

ZVÁRANIE MANGÁNOVÝCH OCELÍ V PRAXI WELDING OF MANGANIC STEELS IN PRACTICE

Rastislav BERNÁT^A, Zoltán ZÁLEŽÁK^A, Norbert KECSKÉS^B, Libor BENEŠ^C

^A*Katedra kvality a strojárskych technológií, Technická fakulta SPU Nitra*

^B*Katedra matematiky, Fakulta ekonomiky a manažmentu SPU Nitra*

^C*ICDAM, Fakulta strojní, ČVUT v Praze*

Abstract

The requirements on welding of materials in practice are constantly growing with respect to their use and resistance to mechanical or chemical influences (Hrivňák, 2009). In some cases the weldability of many materials can be difficult or is not recommended because of bad and unsuitable properties of the welded joints (Kováč et al., 2005). In our research work we investigate the selection of a proper welding method for welding the manganic steel HS 20 used at dynamically strained components in car industry.

The welding methods have been selected from accessible methods of the KARRER industrial plant. Based on welding technologies MMA, MIG/MAG and TIG, we tested and verified the quality of the welds by means of selected weld tests.

The quality of these welds, obtained by respective methods, was evaluated by weld tests in laboratory conditions of the Dpt. Quality and Machine Technology of SPU in Nitra in cooperation with NDB s.r.o. Bratislava and SES Tlmače a.s. The aim of the research work is to set the most suitable and effective method of welding for the given component parts from all the accessible technologies available in the mentioned industrial plant. Based on relevant information, we also want to enrich the scope of knowledge about welding of manganic materials in order to make the production process more effective.

ÚVOD

Výsledkom všetkých technologických opatrení pri navrhovaní a výrobe zvarkov je dosiahnuť dokonalé spoje, ktoré sa blížia k vlastnostiam homogénneho základného materiálu. Problémy so všeobecnou zvariteľnosťou je možno vyriešiť so správnou voľbou materiálov vhodných na zváranie, návrhom technológie zvárania vhodnej pre zvolený materiál, ako aj realizáciou vhodných konštrukčných úprav potrebných pre úspešné zváranie. Z toho vyplýva, že na zvariteľnosť vplývajú tri hlavné skupiny vzájomne súvisiacich činiteľov – materiál – technológia – konštrukcia. Vzájomnú väzbu troch hlavných činiteľov nie je možné rozdeliť a posudzovať nezávisle od seba, ale treba ju vždy hodnotiť komplexne.

Platná STN zvariteľnosť definuje ako komplexnú charakteristiku materiálu, ktorá určuje za daných podmienok zvárania jeho technickú vhodnosť pre spoje predpísanej kvality. Zvariteľnosť treba vzťahovať na celý zvarový spoj a nielen na základný materiál.

V súčasnosti je známy veľký počet rôznych technologických procesov zvárania, čo je dôsledkom vývoja nových materiálov a technológií zvárania. Zváranie je potrebné chápať ako neodmysliteľnou časťou výroby a opravy súčiastok.

V technickej praxi sa používajú ušľachtilé zliatinové ocele. V oceliach sa nachádza veľké množstvo zliatinových prvkov a ich prítomnosť má rôzne vplyvy

na zvariteľnosť. V našom príspevku riešime problematiku zvárania mangánových ocelí HS 20, ktoré patria medzi ušľachtilé zliatinové ocele a ktoré si vyžadujú pri zváraní vyššiu pozornosť.

Výsledkom našej práce je na základe experimentov navrhnúť vhodnú technológiu zvárania mangánových ocelí s dostupných technológií zvárania vo vybranom podniku a na základe dosiahnutých výsledkov rozšíriť poznatky zvárania mangánových ocelí v praxi.

MATERIÁL A METÓDY

Dosiahnutie dokonalého zvarového spoja s vlastnosťami približujúcich sa k vlastnostiam homogénneho základného materiálu je u materiálov obsahujúcich rôzne legujúce prvky dosť náročné. Legujúce prísady na zvýraznenie špecifických vlastností materiálu po tepelnom ovplyvnení v značnej miere menia vlastnosti zvarového kovu.

V našej výskumnej práci sledujeme vlastnosti konštrukčnej ocele s prísadou mangánu, ktorý pozitívne vplyva na zvýšenie pevnostných a oterovzdorných vlastností. Mangánová oceľ obsahuje minimálne 0,9 % Mn, pričom tieto ocele sú veľmi húževnaté a nemagnetické materiály s obtiažnou zvariteľnosťou.

Plochy zvaru boli upravené v tvare I – zvaru. Ako základný materiál bola použitá oceľ s označením HS 20, ktorá je definovaná podľa normy BS 1449-1.1:1991. Hrúbka materiálu HS 20 je 3,30 mm. Chemické zloženie materiálu HS 20 uvádza tabuľka 1.

Tab. 1: Chemické zloženie materiálu HS 20

	C	Si	Mn	P	S	Al
Min. (%)	0,200	0,150	1,400	-	-	0,020
Max. (%)	0,250	0,300	1,700	0,025	0,025	0,050
Analýza materiálu (%)	0,220	0,240	1,520	0,014	0,013	0,035

Mechanické vlastnosti materiálu HS 20 podľa normy BS 1449-1.1:1991: medza klzu $R_e = \text{min. } 340 \text{ MPa}$, medza pevnosti $R_m = \text{min. } 460 \text{ MPa}$, ťažnosť $A_5 = \text{min. } 18 \%$.

K dosiahnutiu kvalitných zvarov je veľmi dôležitý výber vhodnej technológie zvárania ako aj vhodných technologických zariadení. Vybrali sme 3 ekonomicky dostupné technológie vo vybranom podniku, pre ktoré sme zvolili prídavné materiály a príslušné parametre zvárania.

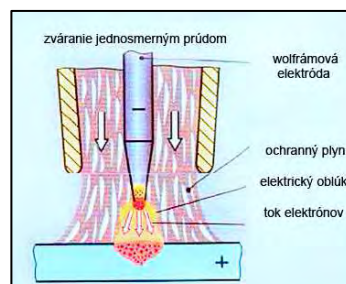
Pre zváranie technológiou MMA sme použili zváracie zariadenie TIGER 210 AC/DC. Zváracie zariadenie TIGER 210 DC + AC/DC je profesionálnym zdrojom, s ktorým možno zvärať oceľové, nerezové, medené a hliníkové plechy o hrúbkach od 0,2 mm do 6 mm jednosmerným alebo striedavým prúdom. Zvárací zdroj TIGER zaisťuje najvyššiu možnú prevádzkovú spoľahlivosť a maximálnu výkonnosť. Pri zváraní bol použitý jednosmerný prúd $I(A)$ podľa prídavného materiálu (elektrody) - priama polarita. Ako prídavný materiál sme zvolili prídavné materiály *EN ISO 2560-A: E 35 A RR (E-R 117)* o priemere $d = 2,5 \text{ mm}$ a *EN 1600: E 18 8 Mn R 53 (E 307-16)* o priemere $d = 2,5 \text{ mm}$.

Pre zváranie technológiou MIG/MAG sa použil zvárací agregát STEL HI-MIG 500P s podávačom drôtu STEL TOP 504-A. Pri zváraní metódou MIG/MAG sa použila dvojzložková zmes oxidu uhličitého a argónu v pomere 82 % Ar a 18 % CO_2 o prietoku 10 l.min^{-1} a ako prídavný materiál sme zvolili materiál *EN 440: G 46 4 M G3Si1 (SG 2 pre MAG)* o priemere $d = 0,8 \text{ mm}$.

Pri použití zväracej technológie TIG sme použili univerzálne zväracie zariadenie TIGER 210 AC/DC (obrázok 1), ako ochrannú atmosféru sme použili argón a prídavný materiál bol použitý materiál EN 1668: W 42 5 W3Si1 (SG 2 pre TIG) o priemere $d = 2,4$ mm.



Obr. 1: TIGER 210 AC/DC



Obr. 2: Princíp zvärania TIG (Fajnorka, 2010)

Tab. 2: Parametre zvärania technológiou MMA (elektródou E 307-16)

	Poloha zvärania	Smer zvärania	Koreňová medzera y (mm)	Uhol sklonu α (°)	Čas zvärania t (s)	Rýchlosť zvärania v (mm/s)	Napätie U (V)	Prúd I (A)
MMA	vodorovná	dopredu	3,2	45	146	1,2	23	75

Tab. 3: Parametre zvärania technológiou MAG

	Poloha zvärania	Smer zvärania	Koreňová medzera y (mm)	Uhol sklonu α (°)	Podávacia rýchlosť drôtu v_d (m/min)	Čas zvärania t (s)	Napätie U (V)	Prúd I (A)	Rýchlosť zvärania v (mm/s)
MAG	vodorovná	dopredu	4	45	2,8	240	17,9	50	0,7

Tab. 4: Parametre zvärania technológiou TIG

	Poloha zvärania	Smer zvärania	Koreňová medzera y (mm)	Uhol sklonu α (°)	Čas zvärania t (s)	Rýchlosť zvärania v (mm/s)	Napätie U (V)	Prúd I (A)
TIG	vodorovná	dopredu	2,5	45	240	0,7	28	80

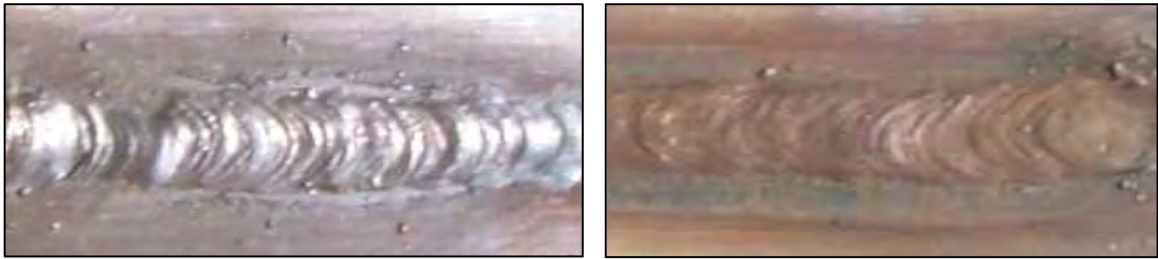
Všetky zvary pozvárané technológiami TIG, MAG a MMA boli podrobené:
 - vizuálnej skúške (hneď po zväraní a vychladnutí), kapilárnej skúške (po 24 hodinách po zväraní), Röntgenovej skúške, skúške ťahom, skúške lámavosti, metalografickej skúške, skúške tvrdosti.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Vizuálna skúška zvarov

Vizuálna skúška bola realizovaná a vyhodnotená podľa normy EN ISO 5817 Trieda „B“ na všetkých vzorkách zvarov.

Pri hodnotení kvality zvarov vytvorených technológiou MMA sme pri elektróde E-R 117 pozorovali viditeľné póry (obr.3a) a neprevarený koreň. Pri použití elektródy E 307-16 bol koreň prevarený dobre, ale na zvare boli viditeľné póry (obr. 3b) a deformácia vzoriek bola vplyvom tepla nevyhovujúca.



a)

b)

Obr. 3: Zvar technológiou MMA: elektródou E-R 117 (a), elektródou E 307-16 (b)

Pri hodnotení zvaru MAG (obr. 4) boli na začiatku zvaru viditeľné póry, pričom celý koreň bol dobre prevarený. Pri tomto spôsobe zvarovania sme sa taktiež nevyhli viditeľnej deformácii vzoriek a nerovnomernému prevýšeniu zvaru, čo si vyžaduje ďalšie spracovanie zvarku.



Obr. 4 Zvar technológiou MAG



Obr. 5 Zvar technológiou TIG

Technológiou TIG sme vytvorili zvary bez trhlín a pórov. Koreň bol dokonale prevarená a deformácia zvarku bola zo spomínaných metód v tomto prípade najmenšia. Hrúbka materiálu HS 20 (3,3 mm) nám nedovolila sa vyhnúť deformácií aj pri fixovaní vzorky.

Kapilárna skúška zvarov

Kapilárna skúška bola vykonaná podľa normy EN ISO 3452-2 pre zisťovanie povrchových trhlín za pomoci penetrantu metódou TEST-70-9802 pri teplote povrchu 18 °C. Penetračný čas bol 15 minút a potom bola nanosená detekčná látka na ďalších 5 minút, ktorá zobrazila na povrchu zvaru chyby.

Kapilárnej skúške boli podrobené iba zvary technológie TIG a MAG, pretože zvar technológiou MMA bol už vizuálnou skúškou vyhodnotený ako nevyhovujúci. Na povrchu zvarov TIG a MAG boli kapilárnou skúškou zistené povrchové trhliny a preto boli zvary vyhodnotené ako neakceptovateľné.

Röntgenová skúška zvarov

Röntgenová skúška zvarov bola vyhodnotená podľa normy EN 12517/1 a podľa ktorej sme zistili vnútorné nehomogenity materiálu. Na zobrazenie chýb zvarov sme použili RTG - film.

Zvar technológie MMA sme nepodrobili röntgenovej skúške z dôvodu hodnotenia zvaru pri vizuálnej skúške ako nevyhovujúci vzhľadom na viditeľné trhliny a póry a taktiež znížením nákladov výskumného projektu. Zvar

technológie MAG sme rozdelili na tri oblasti, na ktorých sme zo záznamu RTG mohli identifikovať chyby zvaru. V jednej vykreslenej oblasti boli viditeľné póry a studený spoj v takom rozsahu, že oblasť tohoto zvaru nevyhovuje podľa normy EN 12517/1. Zvar vytvorený technológiou TIG sme taktiež rozdelili na oblasti, ktoré po vyhodnotení spĺňali všetky požadované kritéria a vhodnosť použitia danej technológie do praxe.

Skúška ťahom

Táto skúška je základnou skúškou používanou k overovaniu pevnostných a plastických charakteristík. Skúškou ťahom sme zistili napäťovú charakteristiku – medzu pevnosti R_m v MPa. Skúška ťahom bola vykonaná podľa normy STN EN 895 strojom typu EU 40. Namerané hodnoty sú v tabuľke 5. Výsledok skúšky ťahom pre vzorku 822-12 TIG je na obrázku 25.

Tab. 5: Výsledky z mechanickej skúšky ťahom

Číslo vzorky	F_m (kN)	R_m (MPa)	Miesto pretrhnutia	Hodnotenie
822-1 E 307-16	37,25	501	/ZV/	vyhovuje
822-6 E-R 117	43,51	582	/ZM/	vyhovuje
822-11 TIG	45,84	589	/ZM/	vyhovuje
822-12 TIG	45,24	567	/ZM/	vyhovuje
822-14 MAG	44,88	575	/ZM/	vyhovuje
822-15 MAG	44,32	583	/ZM/	vyhovuje

Tab. 6: Výsledky z mechanickej skúšky lámavosti

Číslo vzorky	Strana zvaru	Uhol ohybu α (°)	Priemer φ (mm)	Hodnotenie
822-2 E 307-16	RBB	180 °	15	nevyhovuje
822-5 E-R 117	RBB	180 °	15	nevyhovuje
822-8 TIG	RBB	180 °	15	vyhovuje
822-9 TIG	RBB	180 °	15	vyhovuje
822-17 MAG	RBB	180 °	15	vyhovuje
822-18 MAG	RBB	180 °	15	vyhovuje

Skúška lámavosti

Podstatou skúšky zvarového spoja je ohybová deformácia skúšobného telesa pomocou zaťažovacieho trňa až do predpísaného uhla ohybu alebo do objavenia necelistvostí viditeľných bez zväčšenia (STN ISO 7438). Skúška lámavosti bola vykonaná podľa normy STN EN 910 strojom typu EU 100. Zvary sme skúšali z koreňovej strany (RBB). Hodnoty zo skúšky sú v tabuľke 6.

ZÁVER

Zvárať mangánové ocele je možné v súčasnosti rôznymi technológiami. V našej výskumnej práci sme porovnávali vhodnosť technológie MMA, MIG/MAG a TIG na zváranie materiálu HS 20 definovaného normou normy BS 1449-1.1:1991.

Výsledky skúšky zvarov jednoznačne potvrdili skutočnosť, že správny výber vhodnej technológie zvárania, množstvo vneseného tepla do zvaru má výrazný vplyv na kvalitu zvaru mangánových ocelí.

Výsledok z vizuálnej skúšky bol prvým predpokladom, že technológia zvárania TIG je najvhodnejšia pri zváraní mangánových ocelí. Na zvare neboli viditeľné žiadne póry, koreň bol dokonale prevarený a prevýšenie zvaru bolo najvhodnejšie. V prípade technológií MAG a MMA boli viditeľné póry a koreň bol dokonale prevarený len pri technológii MAG. Taktiež nepravidelnosť prevýšenia zvaru bolo u metód MMA a MIG/MAG v porovnaní s metódou TIG nevyhovujúce.

Kapilárna skúška celého porovnávaného potvrdila, že technológie TIG a MAG sú neakceptovateľné pre zváranie mangánových ocelí. Na povrchu zvarov boli zistené trhliny pomocou penetrantu. Zvar technológie MMA sa nepodrobil kapilárnej skúške preto, lebo už vizuálnou skúškou bola zistená nevhodnosť zvaru.

Röntgenová skúška bola vykonaná na zvaroch MIG/MAG a TIG. Pri metóde MMA bola röntgenová skúška vzhľadom na šetrenie finančných prostriedkov vylúčená na základe vizuálnej skúšky. Pri metóde zvárania MIG/MAG boli zaznamenané viditeľné póry, neprievary, nenatavené hrany a studené spoje. Metóda TIG na základe RTG filmu sa javí ako najvhodnejšia metóda pre zváranie materiálu HS 20.

Pri hodnotení skúšky ťahom, spracovaní nameraných hodnôt medze pevnosti a porovnaní so stanovenou hodnotou podľa normy BS 1449-1.1:1991, kde $R_m = \min. 460 \text{ MPa}$ sme zistili, že všetky namerané hodnoty sú väčšie ako 460 MPa a z toho vyplýva, že vzorky zvarov vyhovujú danej norme.

Materiál HS 20 je ťažko zvariteľný a pri skúške lámavosti sa technológia MMA ukázala ako nevhodná na zváranie mangánových ocelí. Zvary technológie TIG a MAG sa pri skúške lámavosti ukázali ako vyhovujúce.

Dodržaním presných zvaracích postupov, realizovanie skúšok podľa príslušných noriem a celkové vyhodnotenie výsledkov viedlo k záveru, že najvhodnejšou technológiou zvárania materiálu HS 20 s minimálnym tepelným ovplyvnením materiálu, s najmenšou deformáciou a vyhovujúcimi mechanickými vlastnosťami je technológia TIG.

Tento príspevok vznikol v súvislosti s riešením výskumnej úlohy VEGA: Zvyšovanie kvality poľnohospodárskych strojov a výrobných zariadení, 1/0576/09.

LITERATÚRA

BALLA, J. 2003. *Náuka o materiáloch*, Nitra: SPU, 2003. 163s. ISBN 80-8069-249-1.

FAJNORKA 2010. <http://www.fajnorka.sk/downloads/prezentaciazvaranie.pdf>.

HRIVŇÁK, I. 2009. *Zváranie a zvariteľnosť materiálov*, Bratislava, 2009. 486s. ISBN 9788022731676.

KOVÁČ, I – ŽARNOVSKÝ, J. – ŽITŇANSKÝ, J. 2005 Vrstvy odolné proti opotrebeniu In: *New trends in technology system operation : proceedings of the seventh conference with international participation*, Prešov, 20.-21. october 2005. - Košice : Technická univerzita, 2005. - ISBN 80-8073-382-1. - S. 160-161.

KOTUS, M. 2009. Tribologické skúšky oteruvzdorných materiálov. In *Bezpečnosť - kvalita - spoľahlivosť : 4. medzinárodná vedecká konferencia*, Košice 2009, Technická univerzita v Košiciach, 2009. ISBN 978-80-553-0137-2, s. 103 -107.

KALOČ, R. - BENEŠ, L. 2009. *Analytical prediction of bifurcation process in an adhesive rolling kinematic pair*. In *Sborník vědeckých prací Univerzity Pardubice (Scientific Papers of the University of Pardubice, Series B, The Jan Perner Transport Faculty*, 14 (2008). Pardubice, 2009, p. 75–80. ISBN 978-80-7395-233-4.

TURŇA, M. 1989. Špeciálne metódy zvarovania, Bratislava: ALFA, 1989. 384s. ISBN 80-05-00097-9.

STN EN 895:1998 Deštruktívne skúšky zvarov kovových materiálov. Skúška ťahom zvarového spoja v priečnom smere.

STN EN 910:1999 Deštruktívne skúšky zvarov kovových materiálov. Skúšky lámavosti.