veličin). Tato část je zpracována adekvátním způsobem - stručně, srozumitelně a přehledně.

Součástí kapitoly 5 jsou však i výsledky provedených zkoušek pro sestavení diagramu oblasti svařování podle normy ČSN EN ISO 14327 pro nízkouhlíkovou ocel (DC 06 o tloušťce 0,8 mm) a vysokopevnostního plechu (z oceli 22MnB5 o tloušťce 1,5 mm). Tuto část by bylo vhodnější zahrnout do experimentální části disertační práce.

V kapitole 8 se autor věnuje rozčlenění vysokopevnostních ocelí používaných v automobilovém průmyslu. Nicméně kapitola je popsána na 1 straně, velmi obecně, bez jakékoli konkretizace materiálů použitých ve vlastní disertační práci.

Od kapitoly 9 (str. 66) se autor již věnuje experimentální části disertační práce, která obsahuje celkem 43 stran.

V první fázi experimentu autor popisuje analýzu povlaku Al-Si vysokopevnostních ocelových plechů (materiál 22MnB5) před svařováním - porovnáním konkrétně zvolených výlisků od dvou různých dodavatelů vysokopevnostních plechů: Benteler Automotive Rumburk a VW Kassel. Nejprve byly stanoveny tloušťky povlaku a realizováno měření jednotlivých subvrstev (pomocí metalografických výbrusů), dále bylo změřeno chemické složení povrchových vrstev, doplněno plošnou chemickou analýzou se zobrazením rozdělení hlavních prvků (Fe, Al, Si).

Teprve poté byl proveden rozbor chemického složení základních materiálů zkoumaných dílů (ocel 22MnB5 + HCT 450X), včetně jejich strukturní analýzy.

Následuje kapitola o kontrole frézovacího procesu (úpravy elektrod kvůli opotřebení pracovních ploch svařovacích elektrod) a kontrole bodových svarů na základě časových průběhů svařovacích elektrických veličin.

Zatímco prvním dvěma fázím experimentální části autor věnoval celkem 32 stran, z pohledu zaměření, stěžejní části práce – tj. kontrole na základě průběhů naměřených veličin, autor věnoval 11 stran. Dále autor hodnotí přínos disertační práce, doporučuje postup pro další výzkum a shrnuje závěry práce.

Stanovisko k výsledkům disertační práce a původnímu přínosu autora disertační práce:

Největším přínosem práce je stanovení referenčních křivek a kontrolních křivek průběhu el. odporu a stanovení regulačního pásma. Naměřené hodnoty vybraných svařovacích veličin (el. proudu a napětí), z kterých byl odpor dopočítán jsou však uvedeny pouze v elektronické příloze.

Autor dále uvádí, že důraz měl být kladen především na stavbu kvalitního monitorovacího zařízení s možností záznamu průběhu svařovacího napětí a proudu v závislosti na čase. Monitorovacímu zařízení však v textu práce není věnováno příliš pozornosti.

Další experimenty (korespondující s dílčími cíli) byly zaměřeny na:

- stanovení rozmezí pro nastavení základních svařovacích parametrů a vytvoření diagramů oblastí svařování
- „Analýzu povlaku Al-Si vysokopevnostních ocelových plechů před svařováním...“ Ta byla provedena a autorem byly vyřčeny limitní hodnoty kritických oblastí subvrstev s vlivem na svařitelnost.
- „Stanovení metodiky hodnocení kvality bodových svarů (+ opracování pracovní části elektrod) na základě průběhu elektrických veličin v čase“. Byla rozpracována metodika hodnocení kvality frézování dosedacích ploch svařovacích elektrod. Jak autor správně uvádí, v rámci dalšího výzkumu, by bylo vhodné zpracovat metodiku pro hodnocení kvality bodových svarů pro nalezení vhodného intervalu pro frézovací cyklus.

Cíle disertační práce tímto byly naplněny. Závěrečná kapitola je nazvaná: „závěr – diskuze výsledků“. Jsou zde shrnuty dílčí závěry předchozích kapitol, nicméně výsledky nejsou přímo konfrontovány s jinými autory ani hypotézami. Se závěry lze souhlasit, je ale otázkou jak dalece je výsledky možné zobecnit (mimo výrobní závod Škoda Auto a.s.).

Aktuálnost tématu a zhodnocení významu disertace pro obor:

Disertační práce se zabývá hodnocením kvality odporových bodových svarových spojů a je řešena ve spolupráci s firmou Škoda Auto a.s. Navazuje tak na předchozí výzkumné aktivity řešené na TU v Liberci, i na jiných výzkumných pracovištích v ČR (mimo jiné i na Ústavu strojírenské technologie, ČVUT v Praze, kde je tato problematika také intenzivně zkoumána). Autor by v tomto směru mohl více vycházet z již publikovaných výsledků a předchozích závěrečných prací.

Zvolené téma je však vysoce aktuální. V dnešní době představuje automobilový průmysl hnací sílu strojírenské výroby a na světové koncerty je navázáno velké množství dodavatelů, což platí zejména v ČR. Jedním z trendů je v současné době efektivní využívání vysokopevných ocelových plechů se speciálními povrchovými úpravami, o jejichž zpracování disertační práce z velké části pojednává.

Zhodnocení formální úpravy disertační práce:

Formální stránka disertační práce je na standardní úrovni a použitý styl vychází z norem používaných při tvorbě závěrečných vysokoškolských prací. Uspořádání práce je logické. Rozsah teoreticky zaměřených kapitol je vyvážený a práce má dobrou grafickou úroveň. Nicméně zde mám několik konkrétních připomínek:

- Autor nazývá výpočtový vztah (1) jako Joule-Lenzův zákon (str. 14) a zároveň Joulova rovnice (str. 18) – označení by mělo být v rámci celé práce sjednoceno (obdobně na obrázku 24 na straně 38 autor označuje tepelně ovlivněnou oblast různými způsoby: HAZ, WEZ, pásmo prostupu tepla – i toto by mělo být sjednoceno)
- WPS není označení pro Welding Procedure Test, jak uvádí autor na straně 27, ale pro Welding Procedure Specifications.
- Diagram na obrázku 18 (str. 32) není zobrazen celý
- Autorem uváděná norma pro kvalifikaci a certifikaci pracovníků NDT - ČSN EN 473 je již neplatná a od roku 2013 se používá norma ČSN EN ISO 9712.
- Na straně 88 se autor odkazuje na tabulku 19, která však v práci není uvedena – ta je uvedena až na straně 104, ale týká se jiné problematiky
- Na straně 99 se autor odkazuje na Ohmův zákon, který ale v práci není nikde uveden (i když je vztah všeobecně známý, bylo by vhodné ho uvést)
- Popis obrázku 91 na straně 99 je velmi malý a špatně čitelný
- Na straně 102 je v textu uveden odkaz na obrázek 90, ale má být uveden odkaz na obrázek 96
- Disertační práce neobsahuje seznam zkratk (některé zkratky v práci nejsou vysvětleny - např. WCR na str. 29, WEZ na str. 38 apod.)
- Na straně 20 (a opakovaně dále v textu) autor uvádí, že rozdělení režimů svařování na měkký a tvrdý se používá ve staré literatuře. S rozdělením na různé pracovní režimy však pracují i současně používané normy, např. ČSN EN ISO 14 373 – Postup pro bodové svařování nepovlakovaných a povlakovaných nízkouhlíkových ocelí.
- Výpočtový vztah (7) pro výpočet uhlíkového ekvivalentu CE není uveden v kompletním znění (str. 26)
- Použité experimentální materiály (oceli DC 06 ZE 50/50 BPO a 22MnB5 + AS150) nejsou v práci blíže specifikovány – bylo by vhodné uvést jejich chemické složení a základní mechanické vlastnosti
- Na straně 45 autor uvádí, že „...vady bodových svarů dle normy ČSN EN ISO 6520-1.“ Tato část normy popisuje vady v tavných svarech, vady vytvořené bodovým odporovým svařováním jsou popsány v části ČSN EN ISO 6520-2.

Návrh otázek k obhajobě:

- Na jakém konkrétním zařízení (svařovací zdroj) byly realizovány praktické experimenty včetně systému pro monitorování svařovacích parametrů? Jak dalece je možné tyto výsledky zobecnit pro použití na jiných zařízeních?
- Na straně 97 autor uvádí, že: „Problémy se svařitelností jsou vykazovány u tloušťky (difúzní vrstvy?) nad 15 μm .“ Na základě čeho lze doložit toto tvrzení?
- Proč byly v rámci experimentu (kontrola frézovacího procesu na základě analýzy časových průběhů elektrických veličin) vybrány konkrétní svařovací body (viz obr. 92, str. 100) a základní svařovací parametry pro experiment – viz str. 101.
- Proč bylo z třiceti cyklů frézování pro prezentaci výsledků vybráno „pouze“ devět naměřených průběhů elektrických veličin (viz str. 102).
- Na straně 104 autor uvádí, že byly provedené destruktivní zkoušky podle normy VW 01105-1. Neuvádí však, jaké konkrétní typy zkoušek byly použity. (viz obr. 96 na straně 105).
- Autor uvádí, že popsaná opatření (viz str. 111) mají pozitivní vliv na celkovou spotřebu elektrod na karosérii a že, v případě realizace v technické praxi bude dosaženo snížení finančních nákladů při bodovém svařování. Zároveň na obr. 38 a 39 uvádí, že v roce 2015 při výrobě Octavie bylo na 1 karosérii spotřebováno cca 2,11 elektrod za 18,60,- Kč. Jaká tedy bude (přibližná) ekonomická úspora?
- Jaký vliv má na životnost elektrod chlazení pomocí kapalného CO_2 ?

Vyjádření k publikacím autora disertační práce

Seznam použitých literárních zdrojů obsahuje z velké části současné normy používané v daném oboru, což dokazuje autorův přehled a praktické zkušenosti v řešené problematice. Českých publikací ze současné doby je obecně minimum, autor se však mohl více zaměřit na zahraniční literární zdroje a provést detailnější literární rešerši současného stavu řešené problematiky. Autor se ve velké míře zabývá konkrétní situací ve firmě Škoda Auto a.s. a výsledky uzpůsobuje a porovnává s tímto stavem – měly by být více obecněji zaměřené. Navíc, ačkoliv autor zmiňuje řadu příkladů z výrobních závodů koncernu VW, nejsou citovány žádné elektronické ani firemní zdroje.


Vlastní uvedená publikační činnost autora se skládá ze dvou příspěvků na odborných konferencích z roku 2009 a 2015, což je poměrně malý počet. Dílčí výsledky práce bývá zvykem publikovat (ideálně v časopisech s impakt faktorem, případně v publikacích zařazených do citačních databází Web of science nebo Scopus) ve větší míře.

Závěrečné hodnocení:

Celkově konstatuji, že předložená disertační práce Ing. Jiřího Pacáka, i přes výše uvedené připomínky, splnila stanovené cíle a její výsledky mohou mít významný přínos pro rozvoj vědního oboru v uvedené problematice a přináší nové poznatky v oboru. Předložená disertační práce dále prokázala autorovi teoretické znalosti a schopnost samostatné tvůrčí vědecké práce, a proto ji doporučuji k obhajobě.

Práce splňuje požadavky standardně kladené na disertační práce. Po úspěšném absolvování obhajoby doporučuji autorovi udělit titul „Ph.D.“.

V Praze dne 24.11. 2016


doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
Vedoucí Ústavu strojírenské technologie
ČVUT v Praze, Fakulta strojní

Oponentní posudek disertační práce

Doktorand: **Ing. Jiří PACÁK**
Školitel: **doc. Ing. Heinz NEUMANN, CSc.**

Název práce:

Zajištění kvality odporových bodových svarů na základě analýzy časových průběhů vybraných veličin svařovacího procesu

Posudek byl vypracován na základě písemné žádosti děkana Fakulty strojní Technické univerzity v Liberci pana prof. Dr. Ing. Petra Lenfelda ze dne 24. 10. 2016, č. j. TUL-237695/2112.

K posouzení byla předložena písemná disertační práce v rozsahu 153 strany textu, doplněného přiměřeným množstvím tabulek a obrázků. Seznam použité literatury obsahuje 53 odkazy, přičemž část z nich je cizojazyčná (anglicky, německy, slovensky). Téměř polovina z tohoto počtu jsou normy. Autor při zpracování textu použil i jednu publikaci vlastní, a to diplomovou práci z roku 2007. Teze disertační práce k posouzení předloženy nebyly.

Ing. Pacák disertační práci rozdělil velmi podrobně, a to na patnáct číslovaných kapitol. Text práce doplnil prohlášením, poděkováním, anotací (česky a anglicky), seznamem hlavních použitých symbolů a životopisem. Po úvodu (1. kapitola, rozsah cca 2 s.) autor ve druhé kapitole (rozsah cca 2 s.) stanovil cíle disertační práce (str. 12 – 13). Ve třetí kapitole (rozsah 7 s.) seznámil čtenáře s teoretickými základy technologie, kterou v rámci své disertace podobně zkoumal. Ve čtvrté kapitole (rozsah cca 5 s.) se věnoval problematice životnosti svařovacích elektrod. V páté kapitole (rozsah cca 10 s.) autor popsal svařitelnost kovových materiálů při odporovém svařování. Přitom se, s ohledem na téma řešené v práci, zaměřil na oceli. Kromě poznatků z literatury do této kapitoly (netradičně) zařadil i výsledky vlastních (?) experimentů. V šesté kapitole (rozsah cca 12,5 s.) nastínil možnosti hodnocení kvality bodových svarů. Sedmou kapitolu (rozsah cca 16,5 s.) věnoval problematice regulace a řízení procesu odporového bodového svařování. Další, osmá kapitola v rozsahu méně než jedna strana textu, podává velmi stručně přehled o ocelích používaných v automobilovém průmyslu. V nejrozsáhlejší deváté kapitole (rozsah 44 s.) autor popisuje přípravu, provedení a vyhodnocení experimentů. Desátá kapitola (rozsah cca 1,5 s.) sumarizuje přínos disertační práce. V jedenácté kapitole (rozsah cca 0,5 s.) autor dává doporučení pro další práce, které by bylo možné v oblasti zkoumání odporového bodového svařování provést. V závěru – diskusi (12. kapitola, rozsah cca 1 s.) autor stručně shrnuje nejdůležitější získané poznatky. Seznam použité literatury (13. kapitola) má rozsah 6 s. Ve 14. kapitole Ing. Pacák uvádí pouze dvě (!) vlastní práce, vztahující se k řešenému tématu. V obou případech jde o česky psané příspěvky na zahraniční konferenci (Slovensko). Poslední kapitolou (rozsah 32 s.) jsou přílohy.

K disertační práci mám následující formální a věcné připomínky:

- většina textu je zarovnána „do bloku“, někde (např. str. 49 a 82) však „vlevo“,
- stránky (obrázky, tabulky) „na šířku“ bývá zvykem do práce vkládat tak, aby byly čteny zprava, jako je tomu např. na str. 105 a 109, nikoliv opačně, jako je tomu např. na str. 124, 141 a 142,
- není zřejmé, proč jsou v české disertační práci části psané jinými jazyky (slovensky, anglicky, německy), např. obr. 7, obr. 29, obr. 43, obr. 45 či tab. 18; pokud by autor

publikoval v angličtině, věděl by, že jiným jazykem (třeba česky) psané části textu jsou nepřipustné,

- číslování kapitol je 1.0, 2.0, 3.0 atd. je neobvyklé,
- číslování tabulek je podivné, po tab. 1 (str. 34) totiž následuje ještě jednou tab. 1 (str. 40), pak tab. 2 (str. 65), pak opět tab. 1 (str. 72), pak tab. 2 až tab. 18; tab. 19 však neuvádí avizované chemické složení, ale výsledky destrukčních zkoušek,
- tabulky a obrázky nemají jednotný vzhled v celé práci; některé tabulky a obrázky jsou nekvalitně vytištěné, obtížně čitelné či dokonce nečitelné (např. str. 145, str. 152); tab. 1 na str. 40: co znamenají horní indexy?, proč autor všechny tabulky nepřepsal ve wordu, ale oskenoval z jiných (neuvedených?) zdrojů, proč autor všechny obrázky nepřekreslil, ale oskenoval z jiných (neuvedených?) zdrojů,
- některé části práce (např. na str. 11, str. 42, str. 106 a str. 107) jsou psány v 1. osobě jednotného čísla; to není v textech tohoto charakteru obvyklé,
- jednotky nejsou psány jednotně, autor používá různé formy zápisu ($A \cdot \text{mm}^{-1}$, A/mm),
- násobení v matematických vztazích se označuje tečkou, nikoliv hvězdičkou (vztahy 1, 5, 6, 8, 9 atd.),
- autor nerozlišuje přídavná jména dějová a účelová, např. „řídící“ – „řidící“, „měřící“ – „měřici“,
- kromě toho si doslova libuje v používání balastních slov typu „nám“, „tato“, „tento“, „této“, „těchto“, „tuto“ a „tyto“,
- některé citace použité literatury nejsou v souladu s normami ČSN ISO 690 a ČSN ISO 690-2, např. [1] PLÍVA, L., [9] Svítal, A., nebo [12] WEBER Gert; některé citace jsou nepřesné, např. na str. 60: Matuscheck, ale na str. 119: Matuschek, U., Poell, K., na str. 51: Janota a Neumann [2, 26], ale na str. 59: Janota [2] a Neumann [26], na str. 119: jaký je rozdíl mezi literaturou [49] a [50]?,
- v textu jsem našel neopravené překlepy, terminologické nepřesnosti, neobratné formulace, ba i pravopisné chyby, např. na str. 11: „karbon“, na str. 17: „sítového kmitočtu“, na str. 19 u obr. 8 není vysvětlena pozice 81, na str. 20: „se podílý na“, na str. 25: „destrukční a nedestrukční zkoušky“, ale na str. 45: „nedestrukční zkoušky“, na str. 26: „VW 01105-1“, ale na str. 24: „VW 011 05 – 1“, str. 34 a 129 jsou prakticky totožné, na str. 38: e_1 ... hloubka vtisku elektrody „dole“, na str. 39: nečeský slovosled poslední věty, na str. 43: „zkušební trhací stroj“, „trhací síla“, na str. 44: „vytrhnutí“, v textu chybí odkaz na obr. 27, na str. 51: „material“, „systému“, na str. 59: „20 století“, na str. 60: dva „autor popisuje“, na str. 65: „vyjímka“, „Twip oceli“, na str. 67: „rozhraní“, „difúzní“ (str. 67) nebo „difúzní“ (str. 73), na str. 71: „pásma jsou zobrazeny“, na str. 75, tab. 8: údaje jsou v μm ?, údaj 1 a 2 je 1. a 2. měření?, na str. 82: „AL/Si“, na str. 97: „díle“, „roztavené taveniny“, na str. 99: „pří“, na str. 101: „3472 svarových bodů“, na str. 102, odkaz na obr. 90 není avizované grafické znázornění výsledků destrukčních zkoušek, ale metalografický výbrus vz. 1/2, zv. 10000x (chybí mezera), v celém textu za výrazy „např.“, „cca“ nebo „tzv.“ píše dvojtečku.

Všechny výše uvedené nedostatky ve svém souhrnu poněkud snižují výsledný dojem čtenáře z disertační práce. Kvalitní vědecká práce by určitě měla být na vyšší nejen odborně, ale i jazykově. Autor mohl všechny nebo alespoň většinu z nich odstranit, pokud by věnoval větší péči závěrečné redakci textu před jeho odevzdáním. U některých by stačilo využít možnost „kontrola pravopisu a gramatiky“, kterou Microsoft Word nabízí. Takto má čtenář dojem, že práce byla, snad v časové tísní, dokončena ve značném spěchu a odevzdána jako polotovár, který nebyl pečlivě revidován. Vzhledem k vysokému počtu nedostatků v textu práce autorovi doporučuji připravit opravenku textu (errata), a vložit ji do disertační práce.

Žádám, aby se doktorand v rámci obhajoby vyjádřil k těmto připomínkám a dotazům:

- na str. 26, vztah (7): uhlíkový ekvivalent započítává pouze prvky C a Mn; na str. 83: autor uvádí, že chemický rozbor byl rozšířen o další prvky (tab. 16 na str. 87), které mají výraznější vliv na svařitelnost; jaký vztah pro výpočet uhlíkového ekvivalentu použil?, proč v tab. 17 uvádí součet prvků Nb+Ti, když Nb vůbec nezjišťoval?, proč u vzorků 1/1 a 1/2 neuvedl součet prvků $C+(Mn+Si)/6$, které naopak všechny zjišťoval?, jakou hranici C a uhlíkového ekvivalentu uvažoval pro bezproblémové odporové bodové svařování?,
- na str. 34, tab. 1 (podobně tab. na str. 126, výsledek v prvním řádku je $2,0 \pm 1,2$): vypočítat aritmetický průměr z jedné nenulové hodnoty a pěti hodnot nulových nedává smysl; chybí vysvětlení nulových hodnot (svar nebylo možné zhotovit?); proč v disertační práci nebylo provedeno alespoň nejzákladnější statistické vyhodnocení naměřených hodnot, použít v disertaci jen aritmetický průměr je opravdu málo,
- na str. 66: autor uvádí, že „Při svařování dílů docházelo k rozstříku a na povrchu svařenců se nacházely ve zvýšeném počtu okuje“, blíže specifikujte zjištěný počet okují,
- na str. 72 a dalších: odkud jsou převzaty oskenované (?) tab. 1 až tab. 6 a tab. 14,
- na str. 82: autor se domnívá, že příčinou větší tloušťky vrstvy intermetalické vrstvy je nedodržení výrobního postupu při tepelně mechanickém zpracování vylisku; to souvisí se změnou zbarvení (str. 97); proč toto podezření blíže nezkoumal, když experimenty prokázal, že větší tloušťka vrstvy má významný vliv na proces odporového bodového svařování?
- na str. 110: autor doporučuje zvýšit životnost svařovacích elektrod zvýšením počtu frézovacích cyklů ze třiceti na čtyřicet; už prakticky ověřil, že je to v praxi možné nebo je to zatím jen teoretická úvaha?,
- k celé disertační práci: žádám pana Ing. Pacáka, aby podrobně specifikoval vlastní podíl na výsledcích publikovaných v disertaci.

Celkové zhodnocení disertační práce:

Předložená disertační práce se zabývá zajištěním kvality odporových bodových svarů na základě analýzy časových průběhů vybraných veličin svařovacího procesu. Doktorand v teoretické části shromáždil a prostudoval dostatek literárních podkladů, vztahující se k řešenému tématu. Poté naplánoval, připravil a provedl potřebné experimenty. Na základě jejich vyhodnocení formuloval přínos práce. Řešené téma považuji za aktuální, a to nejen v automobilovém průmyslu, o kterém se autor zmiňuje. Optimisticky předpokládám, že výsledky, získané během řešení disertace, bude možné aplikovat v teorii i v praxi bodového svařování.

Doktorská disertační práce má, podle mého názoru, požadovanou úroveň. Její slabinou je však poměrně velké množství formálních i věcných nedostatků, a to je škoda. V případě publikování dalších vědeckých prací autorovi důrazně doporučuji větší trpělivost při finalizaci těchto prací. Přes výše uvedené připomínky mohu konstatovat, že doktorand prokázal dostatečnou znalost studovaného oboru a stanovené cíle práce splnil. Proto předloženou disertační práci doporučuji k obhajobě před komisí. V případě její úspěšné obhajoby doporučuji Ing. Jiřímu Pacákovi udělit akademický titul „doktor“ (ve zkratce Ph. D.), uváděný za jménem.

Praze dne 17. 11. 2016


prof. Ing. Milan BROŽEK, CSc.