

Oponentní posudek disertační práce

Doktorand: **Ing. David HRSTKA**

Školitel: **doc. Ing. Heinz NEUMANN, CSc.**

Název práce:

Monitorování svařovacích parametrů u metody svařování MAG jako prostředek zajištění kvality svaru

Posudek byl vypracován na základě písemné žádosti děkana Fakulty strojní TU v Liberci doc. Ing. Miroslava Malého, CSc. ze dne 24. 11. 2010, č. j. 232/10/ST.

Doktorand předložil písemnou disertační práci v rozsahu 147 číslovaných stran. Text je vhodně doplněn tabulkami a obrázky. Struktura práce odpovídá požadavkům kladeným na tento typ prací.

Práce je logicky rozdělena na dvě základní části – teoretickou a experimentální. V I. kapitole s názvem úvod (str. 10 – 11) objasnil důležitost dále řešeného tématu. Ve II. kapitole s názvem rešeršní „teoretickou“ část (str. 13 – 70) shromáždil (v podkapitolách 1 – 11) stávající teoretické poznatky k řešenému tématu a výsledky experimentů svých předchůdců. V podkapitole 11 (která však má stejné číselné označení jako předcházející podkapitola s názvem „shrnutí teoretické části“) formuloval cíle disertační práce, a to ve třech bodech. Ve III. (nečíslované) kapitole s (nenapsaným) názvem „experimentální“ část (str. 71 – 119) publikuje (v podkapitolách 12 – 16) přípravu, provedení, vyhodnocení a výsledky provedených experimentů a závěr. Poslední (17.) podkapitolou je seznam použité literatury (str. 120 – 124). Autor v něm uvedl celkem 47 titulů, přičemž v přiměřeném rozsahu použil podklady cizojazyčné. Práce je doplněna poděkováním (str. 2), anotací a klíčovými slovy česky (str. 3), anotací a klíčovými slovy anglicky (str. 4), obsahem (str. 5 – 7), seznamem zkratek a symbolů (str. 8 – 9), seznamem osmi vlastních prací vztahujících se k tématu disertační práce (str. 12), čtyřmi přílohami (str. 125 – 146) a prohlášením (česky a anglicky, str. 147).

Připomínky k předložené disertační práci:

K práci mám následující připomínky:

- v textu práce jsou neopravené překlepy, chybějící mezery nebo přebývající písmena, např. na str. 8 (N.m), na str. 13 (tloušťek), na str. 13 (100%), na str. 21, vztah (5) (symbol „x“ znamená násobení ?), na str. 24 (240A), na str. 25 (400A), na str. 27 (sníženým), na str. 29 (200A), na str. 33 (ochrannou), na str. 39 (25%), na str. 45 (25000Hz), na str. 52 (tloušťkách, 100%, 60%), na str. 54 (t.j.), na str. 59 a na str. 100 (v čase), na str. 61 (ALFAROA), na str. 64 (určování), na str. 71 (data jsou v příloze č. 4, nikoliv č. 3), na str. 80 (obr. č. 13.2), na str. 97 (hodnoty), na str. 99 (v bodě), na str. 109 (zvolil jsem), na str.

119 (zajistit), na str. 122 (Journa), práce je disertační (na deskách) nebo dizertační (v textu) a další,

- v textu se vyskytují terminologické nepřesnosti, např. na str. 16 (silnější ? plechy), na str. 21, vztah (4) (aerodynamická síla), ale odkaz na str. 26 (aerodynamický tlak), na str. 26 (nižší délka oblouku = kratší oblouk ?, větší délka oblouku = delší oblouk ?),
- autor nerozlišuje přídavná jména dějová a účelová, např. „řídící“ ≠ „řidící“ (na str. 5, 45, 68 aj.),
- nepřesné formulace, např. „... aby napětí ... padlo ...do toleranční oblasti ... (str. 18), příp. nesrozumitelný text, např. „Snímky byly zaznamenány pomocí flash disku“ (str. 51),
- slovosled na některých místech není hezky česky, např. na str. 51 (... aby celý svar bylo možné sledovat při svařování ...), na str. 80 (... Nevyskytují se ve svarovém spoji žádné vady ...),
- text uvedený na str. 125 – 138 (uživatelská příručka) patří do disertační práce jen v případě, že Ing. Hrstka je jeho autorem,
- citace literatury neodpovídá požadavkům normy ČSN ISO 690 (Bibliografické citace dokumentů), např. „a kol.“ (str. 19, 49, 50, 51), „a spol.“ (str. 21, 58), seznam literatury je obvyklé řadit buď podle abecedního pořadí příjmení prvního autora nebo podle posloupnosti jejího použití v textu.

Všechny tyto nedostatky ve svém souhrnu snižují výsledný dojem čtenáře této disertační práce. Přitom většina z nich mohla být odstraněna, pokud by doktorand věnoval více práce závěrečné redakci textu.

Žádám, aby se doktorand v rámci obhajoby vyjádřil k těmto námětům k diskusi:

- u některých obrázků (např. 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 aj.) autor uvedl, odkud je převzal, u mnohých (např. 2.5, 2.6, 3.1, 3.2 aj.) však nikoliv; znamená to, že je jejich autorem ?
- z textu práce vyplývá, že závislosti mezi „regulačními mezemi regulačního diagramu“, „stabilitou/nestabilitou svařovacího procesu“, „geometrií svaru“, „metalografií (resp. kvalitou/nekvalitou) vzorku“ a „hodnocením vzorku (vyhovuje/nevyhovuje)“ není 100 %, prosím o komentář,
- byly výsledky disertace (monitorování svařovacích parametrů) již použity někde v praxi ?

Celkové zhodnocení disertační práce:

Disertační práce Ing. Davida Hrstky se týká problematiky monitorování svařovacích parametrů u metody svařování MAG. Cílem řešení bylo prokázat možnost použití monitorování jako prostředku zajištění kvality svaru. Předložená disertace navazuje na diplomové a disertační práce řešené v minulosti na katedře strojírenské technologie FS TU v Liberci a dále je rozvíjí.

Téma práce, které si Ing. Hrstka zvolil, je v současnosti aktuální a přínosné, a to nejen pro teorii svařování, ale i pro strojírenskou praxi. Doktorand při jeho zpracování prokázal, že se v daném oboru dobře orientuje. Jak vyplývá z textu jeho disertační práce, je autorem, resp. spoluautorem 8 prací, referátů na konferencích a článků v časopisech. Pro nejbližší budoucnost bych mu doporučil publikování výsledků provedených experimentů v některém z prestižních vědeckých časopisů.

Autor v teoretické části práce shromáždil v literatuře dostupné poznatky vztahující se k teorii řešeného tématu. Naučil se rutinně používat monitorovací systém WeldMonitor, který využil v experimentální části práce. Tu naplánoval s využitím poznatků moderní a stále častěji používané metody DoE (Design of Experiments). Provedl přiměřený počet laboratorních zkoušek, které vyhodnotil (zcela samostatně?). Výsledky správně interpretoval a formuloval závěry.

Doktorská disertační práce je z pohledu vědeckého zpracována v požadované kvalitě. Ke grafickému zpracování nemám zásadní připomínky. Slabinou práce je poněkud nižší jazyková úroveň textu. V práci jsem našel mnohé formální nedostatky (viz výše). Pravdou ovšem je, že podobné či stejné nedostatky vykazuje většina v současnosti obhajovaných disertačních prací.

Přes výše uvedené připomínky mohu konstatovat, že doktorand stanovené cíle práce splnil. Proto předloženou disertační práci doporučuji k obhajobě před komisí. V případě její úspěšné obhajoby doporučuji Ing. Davidu Hrstkovi udělit akademický titul „doktor“ (ve zkratce Ph.D.), uváděný za jménem.



prof. Ing. Milan BROŽEK, CSc.

V Praze dne 22. 12. 2010

Oponentský posudek disertační práce.

Autor: Ing. David Hrstka

Školitel: Doc. Ing. Heinz Neumann, CSc

Téma práce: Monitorování svařovacích parametrů u metody svařování MAG jako prostředek zajištění kvality svaru.

Oponovanou práci tvoří 119 stran textu s obrázky a tabulkami. Práce je rozdělena do šestnácti kapitol a je doplněna 47 literárními prameny, z kterých autor při studiu čerpal. V práci je také uveden seznam osmi publikací, které se týkají řešeného problému a u kterých je Ing. Hrstka uveden jako autor, nebo spoluautor. Práce je doplněna čtyřmi přílohami, vztahujícími se k experimentální části práce.

Práce je založena na logickém předpokladu, že každá odchylka od ustálených svařovacích parametrů s velkou pravděpodobností způsobí změny ve svaru. Na tato místa je pak nutno se zaměřit při kontrole jakosti svarového spoje.

Práce je členěna do dvou základních částí – teoretické a experimentální. Teoretická část se podrobně zabývá metodou svařování MAG, vlivem svařovacích parametrů na kvalitu svaru a stabilitou svařovacího procesu. Věnuje se také principům statistických metod zabezpečování jakosti a plánování programu experimentu. Teoretická část je zpracována přehledně, k dobré orientaci přispívá také shrnutí pod názvem „Poznatky“ uvedené na konci kapitol.

Experimentální část využívá dat získaných monitorovacím systémem WeldMonitor. Je zde zpracován metodický postup pro určování kvality svarů z naměřených svařovacích parametrů. Postupy jsou pak ověřeny při experimentálních zkouškách. Jsou zde dokumentovány průběhy veličin v různých svařovacích režimech ovlivňujících kvalitu svaru. Experimenty byly zaměřeny především na dva faktory ovlivňující stabilitu procesu svařování – výlet drátu a svařovací rychlost.

Autorovo zhodnocení přínosu práce pro praxi, dílčí i celkové závěry stejně jako doporučení pro další směřování výzkumu jsou formulovány srozumitelně a jsou správné.

V práci se vyskytují některé drobné nedostatky formálního rázu, např.:

- na obrázku 6.2 (str. 36) je chybně označena tepelně ovlivněná oblast jako „závar“,
- v příloze č. 2 „Metalografické výbrusy vzorků svařovaných v extrémních případech“ na str. 140, obr.13: Metalografický výbrus vzorku X3 je uvedena stejná fotografie jako na následující straně na obr. 15. Tam je prezentována jako metalografický výbrus vzorku XX3. V tabulkách s naměřenými hodnotami svařovacích parametrů je u obou vzorků uvedeno XX3, stejně jako v názvu obr. 16.
- dvě kapitoly mají stejné číslo – 11 (v práci i v obsahu),
- v textu se občas vyskytují poněkud neobratné formulace (např. na straně 70 nahoře).

Tyto chyby jsou v práci ojedinělé, jsou nepodstatné a zřejmě unikly autorově pozornosti z důvodu velkého rozsahu experimentů. Úroveň jinak velmi zdařilé disertace nesnižují.

V diskuzi k oponované práci bych rád disertanta požádal o vysvětlení rovnice rovnováhy sil působících při odtržení kapky (str. 20, rovnice (1)).

Závěr:

Doktorská disertační práce pana Ing. Davida Hrstky zpracovaná na téma „Monitorování svařovacích parametrů u metody svařování MAG jako prostředek zajištění kvality svaru“ splnila v celém rozsahu cíle, které jsou na tento druh prací podle současného

zákona o vysokých školách kladeny, tj., práce splňuje ustanovení § 47, odst. 4 zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách. Práce prokázala, že disertant má hluboké teoretické znalosti, že ovládá, správně volí a používá metody, jejichž užití je pro obor, v němž je disertace podána charakteristické a že dokáže cílevědomě, systematicky a samostatně vědecky pracovat. Práce má veliký význam pro technickou praxi i pro rozvoj vědního oboru a je v praxi bezprostředně využitelná. **Doporučuji proto oponovanou disertační práci k obhajobě a zároveň doporučuji, aby byl po úspěšném obhájení této práce udělen panu Ing. Davidu Hrstkovi akademický titul „doktor“.**

V Brně 1. ledna 2011



Doc. Ing. Ladislav Daněk, CSc
Ústav strojírenské technologie
FSI VUT v Brně

Oponentský posudok doktorandskej dizertačnej práce

„Monitorování svařovacích parametrů u metody svařování MAG jako prostředek zajištění kvality svaru“

Doktorand: Ing. David Hrstka
Školitel': doc. Ing. Heinz Neumann, CSc.
Oponent: Ing. Ľuboš Mráz, PhD.

Predložená dizertačná práca je spracovaná v 17 kapitolách a štyroch prílohách na 119 resp., 144 stranách a čerpá zo 47 literárnych odkazov. Dizertačná práca je zameraná na aktuálne problémy a podmienky zabezpečenia kvality zvarových spojov zhotovovaných v súčasnosti najčastejšie používanou technológiou, zvaraním v ochrannom plynu.

Členenie dizertačnej práce je logické a odpovedá tematickému zameraniu. Má štyri základné časti, a to teoretickú časť, experimentálnu časť, diskusiu a záver.

Teoretická časť je rozpracovaná v desiatich kapitolách. V tejto časti práce sa dizertant venoval v krátkosti histórii oblúkových metód zvarovania a opisu a analýze procesu zvarovania v ochrannom plynom metódou MAG (metal active gas), procesom známym pod číselným označením 135 podľa klasifikácie zvaracích procesov. V časti venovanej procesu zvarovania je spracovaný detailný prehľad o parametroch procesu, jeho stabilite, podmienkach nestability, súčasných trendoch v aplikáciách oblúkového zvarovania, monitoringu procesu a jeho prepojení na zabezpečenie kvality zvarových spojov. Teoretická časť práce je ukončená kapitolami „Proces svařování v systému jakosti“, „Monitorování a záznam veličin svařovacích proces“ a „Princípy statistických metod zabezpečování jakosti“ zameraných na klasifikáciu chýb zvarových spojov, metódy monitorovania procesu zvarovania a stanovovanie stupňov ich kvality metódou vizuálnou a aplikáciou štatistických metód zabezpečenia kvality pomocou regulačných diagramov. Poslednou kapitolou tejto časti je kapitola venovaná monitoringu veličín/parametrov procesu zvarovania monitorovacím systémom WeldMonitor a popisu metód plánovaného experimentu.

Predmetom experimentálnej časti dizertačnej práce je analýza vplyvu parametrov procesu, menovite výletu drôtu a rýchlosti zvarovania, na kvalitu zvarových spojov s cieľom posúdiť možnosti stanovenia regulačných medzí procesu dôležitých pre štatistické sledovanie kvality zvarovania. Dizertant v tejto časti práci overil aplikáciu monitorovania a záznamu veličín procesu zvarovania systémom WeldMonitor na hodnotenie kvality zvarových spojov. Pri analýze výsledkov dizertant použil metódy plánovaného experimentu.

V záverečnej časti práci je zhrnutý význam získaných výsledkov pre rozvoj vedy a pre prax.

Hodnotenie dizertačnej práce

Dizertačná práca je zameraná na aktuálny problém aplikácie technológie zvarovania v ochrane plynu z hľadiska zabezpečenia kvality zvarových spojov. Technológia zvarovania MAG je vo svojich variantoch MIG/MAG najrozšírenejším procesom zvarovania v súčasnej zvaračskej praxi. Za ostatné roky vývoj tejto technológie zvarovania prekonal mohutný rozmach najmä vzhľadom na jeho produktivitu a efektivitu. Cieľom dizertačnej práce bolo stanovenie regulačných medzí pre monitoring parametrov zvarovania, ktorého účelom je priama kontrola podmienok zvarovania zabezpečujúcich kvalitu zvarových spojov. Pre posúdenie záznamov stability procesu ako výstupu monitoringu použil priame a nepriame metódy a pri vyhodnocovaní sa riadil kritériami hodnotenia normou EN ISO 5718.

Dizertant v teoretickej časti prehľadne popísal a charakterizoval proces zvarovania v ochrane plynu, jeho parametre, rozsahy a možnosti ich monitoringu. Venoval sa popisu základných parametrov prúdu, napätia, výletu drôtu, požiadavkám na stabilitu procesu s cieľom vytvoriť mapu informácií o parametroch bezprostredne vplyvujúcich na kvalitu zvarových spojov a možnosti ich identifikácie priamo počas procesu zvarovania. **Dizertant v tejto časti preukázal svoju spôsobilosť analyzovať technický problém na základe podkladov z literatúry.**

V práci autor správne uvádza, že zvarovanie je v zmysle noriem manažmentu kvality ISO 9001 proces zvláštny. To z hľadiska posudzovania kvality znamená, že kvalitu spojov vytvorených týmto procesom nie je možné bežne pri výrobe ani po zhotovení výrobku hodnotiť priamo. Monitoring (záznam) parametrov procesu zvarovania sa teda javí ako jeden z možných reálnych spôsobov identifikácie vzniku chýb zvarových spojov počas zvarovania. V práci sú prezentované viaceré metódy monitoringu procesu resp. parametrov zvarovania. Dizertant výstižne a stručne popísal, posúdil a zhodnotil metódy monitoringu pomocou akustickej signálov, optického spektra plazmy oblúku alebo termograficky.

V experimentálnej časti práce sa dizertant zameral na posudzovanie stability procesu zvarovania a jej súvis s výskytom chýb zvarových spojov systémom WeldMonitor. Na posúdenie vzťahu medzi záznamom parametrov zvarovania a výskytom chýb sa použili nepriame metódy, a to nedeštruktívna (vizuálna) a deštruktívna (metalografická) metóda.

Cieľom týchto meraní bolo stanovenie tzv. regulačných medzí potrebných pre aplikáciu monitorovacieho systému.

Dizertant pri vyhodnocovaní kvality zvarových spojov správne poukázal na súvis medzi parametrami zvarovania, geometriou zvarových spojov a výskytom neprípustných chýb typu horúcich trhlín a dutín. Potvrdil údaje z literatúry, že výskyt horúcich trhlín závisí významnou mierou od pomeru výšky a strednej šírky zvaru.

V práci je precízne zmapované pole sledovaných parametrov, výletu drôtu a rýchlosti zvarovania, a identifikácia oblastí, v ktorej dochádza ku vzniku technologických chýb typu zápalu, trhlín (horúcich) a tzv. „humping“ efektu. Dizertant poukázal na skutočnosť, že rozptyl záznamu veličín, posudzovaný kritériami metódy centrálnej kompozície, nemusí vždy znamenať zhoršenie kvality zvarového spoja. Z tohto pohľadu sa aplikácia monitorovacieho systému WeldMonitor na posúdenie vplyvu výletu drôtu na kvalitu zvarových spojov javí ako nedostatočná. Je pravdepodobné, že pri zvolení iných kritérií hodnotenia záznamov veličín by použitie monitorovacieho systému mohlo poskytnúť relevantnejšie výsledky. Aplikácia monitorovacieho systému WeldMonitor na hodnotenie vplyvu rýchlosti zvarovania na kvalitu zvarových spojov však preukázala priamy súvis medzi rozptylom parametrov zvarovania a kvalitou zvarových spojov a umožnila stanoviť regulačné medze predmetných parametrov. Stanovenie regulačných medzí na posudzovanie stability procesu zvarovania vo väzbe na rýchlosť zvarovania možno preto označiť za hlavný prínos predloženej práce. Monitorovací systém WeldMonitor tým získal významnú podporu na posudzovanie záznamu parametrov zvarovania zabezpečujúcich kvalitu zvarových spojov v zmysle príslušných noriem.

Výsledky experimentov ukazujú, že pre zvarovanie existuje limitná hodnota rýchlosti, pri ktorej dochádza ku vzniku trhlín a tzv. humping efektu. Podrobnejšia analýza vplyvu rýchlosti zvarovania potvrdila, že na kvalitu zvarových spojov významne vplýva rýchlosť zvarovania nad $v_d = 1 \text{ m/min.}$, a to dokonca bez ohľadu na úroveň použitého tepelného príkonu.

Zo súboru zvolených experimentov vyplýva, že ich cieľom bolo posúdenie vplyvu parametrov zvarovania pre výšku krčka (nosnej časti) zvaru 4 mm. Z hľadiska technológie zvarovania oceľových konštrukcií významným parametrom geometrie kútových zvarových spojov je však i hĺbka závaru. Táto v niektorých prípadoch dosahovala viac ako 8 mm. Tento parameter jednoznačne (pozitívne) prispieva ku nosnosti zvarových spojov na jednej strane, ale zároveň ovplyvňuje spotrebu (negatívne) prídavných materiálov, a tým priamo ekonomiku výroby zvarovaných konštrukcií na strane druhej. Z tohto pohľadu získané experimentálne výsledky v práci vytvárajú potenciál na ďalšiu analýzu vplyvu parametrov zvarovania nielen na kvalitu, spojenú s optimalizáciou parametrov zvarovania s ohľadom na geometriu zvarových

spojov, ale aj na optimalizáciu spotreby prídavného materiálu t. j. na ekonomiku výroby zvaranej konštrukcie.

V tomto smere mal dizertant k dispozícii vhodný počet experimentov, na ktorých mohol z tohto pohľadu aspoň čiastočne analyzovať vplyv parametrov zvarania na geometriu zvaru a jej súvis s výskytom neprípustných chýb, trhlín resp. dutín. Na základe získaných poznatkov sa dá totiž predpokladať, že tento parameter má primárny vplyv na kvalitu zvarových spojov a je výsledkom použitých parametrov zvarania.

Vymedzenie parametrov zvarania pre danú veľkosť krčka zvaru s „optimálnym“ (minimálnym) závarom bude dôležitým know – how pre aplikáciu predmetnej technológie zvarania poskytujúcej kvalitný zvarový spoj a zohľadňujúcej minimálnu (optimálnu) spotrebu prídavného materiálu. I keď rozsah experimentov je v každej práci limitovaný, vhodne aplikovaný plánovaný experiment by mohol priniesť pre prax odporúčanie voľby parametrov zvarania v ochrane plynov i z hľadiska veľkosti zvaru.

Pri tejto príležitosti si dovoľujem požiadať dizertanta, aby odpovedal na nasledovné otázky:

Ktorý faktor považuje dizertant pri vzniku horúcich kryštalizačných trhlín za najdôležitejší?

Aké druhy horúcich trhlín sa v oblasti zvarových spojov vyskytujú?

Záver

Dizertačná práca Ing. Davida Hrstku rieši významnú problematiku technológie zvarania pre prax, a to monitoring parametrov zvaracieho procesu s cieľom využitia záznamov na dokumentáciu kvality zvarových spojov v zmysle požiadaviek technických predpisov na zabezpečenie manažmentu kvality výroby. Dizertant v predloženej práci preukázal schopnosť pracovať s odbornou literatúrou, analyzovať poznatky získané štúdiom, navrhnúť a riešiť zadaný problém. V rámci riešenia zostavil pracovisko a na súbore experimentov študoval vplyv výletu prídavného materiálu a rýchlosti zvarania na stabilitu procesu zvarania a stanovil medze regulačného diagramu stanovenia kritickej rýchlosti zvarania kútového zvarového spoja s výškou krčka zvaru 4 mm. Preukázal schopnosť použitia multidisciplinárneho hodnotenia kvality zvarových spojov posúdením parametrov zvarania a geometrie zvarov makroštruktúrnym rozborom.

Predloženú prácu považujem za významný prínos pre prax a aplikáciu technológie zvarania. Práca je spracovaná na požadovanej odbornej úrovni odpovedajúcej požiadavkám na udeľovanie vedeckej hodnosti kandidáta technických vied, preto odporúčam dizertačnú

prácu k obhajobe a zároveň odporúčam, aby Ing. Davidovi Hrstkovi bol po úspešnom obhájení práce udelený akademický titul „doktor“.

Bratislava, 20.1. 2011


Ing. Ľuboš Mráz, PhD.