

Hodnotenie kvality návarov vyhotovených na koľajnicovej oceli UIC 900A polohovacím zariadením AUTOWELD 5000

Ing. Peter Žúbor, PhD., Ing. Martin Kasenčák, PhD., Ing. Pavol Pavlásek

PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a.s., Kopčianska 14, 851 01 Bratislava, SK
e-mail: zubor.peter@pzvar.sk

Annotation

Use of rail surfacing technology with high alloyed filler material is an economically attractive manner as an effective method for the overhaul of the upper track and increases the life of rail steel. Applied technology is used mainly for highly exposed sections of track and is useful in the interim repair worn sections directly applied to the material without having to exchange.

Úvod

Zo stúpajúcimi potrebami spoločnosti pre ekonomický a hospodársky rozvoj vzrastajú potreby i na rozvoj dopravy. Významné miesto pri rozvoji dopravnej infraštruktúry či už na Slovensku alebo v medzinárodnom meradle má železničná doprava. Výhodná geografická poloha Slovenska radí slovenské železničné trate k významným tranzitným krajinám v európskej dopravnej infraštruktúre. Touto integráciou slovenských dráh medzi medzinárodné železničné trate sa kladú vyššie nároky na bezpečnosť, spoľahlivosť a rýchlosť prepravy. V dôsledku vyššieho rozvoja železničnej dopravy, zvyšovaním rýchlosti lokomotív a nápravového zaťaženia v nákladnej doprave, dochádza k výraznému zaťažovaniu železničného zvršku. Dôležitou časťou železničného zvršku, ktorá prichádza priamo do styku s kolesami vozidiel sú koľajnice. Zvyšovanie záťažových faktorov môže spôsobiť deformáciu tvaru, únavu a opotrebenie koľajníc železničných tratí, čo predstavuje závažný problém, pretože opravy tratí poškodených úsekov sú finančne náročné a vedú k dopravným komplikáciám. Často dochádza vplyvom tribologických procesov k opotrebeniu povrchových vrstiev tratí, vzniku chýb koľajníc v dôsledku rozvoja rôznych malých defektov alebo kumulácie napätí od namáhania, prípadne tepelno-deformačného účinku [1].

1. Rozbor problematiky navárania koľajníc

Zvyšovaním požiadaviek v prevádzke sa zvyšujú i nároky na kvalitu materiálov železničných koľajníc. K najviac namáhaným častiam železničného zvršku patria dlhé oblúky a výhybkové súčasti. Práve výrazným zaťaženým týchto častí železničnej trate, začína vývoj a aplikácia nových materiálov. Vývoj v oblasti nových koľajnicových ocelí sa začína uberať z oblasti perlitických ocelí, do oblasti ocelí s bainitickou štruktúrou, ktoré predstavujú materiály s lepšimi mechanickými vlastnosťami. Rozhodujúcimi parametrami pre zvýšenie životnosti je odolnosť voči únavovým procesom, opotrebeniu, lepšie pevnostné vlastnosti a odolnosť voči korózii.

Vplyvom prevádzky dochádza v najviac namáhaných častiach železničnej trate k opotrebeniu a k deformácii tvaru koľajníc, čo predstavuje stratu funkčnosti koľajníc ako vodiacej súčasti trate. Ako metóda vhodná na reprofiliáciu železničného zvršku sa začala používať technológia navárania, ktorá predstavuje finančne výhodnú údržbu železničnej trate a predĺženie jej životnosti ako výmena celého úseku trate.

Zváranie a naváranie na tratiach slovenských železníc sa v súčasnosti realizuje pre ŽSR dodávateľským spôsobom, pričom významným artiklom z hľadiska opráv naváraním sú srdcovky a krídlové koľajnice výhybiel. Teda súčasti, ktoré sú najviac namáhané prevádzkovým poškodením. Najčastejšie sa pre obnovu pôvodného tvaru používa vysokolegovaný prídavný materiál výrobcu ESAB [2] s označením OK Tubrodur 15.43 – rúrkový drôt s vlastnou ochranou. Ako ďalšie materiály sú podľa štruktúry koľajnicovej ocele

odporúčané prídavné materiály vo forme plnenej elektródy, ako aj drôtu (napr. pre uhlíkovo - mangánové (perlitické) koľajnice prídavné materiály s označením OK 83.27 alebo OK 83.28, OK Tubrodur 15.41 a pre koľajnice z mangánovo – austenitických ocelí doporučené prídavné materiály s označením OK 67.45, OK 86.28 alebo OK Tubrodur 14.71, OK Tubrodur 15.65).

Podmienky vyhotovenia návarov na železničnej trati uvádza technologický predpis ŽSR z roku 1996 [3]. Pre naváranie je dôležité poznať podmienky, v ktorých opotrebenie nastáva a materiál súčiastky. Na základe zistenia týchto údajov možno zvoliť prídavný materiál a technologický postup navárania. V zásade platí, že pri viac namáhaných súčiastkách koľajnicovej dráhy (výhybkové jazyky, srdcovky, krídlčky, konce koľajnic atď.), kde počas prevádzky dochádza k silnému dynamickému namáhaniu len krátkeho úseku dráhy je žiadané vytvoriť návar odolnejší, teda tvrdší ako je tvrdosť základného materiálu koľajnice. Takéto návary sa doposiaľ vykonávajú naváraním legovaných materiálov pri použití predhrevu 350 až 400 °C, prípadne sa používajú vysokolegované materiály. Pri použití legovaných prídavných materiálov (napr. OK Tubrodur 15.43) sa dosiahne tvrdosť navarenej vrstvy až 400 HV, ktorá sa počas prevádzky už významne spevňuje. Naváraním vysokolegovaných materiálov (napr. OK Tubrodur 15.65, OK Tubrodur 14.71 alebo OK Autrod 16.95) sa dosiahne tvrdosť navarenej vrstvy cca 250 HV. Táto sa pri mechanickom vytvrdzovaní počas prevádzky môže spevniť až na hodnoty 550 HV [4].

Pri praktickej realizácii navárania vysokouhlíkových koľajnicových materiálov sa často poukazuje na vplyv deformačného spevňovania na veľkosť zrna v teplom ovplyvnenej oblasti (TOO) pod navarenou vrstvou. Použitie vysokolegovaných materiálov (na austenitickej resp. bainitickej štruktúrnej báze) pri vyšších hodnotách zvraciacich parametrov spôsobuje väčšiu hĺbku závaru a premiešanie zvracieho materiálu so základným materiálom koľajnice. Zvýšenie obsahu uhlíka v pásme premiešania môže degradovať austenitickú štruktúru vydrolovaním návaru v oblastiach s pásmovým a dendritickým odmiešaním legujúcich prvkov. Teda problematika veľkosti zrna v prechode základný materiál koľajnice a TOO pri dodržaní technologických parametrov a následné brúsenie navarených vrstiev nie je tak vypuklá. Kritickým miestom pri použití vysokolegovaného materiálu je však TOO pod poslednou navarenou húsenicou, ktorá nie je vyžihaná ďalšími vrstvami.

Na základe zhodnotenia súčasného stavu v danej problematike môžeme konštatovať, že aj napriek prevládajúcej tendencii prieniku progresívnych postupov sa v aplikácii technológie navárania vysokouhlíkových koľajnicových ocelí nevenovala dostatočná pozornosť uvedeným problémovým okruhom:

- štúdiu metalurgického pozadia návarov vysokouhlíkových ocelí,
- posúdenie vplyvu základných materiálov prevádzkovaných koľajnic na možnú problematiku pri naváraní v súčinnosti so známymi chybami spôsobenými prevádzkou,
- vplyv teplotného poľa zvracieho cyklu na napätové stavy materiálu,
- návrh a odskúšanie parametrov navárania bez použitia predhrevu,
- návrhu prídavných materiálov zohľadňujúcich prevádzkovú spoľahlivosť a životnosť navarených vrstiev,
- odskúšania technológie navárania s kombináciou prídavných materiálov za účelom dosiahnutia požadovaných mechanických vlastností.

Tieto okruhy boli východiskovým podkladom na vypracovanie vlastného technologického riešenia pre naváranie koľajnic za účelom zvýšenia životnosti a prevádzkovej spoľahlivosti s limitom tepelnej bilancie počas navárania. Hlavným zámerom riešenia je na základe cieľeného výskumno-vývojového postupu s experimentálnym overením poskytnúť technológiu navárania vysokouhlíkových koľajnicových ocelí bez predhrevu, ktorá:

- je atraktívna predovšetkým za účelom zníženia nárokov v problematike dodržania predpísaného tepelného režimu zvrárania,
- možno ju aplikovať v prevádzke pri obmedzenej výluke dopravy,
- dokáže zachovať úžitkové vlastnosti základného materiálu koľajnice a zároveň zvýšiť životnosť navarenej vrstvy exponovaných častí koľajovej prepravy.

Cieľom navrhutej vysokoproduktívnej technológie je vylúčenie teploty predhrevu pre vyhotovenie návarov legovaným až vysokolegovaným zvraciacim materiálom na získanie

pôvodného profilu koľajnice, ako aj na opakovanú reprofiliáciu koľajového zvršku opotrebeného prevádzkou.

Vzhľadom na skutočnosť, že zaužívané postupy v technológii navárania prevádzkou opotrebených súčastí koľajiva vyžadujú pred naváraním úplné vybrúsenie pôvodných spevnených vrstiev, inovatívnosť navrhnutého prístupu spočíva práve na zavedení vysokoproduktívnej technológie navárania, ktorá obmedzí brúsenie a časové prestoje iba do hĺbky odstránenia vyskytujúcich sa trhlín.

2. Experimentálny program

Vlastné riešenie pozostávalo s experimentálneho overenia technologického postupu navárania na vyrezanej výhybkovej časti z koľajnicovej ocele UIC 900A plnenými drôtmí s vlastnou ochranou od výrobcu ESAB pod obchodným označením OK Tubrodur 15.43 a OK Tubrodur 14.71 pri smernom chemickom zložení pre čistý zvarový kov (tab. 1).

Tab. 1 Smerné chemické zloženie použitých prídavných materiálov výrobcu ESAB

Označenie drôtu	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Al
	(hm. %)						
OK Tubrodur 15.43	0,15	0,30	1,10	1,00	2,30	0,50	1,50
OK Tubrodur 14.71	0,07	0,50	5,50	19,0	-	-	-

Návary boli vyhotovené oblúkovým automatizovaným zváraním na dve vrstvy zariadením PZ AUTOWELD 5000 pri parametrizácii, uvedenej v tab. 2. Tabuľka obsahuje základné údaje, ostatné technické parametre pre vyhotovenie návarov sú obsiahnuté v návrhoch postupu navárania pWPS RW1 až RW4 [5].

Použil sa rúrkový drôt priemeru 1,6 mm s vlastnou ochranou pri množstve vneseného tepla $Q = 5,6$ až $7,5$ kJ/cm. Vzájomne boli porovnávané spôsoby vyhotovenia dvojvrstvových návarov s predhrevom a dohrevom, ako aj bez použitia predhrevu na prevádzkovanom povrchu hlavy koľajnice. Cieľom uvedeného technologického postupu je eliminácia nežiaducich zmien v štruktúrnej stabilite navarených vrstiev, ako aj zabránenie vzniku potencionálnych zárodok defektov typu trhlín, ktoré vznikajú pri odchýlení od stanovených podmienok navárania napr. ovplyvnením mikroštruktúry v okolí návaru, resp. dôsledkom metalurgických reakcií pri tuhnutí zvarového kovu.

Tab. 2 Voľba podmienok navárania koľajnicovej ocele UIC 900A

vzorka	Prídavný materiál	Teplota predhrevu (°C)	Parametre navárania			Režim ochladzovania
			I (A)	U (V)	v (cm/min)	
A1	OK Tubrodur 15.43	bez	200-220	25-28	60	voľné chladnutie - vzduch
A2	OK Tubrodur 15.43	250	180-200	25-28	60	
A3	OK Tubrodur 15.43	350	180-200	25-28	60	dohrev 350°C/10min.
B1	OK Tubrodur 14.71	bez	200-220	23-26	60	voľné chladnutie - vzduch
B2	OK Tubrodur 14.71	250	180-200	22-25	60	
B3	OK Tubrodur 14.71	350°	180-200	22-25	60	dohrev 350°C/10min.

Koľajnica bola pri naváraní upnutá na polohovacom stole tak, aby sa pohybom zväzacej hubice pokryla návarom celá šírka hornej časti hlavy koľajnice v sledovanom úseku 100 mm. Sklon hubice bol zvolený v uhle 45°. Z pohľadu hodnotenia kvality navarených vrstiev boli analyzované úseky mimo nábehovej hrany, pričom vyhotovený návar bol bez opracovania profilu. Na obr. 1 je dokumentovaný postup vyhotovenia návaru podľa parametrizácie vzorky A3 s použitím predhrevu 350°C a dohrevom na teplote 10 min.



Obr. 1 Príklad vyhotovenia návaru drôtom OK Tubrodur 15.43 na zariadení AUTOWELD 5000 s použitím predhrevu 350°C

2.1 Makroskopická a mikroskopická analýza návaru

Celistvosť vyhotovených návarov a ich kvalita bola posudzovaná z hľadiska výskytu trhlín, metalografickým štúdiom analýzou makroštruktúry a mikroštruktúry návaru, ako aj hodnotením priebehu tvrdostí HV z pohľadu množstva vnesenej tepla.

Vzorky boli pripravené z priečných odrezkov hlavy koľajnice vo vzdialenosti 25 mm od konca navareného úseku. Makroštruktúrna analýza bola vykonaná na priečných rezoch po celej šírke navarenej hlavy, mikroštruktúrny rozbor sa vykonával na odrezkoch so stredovej časti a v kolmom na rovinu makrovýbrusu.



Obr. 2a Makroštruktúra návaru bez použitia predhrevu, vzorka A1



Obr. 2b Detail hranice natavenia ZM koľajnice vzorky A1

Na obr. 2 až 7 sú dokumentované rozborové metalografické analýzy získané z návarov. Návar v pôvodnom stave bez použitia predhrevu je zobrazený na obr. 2a - bez viditeľných defektov typu trhlín (100) dutín (200) a neprievarov (400). Ojedinelé póry boli sledované v nábehovej časti s veľkosťou pod 1 mm v priemere. Makroštruktúra priečného rezu cez navarenú vrstvu je s plytkým závarom. Štruktúra navareného kovu je rovnoosová, s pravidelne

vyvinutými kryštálmi. TOO návaru je nepravidelná s maximálnou šírkou 8,0 mm. Na hranici natavenia (obr. 2b) sme pozorovali prítomnosť feritického sieťovia, podnávarová oblasť nejavila známky zhrubnutého zrna, mikroštruktúra prvej navarenej vrstvy bola tvorená bainitom a popusteným martenzitom.



Obr. 3a Makroštruktúra návaru vzorky A2 pri predhreve 250°C



Obr. 3b Detail hranice natavenia vzorky A2 s výskytom kryštalizačných trhlín

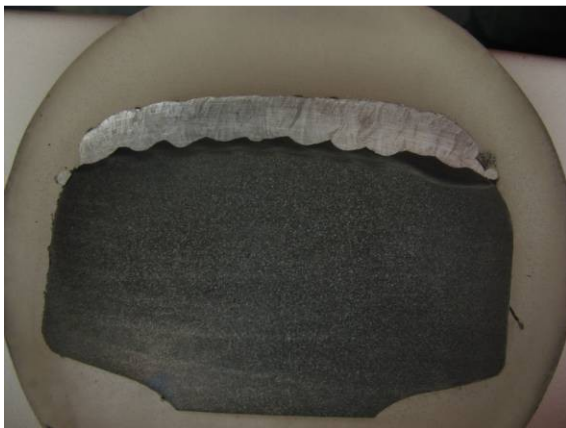


Obr. 4a Makroštruktúra návaru vzorky A3 pri predhreve 350°C

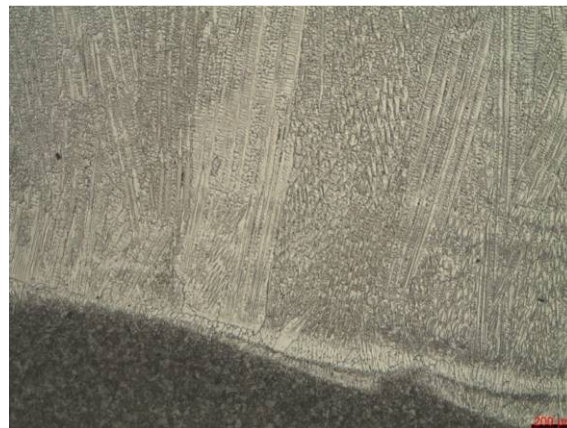


Obr. 4b Detail hranice natavenia vzorky A3 v prechode do ZM koľajnice

Účinok prehrevu 250 °C mikroštruktúrne zmeny je dokumentovaný na obr. 3a. Pri detailnom štúdiu hranice natavenia, hlavne pri okraji profilu sme zistili prítomnosť kryštalizačných praskliniek v prvej navarenej vrstve. Mikroštruktúra návaru je prevažne bainitická. V prípade vzorky A3, kedy sa okrem predhrevu 350 °C použil dohrev na rovnakej teplote cca 10 min. sme pozorovali výrazne hrubozrnnú hranicu natavenia s prítomnosťou feritického sieťovia (obr. 4). Okrem toho sa farebným leptaním zviditeľnila sekundárna karbidická fáza, kopírujúca laťky hornobainitickej štruktúry, pričom nemožno vylúčiť že tieto útvary obsahujú aj podiel M-A komponenty (na obr. 4b).



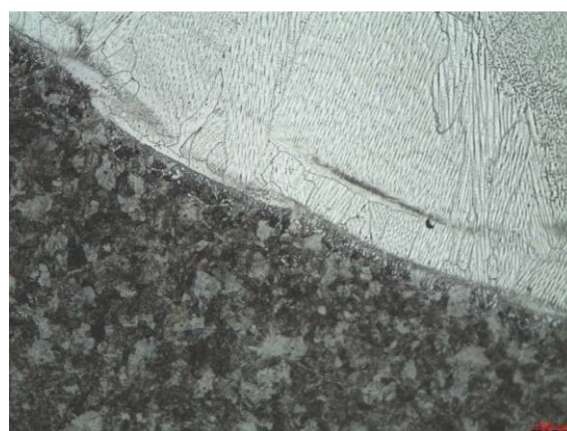
Obr. 5a Makroštruktúra návaru vysokolegovaným drôtom bez použitia predhrevu, vzorka B1



Obr. 5b Detail hranice natavenia ZM koľajnice vzorky B1



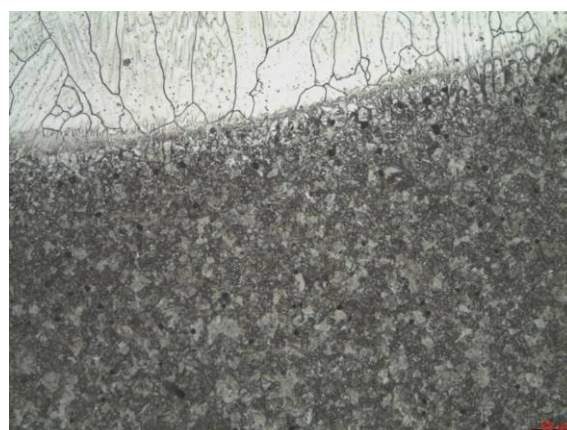
Obr. 6a Makroštruktúra návaru vzorka B2 s predhrevom 250°C



Obr. 6b Detail hranice natavenia ZM koľajnice vzorky B2



Obr. 7a Makroštruktúra návaru s použitím predhrevu 350°C, vzorka B3



Obr. 7b Detail hranice natavenia ZM koľajnice, vzorka B3

Mikroštruktúrny rozbor na návaroch vyhotovených vysokolegovaným austenitickým drôtom OK Tubrodur 14.71 je dokumentovaná na obr. 5 až 7. Pri navrhnutej parametrizácii sa dosiahol výraznejší prievar. Na všetkých vzorkách možno pozorovať premiešanie na hranici natavenia, pričom výraznejšiu heterogenitu sme sledovali pri vzorkách B2 a B3. Ako uvádzame ďalej, okrem štruktúrneho rozboru sme návary kvalitatívne hodnotili skúškami tvrdosti HV a pri vzorkách s vylúčením predhrevu sme vykonali skúšky rázom na vzorkách s ostrým V vrubom.

2.2 Skúšky tvrdosti HV

Priebeh tvrdosti na dvojvrstvových návaroch koľajnicovej oceli UIC 900A bol študovaný skúškami tvrdosti HV použitím záťaže 10 kg na tvrdomeri HPO 250 podľa normy STN EN ISO 6507-1 v smere kolmo od povrchu hlavy koľajnice cez obe navarené vrstvy až do základného materiálu. Vzhľadom na štruktúrne zmeny pri viacvrstvovom navaraní použitím zvaracích materiálov na bainitickej a austenitickej báze sa už z predchádzajúceho overenia nepredpokladali výraznejšie zmeny tvrdosti v prechodových oblastiach, no napriek tomu sme zvolili v podnávarovej oblasti a na hranici natavenia (HN TOO) zvýšenú hustotu vtláčkov (0,5 mm), oproti štandardnej vzdialenosti stredov vtláčkov uvádzaných normou STN EN 1043-1. Dosaiahnuté výsledky tvrdosti HV návarov sú spracované v tab. 3.

2.3 Skúšky rázom v ohybe

Na skúšky rázom v ohybe podľa normy STN EN 10045 sa použili vzorky odobraté zo strednej časti hlavového odrezku. Skúšobné tyčky na skúšku rázom v ohybe rozmerov 10x10x55 mm (sadu v počte 3 ks) sme umiestnili tak, aby boli orientované pozdĺžne, pričom orientácia vrubu tvaru V bola kolmo na povrch pojazdovej plochy koľajnice.

Skúšku rázom sme vykonali na rázovom kladive Charpy s nominálnou energiou 150 J pri teplote okolia, t. j. 20 °C. Výsledky zo skúšok rázom a vypočítané hodnoty rázovej húževnatosti sú uvedené v tab. 4.

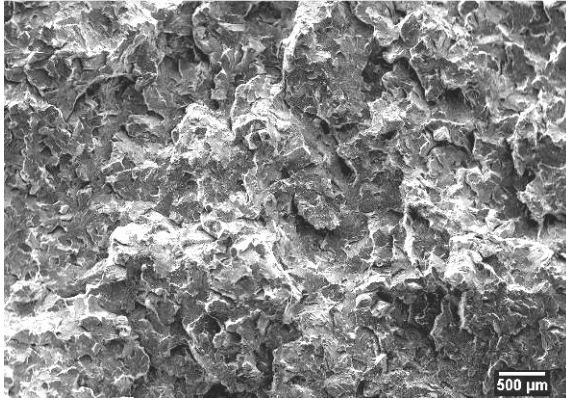
Tab. 3 Namerané hodnoty tvrdosti na dvojvrstvových návaroch

vzorka	Prídavný materiál	Tvrdosť HV				
		Krycia vrstva	Podkladová vrstva	HN TOO	TOO	ZM
A1	OK Tubrodur 15.43	324	291	308 272	330 298	261
A2	OK Tubrodur 15.43	281	246	283 268	314 265	236
A3	OK Tubrodur 15.43	327	280	319 298	331 239	225
B1	OK Tubrodur 14.71	231	162	297 251	344 253	262
B2	OK Tubrodur 14.71	225	178	316 257	313 251	257
B3	OK Tubrodur 14.71	193	166	315 209	350 241	245

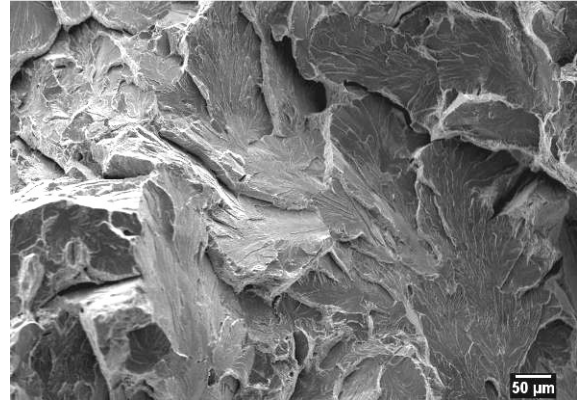
Tab. 4 Hodnoty nárazovej práce KV a vypočítané hodnoty rázovej húževnatosti KCV 150

Vzorka	A1 – I	A1 – II	A1 – III	B1 – I	B1 – II	B1 – III
KV 150 [J]	13,5	13,0	11,5	12,0	11,5	12,5
KCV 150 [J.cm⁻²]	16,8	16,2	14,4	15,0	14,4	15,6

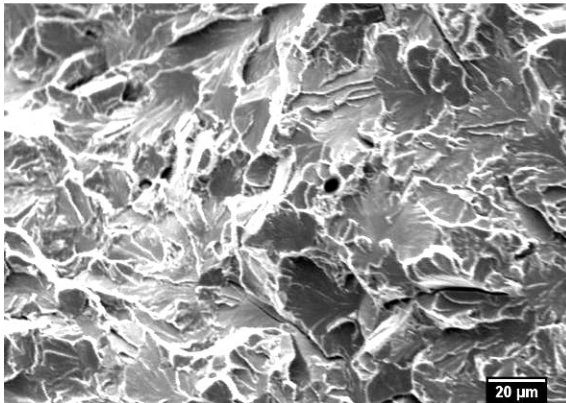
Morfológiu lomových plôch skúšobných teliesok – vzorky A1 a B1 sme hodnotili pomocou fraktografickej analýzy, ako je uvedené na obr. 8 až 11. Vzhľadom na mechanické vlastnosti základného materiálu koľajnice a dosaiahnuté hodnoty nárazovej práce, prevládajúcim typom porušenia bol krehký lom s transkryštalickým štiepením.



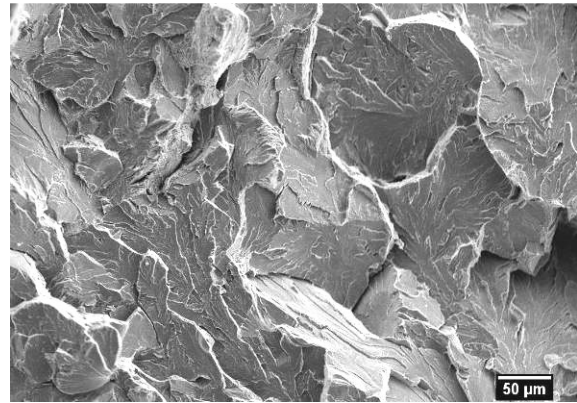
Obr. 8 Morfológia štiepnej lomovej plochy vzorky A1-I



Obr. 9 Povrch transkryštalického štiepneho lomu vzorky A1-I



Obr. 10 Porušenie štiepením vo zvarovom kove - vzorka A1-II



Obr. 11 Krehký lom s transkryštalickým mechanizmom porušenia v podhúsenicovej zóne vzorky B1-II

Záver

Podľa dosiahnutých výsledkov možno konštatovať, že rozborom makroštruktúry a mikroštruktúry vyhotovených návarov, overením mechanických vlastností pri zvolených režimoch navárania sa preukázalo ako priaznivé vylúčenie teploty predhrevu na vyhotovenie dvojvrstvého návaru. Využitím vlastného tepla, vneseného zvaracím zdrojom, voľbou medzihúsenicovej teploty a následným prežiháním podkladovej vrstvy krycou húsenicou, boli vyhotovené návary hornej pojazdovej plochy s vhodnou štruktúrou v prechodových oblastiach navarených vrstiev a teplom ovplyvnenej oblasti.

Pri použití zvaracieho materiálu s označením OK Tubrodur 15.43 sa dosiahla požadovaná hodnota tvrdosti na úrovni pod 400 HV (max. 324 HV). Táto sa môže zvýšiť mechanickým namáhaním v prevádzke, najmä ak sa jedná o krátke úseky s predpokladom dynamických rázov (až do 440 HV). V prípade vysokolegovaného zvaracieho materiálu OK Tubrodur 14.71 s austenitickou štruktúrou zvarového kovu sa dosiahla tvrdosť krycej vrstvy na úrovni 231 HV bez predhrevu, v prechode do podkladovej vrstvy bola maximálne 178 HV.

Z výsledkov návarových skúšok na vzorkách návarov s vylúčením predhrevu bol vypracovaný technologický postup navárania automatizovaným spôsobom na zariadení AUTOWELD 5000.

Pod'akovanie

Tento príspevok bol spracovaný s podporou projektu **VMSP-P-0020-09** „Zvyšovanie prevádzkovej spoľahlivosti a životnosti koľajníc vysokoproduktívnym naváraním“ príjemcu PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a.s. Bratislava.

Literatúra

- [1] JASENÁK, J. – ŽÚBOR, P. – KOLENO, A.: *Naváranie koľajníc obalenými elektródami a plneným drôtom. In: ZVÁRANIE-SVAŘOVÁNÍ. 2003. 52. ročník, č. 11-12, s. 250.*
- [2] Katalog přídatných materiálů pro svařování ESAB. 05/2011. ESAB VAMBERK, s.r.o. Vamberk.
- [3] Renovácia opotrebených srdcoviek, krídlových a kolenových koľajníc. Technologický predpis GR-ŽSR. 1996.
- [4] HLAVATÝ, I. – FOLDYNA, V. – KÚBEL, Z.: *Vlastnosti návarů a TOO provedených na různých typech kolejnic. In: Sborník XXIV. Dny svařovací techniky. Vamberk, ESAB Vamberk, 2000, s. 179. ISBN 80-02-01353-0.*
- [5] *Návrh technologického postupu navárania podľa STN EN ISO 15609. RW1-RW4. PRVÁ ZVÁRAČSKÁ, a.s. Bratislava. 2010.*