

SCIENTIFIC PAPERS
OF THE UNIVERSITY OF PARDUBICE
Series B
The Jan Perner Transport Faculty
5 (1999)

**ANALÝZA PŘÍČIN VZNIKU LOMŮ U PODBÍJENÝCH TRAMVAJOVÝCH
KOLEJNIC NAVAŘENÝCH AUSTENITICKÝM MATERIÁLEM TYPU
18%Cr-8%Ni-6%Mn**

Libor BENEŠ ¹⁾, Eva SCHMIDOVÁ ¹⁾, Jaroslav MENČÍK ²⁾

¹⁾ Katedra dopravních prostředků

²⁾ Katedra provozní spolehlivosti, diagnostiky a mechaniky v dopravě

1. ÚVOD

Předmětem posouzení, předloženého v tomto příspěvku, je analýza příčin, které vedly k výskytu řady lomů tramvajových kolejnic bezprostředně po jejich navaření a následném podbíjení.

Uvedený problém se projevil u žlábkové kolejnice (bezстыková kolej), na volné trati (v tomto případě nebyla použita záďlažba ani uložení koleje do asfaltové vozovky), v oblouku s poloměrem 160m.

Po cca 18-ti měsících provozu byly na daném úseku tratě zjištěny známky značného opotřebenění, což vedlo k rozhodnutí navařit pojezdovou hranu kolejnice. Navařování se provádělo v daných podmínkách standardně aplikovanou technologií navařování automatem od tavidlem, austenitickým materiálem typu 18%Cr-8%Ni-6%Mn, bez použití předehřevu [1]. Klimatické podmínky během navařování byly poměrně nepříznivé (teplota vzduchu 4°C, občasné přeháňky, později i přeháňky deště se sněhem).

Několik hodin po navaření (přes noc) byly zjištěny zhruba na 15-ti místech (na 80-ti metrech délky navařené kolejnice) v okolí návaru trhliny, k jejichž zavaření (po předchozím vybroušení) byla použita technologie ručního obloukového navařování s předeřevem.

Přibližně 2 týdny po navařování se na tomtéž traťovém úseku provádělo podbíjení štěrkového lože. Po této operaci se opětovně objevila řada trhlin, které však nekorespondovaly s již opravenými trhlínami po původním navaření. Šířením těchto trhlin došlo ke vzniku lomů napříč průřezem kolejnic, s typickým vybočením v oblasti přechodu ze stojiny do paty kolejnice (viz **obr. 1**).



Obr. 1: Průběh trhliny, která vychází z hlavy tramvajové kolejnice a směřuje napříč profilem s charakteristickým vybočením v oblasti stojiny kolejnice.

Lomové plochy měly křehký charakter. V podhousenkové oblasti (bezprostředně pod návarem) se objevují buď jeden, nebo dva barevně odlišné pásy (tvaru výseče mezikruží), které zjevně dokumentují jednotlivá stadia šíření lomu. Na hranici mezi návarem a základním materiálem byly identifikovány a dokumentovány trhliny o délce až 10mm, které svědčí o značném zkřehnutí podnávarové oblasti (viz **obr. 2**).

Rovněž v oblasti přechodu z hlavy do žlábků tramvajové kolejnice jsou zjevné podélné trhliny poměrně značné délky (viz **obr. 3**).

2. METODIKA ZKOUMÁNÍ

Po důkladném zvážení rozhodujících a spolupůsobících vlivů bylo přikročeno k analýze dodaných vzorků, odebraných z poškozených kolejnic.



Obr. 2: Lomová plocha poškozené tramvajové kolejnice s dobře patrnými podnávarovými trhlinami, tmavým pásem a závěrečným dolomením.



Obr. 3: Podélné trhliny v oblasti pod návarem nad dnem žlábků tramvajové kolejnice po provedené kapilární zkoušce.

Standardními postupy se vyhodnocovala makrostruktura a mikrostruktura v oblasti hlavy navařené kolejnice, zejména v blízkém okolí lomových ploch, včetně hodnocení mikročistoty a velikosti zrna.

Dále byla věnována pozornost zjištění chemického složení navařených kolejnic, měření tvrdosti (globální záběr) a mikrotvrdosti (lokální záběr) v systému kolejnice-návar. Na vybraném úseku navařené kolejnice byla provedena rovněž kapilární zkouška. Celý problém byl navíc konzultován s odborníkem z oblasti pevnosti a pružnosti.

3. ZJIŠTĚNÉ VÝSLEDKY

Materiálové rozborby byly provedeny na vzorcích, oddělených z dodaných kolejnic, na nichž byly identifikovány lomy procházející napříč celým profilem.

Zjištěné údaje jsou informativně shrnuty v následujících tabulkách a v dalším textu na přiložených mikrofotografiích.

3.1 Naměřené hodnoty chemického složení

Tab. 1 Chemické složení navařované kolejnice [hmotnostní %].

Prvek:	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Al
Obsah:	0,70	0,92	0,36	0,017	0,010	0,05	0,02	0,07	< 0,005

Experimentálně stanovené hodnoty chemického složení (naměřeno na optickém emisním spektrometru ARL 3100 RETB) odpovídají požadavkům platných materiálových norem a předpisů pro jakost kolejnicové oceli.

Potvrdila se však původní obava z problémů při navařování tohoto obtížně svařitelného materiálu, pramenící z vysoké hodnoty uhlíkového ekvivalentu C_e , pro jehož výpočet byl použit vztah:

$$C_e = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15 \quad (1)$$

Po dosazení hodnot z **tab. 1** do vztahu (1) získáme výsledek:

$$C_e = 0.85,$$

což jen potvrzuje oprávněnost obav ze zvýšeného sklonu k zakalení v teplem ovlivněné oblasti po svařování (navarování) a následkem toho i z tvorby opožděných trhlin v podnávarové zóně.

V těchto případech se jako nezbytné a běžně aplikované opatření doporučuje přehřev, tedy prevence výskytu shora uvedených defektů.

3.2 Naměřené hodnoty tvrdosti a mikrotvrdosti

Tvrdost, resp. mikrotvrdost, byly vyhodnocovány na příčných řezech navařenou kolejnicí v charakteristických oblastech metodou HV30, resp. HV0,5.

Hodnocení tvrdosti v linii kolmo k rozhraní materiálů podepřelo výsledky metalografických analýz. Byl zaznamenán rozhodující nárůst úrovně tvrdosti v tepelně ovlivněné oblasti pod poslední housenkou (lokálně až 571 HV30, resp. nad 600 HVm, přičemž přípustná limitní hodnota je 350 HV30).

3.3 Hodnocení makrostruktury a mikrostruktury

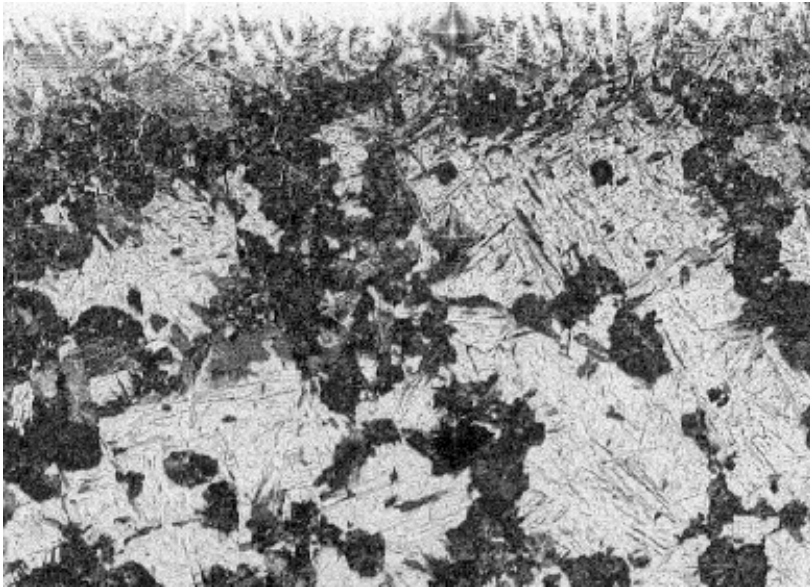
Makrostruktura navařené oblasti hlavy kolejnice v hodnocených příčných řezech, situovaných v blízkosti lomových ploch, neprokázala přítomnost defektů celistvosti kladených housenek a spoje se základním materiálem.

Mikrostrukturní pozorování bylo zaměřeno na oblast první kladené housenky, kde nebezpečí nadměrného promíšení obvykle znamená pro dané složení použitých materiálů (základní materiál versus návar) riziko vytvoření zón se složením samokalitelné oceli přímo v objemu návaru, resp. v teplem ovlivněné oblasti pod poslední housenkou, kde již nedochází k vyžihání vlivem navařování dalšího materiálu, a proto je zde i riziko výskytu křehkých strukturních složek vyšší.

Ze souboru provedených metalografických šetření lze usuzovat na značně rozdílné mechanismy tepelné expozice při navařování [2]. Zatímco teplem ovlivněná zóna v oblasti kořene návaru byla tvořena směsí perlitu, bainitu a izolovanými oblastmi martensitu, v horních partiích byl pozorován převážně martensit a troosit, viz **obr. 4**. Mikrostruktura návaru prokázala hrubou dendritickou stavbu, bez výraznějších projevů odmíšení. V kořenové housence lze místně identifikovat ostrůvky martensitu (popřípadě bainitu), vzniklého v důsledku vysokého promíšení kořenové housenky se základním materiálem.

Velikost zrna byla hodnocena podle ČSN 420462 s těmito výsledky: kolejnice vykazovala velikost zrna č.4 až 5, zatímco návar byl značně hrubozrný, v oblasti horní housenky pod č. 0, v oblasti kořenové housenky č.2 až 3.

Mikročistota byla hodnocena podle ČSN 420471 s těmito výsledky: stupeň znečištění nekovovými vměstky v oblasti kolejnice byl klasifikován jako č.2 až 2,5 (návar hodnocen nebyl). V kolejnici se objevují hlavně protažené sulfidické vměstky.



Obr. 4 Mikrostruktura teplem ovlivněné oblasti pod poslední housenkou, troostit a martenzit v interiéru zrn (zvětšení 200x).

4. ANALÝZA NAPĚTÍ A PŘÍČIN PRASKÁNÍ

Mezi možné příčiny praskání kolejnic patří zbytková napětí, vznikající v materiálu navařováním, a napětí způsobená ohýbáním kolejnic při vytváření oblouků a při podbíjení. Následující zjednodušená napěťová a pevnostní analýza má za účel ukázat přibližný význam jednotlivých činitelů.

4.1 Zbytková napětí po navařování

Svařováním se vždy vnesou do součásti pnutí. Vznikají proto, že chladnoucí žhavý materiál v oblasti svaru má tendenci ke smršťování, ovšem chladnější okolní materiál tomu brání. Pro náš případ mají význam dva druhy napětí: ve směru podélné osy kolejnice a ve směru radiálním (směrem od návaru do chladnějšího materiálu). Za předpokladu pouze pružných deformací jsou napětí σ přímo úměrná přetvoření (tj. poměrnému prodloužení ε):

$$\sigma = E\varepsilon \quad (2)$$

kde E je modul pružnosti materiálu. Předpokládáme-li, že chladná část kolejnice je mnohem tužší než objemově menší ohřátá oblast návaru, můžeme maximální možné pružné přetvoření v osovém směru v důsledku změny teploty odhadnout užitím vztahu:

$$\varepsilon = \alpha \Delta T = \alpha(T_1 - T_2) \quad (3)$$

kde α je délkový součinitel teplotní roztažnosti (ve zjednodušení uvažujeme jeho střední hodnotu pro interval $\langle T_2, T_1 \rangle$), ΔT je změna teploty, T_1 je počáteční teplota (resp. teplota,

od které již při dost rychlém ochlazení nestačí napětí relaxovat), a T_2 je konečná teplota, resp. teplota okolního materiálu. Dosazením do (2) dostaneme:

$$\sigma = E\alpha\Delta T \quad (4)$$

v našem případě se jedná o tahové napětí. Dosadíme-li odhadem $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$, $E = 210000 \text{ MPa}$ (ocel), $T_1 = 500^\circ\text{C}$ a $T_2 = 0^\circ\text{C}$, vyjde $\varepsilon = 0,6\%$ a osově napětí $\sigma = 1260 \text{ MPa}$. To je o dost více, než mez kluzu kolejnice, i více než mez pevnosti. Za normálních okolností napětí nedosáhne tak vysoké hodnoty, neboť při překročení meze kluzu dojde k vyrovnávání dalších deformací plastickým tečením materiálu, takže napětí se zvýší nad mez kluzu jen málo. Jestliže však v důsledku rychlého chladnutí svarového materiálu (odvodem tepla do chladné masivní části) vznikne někde v oblasti návaru tvrdá a křehká fáze (např. martensit), mohou napětí dosáhnout i uvedených vysokých hodnot, a popřípadě překročit mez pevnosti materiálu.

Maximální možnou velikost tahových napětí v radiálním směru v oblasti rozhraní mezi navařenou vrstvou a chladnějším okolním materiálem dostaneme z úlohy, kdy ohřátá oblast má kruhový, resp. válcový tvar o poloměru a , a je v radiálním směru zcela obklopena elastickým materiálem o poloměru b . Pro analogickou úlohu [3] vyplývá za předpokladu pružných deformací:

$$\sigma_r = E \frac{\delta}{a} \frac{b^2 - a^2}{2b^2} \quad (5)$$

kde δ je změna poloměru a . Pro případ masivního okolního materiálu ($b \gg a$) a změnu poloměru δ způsobenou změnou teploty ($\alpha \Delta T a$) dostaneme s přihlédnutím ke vztahu (3):

$$\sigma_r = E\alpha\Delta T / 2 \quad (6)$$

Pro uvažované hodnoty $E = 210000 \text{ MPa}$, $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$, $\Delta T = 500^\circ\text{C}$ dostaneme $\sigma_r = 630 \text{ MPa}$. To je dvakrát méně, než u napětí v osovém směru a odpovídající napětí v kolejnici s návarem budou pravděpodobně ještě poněkud nižší (teplejší oblast návaru není obklopena chladnějším materiálem v celém svém objemu). I tak budou tato napětí dosti vysoká. O jejich existenci a významu svědčí to, že trhliny, které se někdy vyskytnou na rozhraní tepelně ovlivněné oblasti, mívají tvar kruhové oblouku, v souladu s pravidlem, podle něhož se trhliny v křehkých materiálech šíří kolmo k maximálnímu tahovému napětí (zde radiálnímu).

4.2 Napětí vyvolaná ohýbáním a podbíjením kolejníc

Tato napětí vznikají při vytváření oblouků kolejí a při podbíjení. Obecně pro ně platí

$$\sigma = E \frac{z}{R} \quad (7)$$

kde R je poloměr zakřivení vnuceného kolejnici, a z je vzdálenost vyšetřovaného místa od neutrální osy průřezu. Odhadneme-li minimální možný poloměr křivosti kolejnice v oblouku $R = 60 \text{ m}$ a vzdálenost navařované oblasti od neutrální osy průřezu

(v radiálním směru oblouku kolejí) $z = 20$ mm, dostaneme pro $E = 210\,000$ MPa ohybové napětí $\sigma_{\max} = 70$ MPa. I když se tato napětí skládají se zbytkovými napětími od svařování, nejsou pravděpodobně hlavní příčinou vyšetřovaných lomů kolejnic (poloměr R je poměrně velký a navařovaná oblast je blízko neutrální osy).

Vyšší napětí však mohou v kolejnici vzniknout při podbíjení. Při rozteči vnitřních kol podbíječky l a maximálním průhybu kolejnice w můžeme ohybová napětí vyjádřit ve tvaru:

$$\sigma = E \frac{wz}{l^2} \Phi(l, l') \quad (8)$$

kde z je vzdálenost vyšetřovaného místa od neutrální osy (nyní ve svislém směru), a $\Phi(l, l')$ je bezrozměrná konstanta závisící na relativní poloze působišť sil, které kolejnici nadzvedávají; pro jednu sílu uprostřed mezi vnitřními koly podbíječky by bylo $\Phi = 24$ [4]; pro dvě síly to bude poněkud méně.

Neutrální osa se nachází zhruba uprostřed výšky průřezu kolejnice a maximální tahové napětí bude působit na hořejším povrchu (v oblasti návaru). Dosadíme-li $E = 210\,000$ MPa, $l = 6000$ mm, $w = 90$ mm, $z_{\max} = 180/2 = 90$ mm (předpokládaná výška kolejnice 180 mm) a $\Phi = 24$, dostaneme $\sigma_{\max} = 1134$ MPa, což je více než mez pevnosti běžné kolejnice. Nadzvednutí kolejnice w za normálních pracovních podmínek bude pravděpodobně nižší; mělo by být jen takové, aby v kolejnici při podbíjení nevznikaly trvalé (plastické) deformace. Pro mez kluzu 480 MPa tomu odpovídá $w = 38$ mm. (cca 4 cm).

Tato napětí se skládají se zbytkovými napětími od svařování. Za normálních okolností by jejich součet neměl příliš překročit mez kluzu, neboť by se nadměrné deformace měly vyrovnávat plastickým tečením. Jestliže ale v oblasti svaru vznikla martensitická struktura, může celkové napětí vysoce překročit i mez pevnosti materiálu.

4.3 Posouzení praskání navařených kolejnic podle lomové mechaniky

Je prokázáno, že při nevhodných podmínkách navařování vznikají v materiálu defekty typu trhlin. Jakákoliv (i malá) trhlina nebo podobná vada působí jako výrazný koncentrátor napětí a k jejímu šíření v křehkém materiálu může dojít i při jmenovitém napětí nižším než je mez pevnosti. Nebezpečnost trhliny se posuzuje pomocí tzv. faktoru intenzity napětí K_I . Podmínkou šíření trhliny je $K_I > K_{IC}$, kde K_{IC} je lomová houževnatost, což je materiálový parametr, závislý na druhu materiálu a jeho tepelném zpracování, ale také na teplotě. Pro malou penízkovitou trhlinu se faktor intenzity napětí počítá podle vztahu

$$K_I = 2\sigma \sqrt{\frac{c}{\pi}} \quad (9)$$

kde c je poloměr trhliny. Dosadíme-li do tohoto vztahu odhadem $c = 2$ mm, dostaneme, že kritické hodnoty faktoru intenzity napětí, odpovídající lomové houževnatosti kolejnice ($K_{IC} = 38$ MPa.m^{1/2}), bude dosaženo již při jmenovitém napětí $\sigma = 753$ MPa. S rostoucí

pevností a tvrdostí materiálu však jeho lomová houževnatost klesá, takže k šíření trhlinky by mohlo dojít i při napětí nižším.

Přítomné trhliny se ovšem mohou postupně zvětšovat i při poměrně malém střídavém namáhání (při průjezdech vozidel za běžného provozu), a to v důsledku únavy materiálu. K lomu kolejnice v takovém případě dojde až po mnohem delší době, opět až faktor intenzity napětí dosáhne kritické hodnoty. Únavové porušení lze identifikovat podle charakteristického vzhledu lomové plochy; rovněž je někdy možno odhalit výchozí materiálovou vadu.

4.4 Shrnutí

I když předložená analýza nedává přesnou odpověď (byly by potřebné získat zejména podrobnější údaje o vlastnostech materiálu při různých teplotách a stavech mikrostruktury), zdá se, že hlavní příčinou lomu kolejnic byla zbytková napětí při navařování spolu s napětími vyvolanými ohybem kolejnice při podbíjení.

Ze vztahů (4) a (6) je vidět, že zbytková napětí jsou tím větší, čím větší je rozdíl teplot žhavého materiálu (v okamžiku, kdy se začíná chovat jako pevný a pružný) a okolního chladného materiálu. Tato napětí lze výrazně snížit vhodným předehřevem. Například při předehřátí kolejnice na cca 100 °C se zbytková napětí sníží zhruba o 20%. Hlavní význam předehřevu však spočívá v tom, že se zpomalí ochlazování materiálu v oblasti navařování, a tedy vyloučí možnost vzniku tvrdé a křehké martensitické fáze.

V zakaleném materiálu mohou častěji vznikat různé malé trhlinky a podobné vady, které se při dalším namáhání budou v křehkém materiálu snadno šířit dále [5]. Navíc, u materiálu s vysokou tvrdostí je mez kluzu mnohem vyšší než u materiálu původního, takže všechna napětí se počítají. Je možné, že po navařování vzniklo v oblasti návaru více trhlín, o různé velikosti. V důsledku náhodných vlivů některé z nich pronikly až na povrch, a byly zjištěny a opraveny. Některé ze zbývajících skrytých trhlín se mohly rozrůst až při podbíjení, kdy došlo ke zvýšení celkového napětí, některé by mohly dosáhnout kritické velikosti až po značně dlouhé době běžného provozu.

Všeobecně lze doporučit předehřev při navařování, resp. v kombinaci s následujícím dohřevem [6, 7]. Pokud materiál bude mít dostatečnou houževnatost (resp. tažnost), vyrovnají se i poměrně vysoká napětí jeho plastickým tečením. Rovněž bude vhodné zkontrolovat, zda při podbíjení nedochází k nadměrnému prohýbání kolejnic a ke vzniku vysokých napětí.

5. ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ

Provedené šetření prokázalo poměrně značné snížení odolnosti proti křehkému porušení u hodnocené tramvajové kolejnice v důsledku zkřehnutí základního materiálu v podnávarové zóně, kde byla zjištěna přítomnost martensitu s tvrdostí až 571HV30.

Vzhledem ke klimatickým podmínkám v době navařování a s ohledem na rapidní pokles vrubové (lomové) houževnatost kolejnicové oceli při poklesu teploty (tzv. tranzitní

chování), došlo následně k výskytu trhlin, které vycházely ze zkrěhlé teplem ovlivněné oblasti a sledovaly směr kolmý k působícím tahovým napětím. Jedná se o tzv. opožděné (studené) trhliny, typické pro materiály obtížně svařitelné (tzn. s vysokým uhlíkovým ekvivalentem).

Dalším negativním faktorem bylo z tohoto pohledu následné podbíjení, při kterém se do již navařené kolejnice se skrytými trhlínami v oblasti pod návarem vnesla další, převážně tahová napětí (jednak vlivem ohybu při vyzvednutí podbíjeného úseku kolejového pole ze šterkového lože, jednak i vlivem přenášených rázových účinků při podbíjení). Zároveň se však neprokázal negativní vliv ohýbání kolejnic do oblouku s poměrně malým poloměrem na snížení odolnosti proti křehkému porušení.

Na základě těchto získaných výsledků a závěrů, doplněných stanoviskem odborníka z oboru pevnost-pružnost, lze předložit návrh opatření, která mají za cíl předejít výskytu lomů navařovaných kolejnic. Z hlediska zamezení vzniku nežádoucích křehkých mikrostrukturních složek (zejména martensitu) je potřebné před navařováním dosáhnout teploty předehřevu cca 300 - 350°C, v závislosti na obsahu uhlíku (s rostoucím obsahem uhlíku klesá teplota předehřevu). Zároveň je nutno při posuzování potřebného tepelného zásahu uvažovat vlivy:

- **technologické** - v daném případě je poměrně značné tzv. vnesené teplo vzhledem k aplikaci technologie navařování automaticky pod tavídkem, navíc tzv. dvojdrátem (svařovací proudy 400 - 480A, svařovací napětí 38V, rychlost svařování 15 - 20m/hod.)
- **klimatické** - v daném případě došlo vlivem nepříznivých povětrnostních podmínek při navařování (déšť, vítr, chlad) k nepříznivému odvodu tepla

Proto považujeme za nutné v případě navařování za chladu či deště použití předehřevu alespoň do výše cca 200°C. Před navařováním doporučujeme provést kapilární zkoušku na povrchu, určeném k navařování. Nepovažujeme za vhodné provádět podbíjení kolejnice, navařené bez aplikace předehřevu.

Tato doporučení je ovšem nutné doplnit řadou dalších experimentů, jimiž by bylo možné podložit předpokládané výsledky.

Lektorovala: Doc. Ing. Eva Münsterová, CSc.

Předloženo v lednu 2000.

LITERATURA

- [1] Hlavatý, I. - Foldyna, V. - Kúbel, Z.: Problematika navařování uhlíkových ocelí austenitickými návary technologií APT. In: Sborník přednášek odborného semináře „Svařování v železniční dopravě '99“, Univerzita Pardubice 1999, str. 63 - 71.
- [2] Foldyna, V. - Hlavatý, I. - Kúbel, Z.: Navařování vysokouhlíkových ocelí bez předehřevu. In: Proc. of the 20th International Welding Congress „Progress in Welding“, Vysoké Tatry - Stará Lesná 1999, pp. 364 - 372.

Libor Beneš, Eva Schmidová, Jaroslav Menčík:

- [3] Höschl, C.: Pružnost a pevnost II. Vysoká škola strojní a textilní, Liberec, 1992.
- [4] Krutina, J.: Sbírká vzorců z pružnosti a pevnosti. SNTL, Praha, 1962.
- [5] Lancaster, J.F.: Metallurgy of Welding. Abington Publishing, Cambridge (1999).
- [6] Žák, J. - Novák, M.: Teorie svařování, skripta VUT Brno (1988), 96-108.
- [7] Hrivňák, I.: Teória zvariteľnosti kovov a zliatin. Bratislava, VEDA (1989), 124-155.

Resumé

ANALÝZA PŘÍČIN VZNIKU LOMŮ U PODBÍJENÝCH TRAMVAJOVÝCH KOLEJNIC NAVAŘENÝCH AUSTENITICKÝM MATERIÁLEM TYPU 18%Cr-8%Ni-6%Mn

Libor BENEŠ, Eva SCHMIDOVÁ, Jaroslav MENČÍK

V příspěvku je podáno posouzení a analýza možných příčin výskytu lomů žlábkových kolejnic, které byly po 18-ti měsících provozu navařeny austenitickým materiálem typu 18%Cr-8%Ni-6%Mn a ve kterých se po navaření a následném podbíjení objevilo velké množství příčných prasklin, probíhajících přes celý profil kolejnice. Na základě provedených metalografických a fraktografických analýz a z porovnání naměřených hodnot základních mechanických vlastností lze za příčiny těchto lomů považovat jak defekty v samotné použité kolejnicové oceli, tak zvýšenou hladinu tahových napětí, vnesených při ohýbání svařených kolejnic do oblouku poměrně malého poloměru, při navařování austenitického materiálu (bez předehřevu a za nepříznivých klimatických podmínek) i při následném podbíjení předmětného úseku tramvajové tratě.

Summary

ANALYSIS OF FRACTURE OCCURRENCE IN CASE OF PACKED-UP TRAMWAY RAILS BUILT-UP WITH AUSTENITIC MATERIAL OF 18%Cr-8%Ni-6%Mn TYPE

Libor BENEŠ, Eva SCHMIDOVÁ, Jaroslav MENČÍK

The article deals with evaluation and analysis of presumable causes conducive to fracture occurrence in tramway rails, that were after 18 months of operation built up with the austenitic material of 18%Cr-8%Ni-6%Mn type. After surfacing and subsequent packing up the sleepers, we found enormous amount of cross shakes and failures passing through the whole rail profile. We take causes of the observed failures, on the basis of carried out metallographic and fractographical analyses and after comparing the measured values of mechanical properties, to be in consequence of defects in the used rail steel, increased level of tensile stress due to the rail roll bending (with relatively small truck curve radius), due to the building up with the austenitic material (without the preheating or post-welding heat treatment and during adverse weather conditions), as well as after the packing up on the objective tramway truck section.

Zusammenfassung

DIE ANALYSE DER URSACHEN DER BRUCHENTSTEHUNG BEI DEN UNTERGESTOPFTEN STRASSENBAHNSCHIENEN, DIE MIT DEM AUSTENITMATERIAL VON DEM TYP 18% Cr - 8% Ni - 6% Mn AUFGESCHWEISST WERDEN

Libor BENEŠ, Eva SCHMIDOVÁ, Jaroslav MENČÍK

In dem Diskussionbeitrag wird das Gutachten und die Analyse der eventuellen Ursachen des Vorkommens der Brüche von den Rillenschienen angeführt, die nach den 18 Monaten des

Betriebs mit dem Austenitmaterial von dem Typ 18% Cr – 8% Ni – 6% Mn aufgeschweisst wurden, und bei denen sich nach der Aufgeschweissung und nach der folgenden Unterstopfung grosse Menge solcher Querrisse erschienen ist, die über den ganzen Profil der Schiene verliefen. Auf dem Grunde der durchgeführten metallografischen und fraktografischen Analysen und von der Vergleichung der gemessenen Werte der elementaren mechanischen Eigenschaften kann man für die Ursachen dieser Brüche halten wie die Fehlstellen im verwendeten Schienenstahl, als auch das erhöhte Niveau der Zugspannungen, die in den Bogen relativ kleines Radius bei dem Aufschweissen des Austenitmaterials (ohne Vorwärmung und bei ungünstigen klimatischen Bedingungen) und bei der aufeinanderfolgenden Schwellenunterstopfung des entsprechenden Abschnitts der Strassenbahnlinie hineingetragen werden.