

SCIENTIFIC PAPERS  
OF THE UNIVERSITY OF PARDUBICE

Series B  
The Jan Perner Transport Faculty  
3 (1997)

RENOVACE KOLEJNICOVÉHO MATERIÁLU PRO MĚSTSKOU  
DOPRAVU

Eva SCHMIDOVÁ, Libor BENEŠ

Katedra dopravních prostředků

1. STÁVAJÍCÍ KOLEJNICOVÉ MATERIÁLY

Na kolejnicové oceli jsou kladeny vysoké požadavky. Musí dosahovat velkou odolnost proti rázům, tedy značnou houževnatost a současně vysokou odolnost proti opotřebení adhesivnímu i abrazivnímu. Nezanedbatelný je i korozní aspekt opotřebení. Dále se požaduje vysoká tvrdost, působící proti rozválnění hlavy kolejnice od značného specifického tlaku náprav. Má mít současně schopnost zpevňování za studena, čímž se zároveň samočinně zvyšuje uhlazení jízdní plochy hlavy kolejnice a zvyšuje tak odolnost proti opotřebení. Tvrdost lze tvářením za studena zvýšit u běžných ocelí o 30-40%, u speciálních manganových až přes 100%.

Velmi důležitá je u kolejnicové oceli homogenita v celém průřezu materiálu. Přitom se zvyšováním pevnostních charakteristik použitého materiálu se současně zvyšuje jeho citlivost proti povrchovým vadám.

Vývoj kolejových materiálů postupoval od ocelí pevnosti minimálně 600 MPa (asi do roku 1914) s relativně nízkým obsahem C (0,40 až 0,50%), stopovým obsahem křemíku a obsahem manganu do 1% [1]. Dosahovaly velmi nízkou houževnatost, především za záporných teplot. Následovalo zvyšování užitečných vlastností, především pro nejexponovanější traťové úseky a to cestou :

- ♦ zvyšování obsahu uhlíku, manganu a křemíku, popř.
- ♦ řízení tepelného režimu - zušlechtnění pojezdové hrany nejčastěji přímo z válcovací teploty.

V současné době patří mezi nepoužívanější kolejnicové materiály oceli na bázi Mn-C, jejichž mechanické vlastnosti, zejména pak odolnost proti opotřebení, odpovídá pevnostním stupňům, odvozeným od obsahu uhlíku v rozmezí 0,4 až 0,8 hm.%, resp. obsahu Mn od 0,75

do 1,7 hm.%. Kolejnice používané nejčastěji v západní Evropě odpovídají normě UIC 860; u nás jsou pro jejich výrobu běžně používané oceli 85 ČSD Vk a 95 ČSDB Vk podle **tab. 1** [2].

Podmínky UIC 860 kolejnicovou ocel rozlišují podle způsobu výroby a jakosti konečného stavu. Relativně nízké hodnoty rozhodujících statických i dynamických charakteristik (mez kluzu, vrubová houževnatost, tvrdost) u materiálů s obsahem uhlíku, příp. přísadových prvků blízkým minimálním hodnotám, jsou příčinou rychlého ojíždění kolejového svršku. Jedná se především o opotřebení pojezdových hran v exponovaných úsecích tratí, jako jsou oblouky, výhybky, přechody, rozjezdové a brzdné úseky a pod. U materiálů vyšších pevnostních skupin cca 800 až 900 MPa výrazně klesá vrubová houževnatost (20 až 40 J/cm<sup>2</sup>), především za nízkých teplot; tj. při -20°C až na hodnoty pod 10 J/cm<sup>2</sup>. Proto stoupá při mrazech velmi silně nebezpečí poruch kolejnic.

**Tab.1.** Typy nejčastěji používaných standardních kolejových materiálů

TYP	Chemické složení [%]				Mez pevn. [MPa]
	C	Mn	Si	Cr	
Banverket 800 UIC860	0,50 - 0,65	0,8 - 1,2	0,15 - 0,50	-	min 780
Grade 700	0,40 - 0,60	0,8 - 1,25	0,05 - 0,35	-	680 - 830
900A	0,60 - 0,80	0,8 - 1,3	0,10 - 0,50	-	880 - 1030
900B	0,55 - 0,75	1,3 - 1,7	0,10 - 0,50	-	880 - 1030
1100	0,60 - 0,80	0,8 - 1,3	0,30 - 0,90	0,80-0,90	min. 1080
85 ČSD Vk	0,55 - 0,75	0,75 - 1,35	max. 0,40	-	835 - 931
95 ČSD Vk	0,55 - 0,80	0,75 - 1,4	0,15 - 0,50	-	min. 932
Crossings UIC 866 AM-steel	0,9 - 1,3	11 - 14	0,4	-	670

Svařitelnost kolejnicových uhlík-manganových ocelí je obtížná. Vyžaduje přehřev základního materiálu nad teplotu tvoření martenzitu (Ms) a zabezpečení dostatečně pomalého ochlazování.

Na části kolejového svršku s vysokou požadovanou odolností proti opotřebení (především srdcovky kolejových výhybek) se stává čím dál populárnější použití litych manganových austenitických ocelí (UIC 866 - **tab. 1**). Ocel je tvářením za studena (výbuchem) zpevnitelná až o 100% a zachovává si výbornou houževnatost i při velmi nízkých teplotách. Náklady na její výrobu a případné svařování jsou však výrazně vyšší a jejich aplikace není prozatím na našich kolejových tratích rozšířená.

## 2. VÝVOJOVÝ KOLEJNICOVÝ MATERIÁL

Jako vysoce perspektivní řešení naznačeného problému se ukázala aplikace materiálu, vyvíjeného ve spolupráci Katedry dopravních prostředků - na dislokovaném pracovišti DFJP Česká Třebová, podniku DT výhybkárny a mostárny, s.r.o., Prostějov a Třineckých železáren a.s.

V rámci řešení výzkumné úlohy byl proveden průzkum charakteru opotřebení výhybek u sítí tramvajových tratí Dopravního podniku města Ostravy. Jeho součástí bylo vizuální posouzení a sejmutí tvaru profilu u vytypovaných výhybek. Prokázalo se nejvýraznější opotřebení pojezdové hrany boku hlavy kolejnic až k ostrohrannému profilu s tendencí tvoření

sekundárních žlábků. Vliv takového průběhu opotřebení na vedení vozidla v oblouku, bezpečnost proti vykolejení, či nadměrné opotřebení kol je dostatečně znám [3].

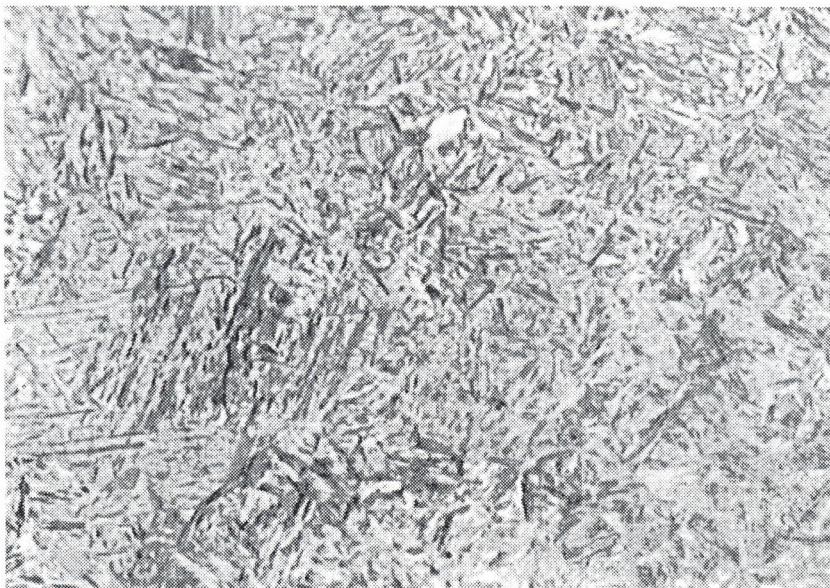
Vyvíjený materiál, pod pracovním označením Lo8CrNiMo dosahuje pro navrhované složení, technologii odlévání a následného tepelného zušlechťení výhodnou kombinaci sledovaných charakteristik.

Tvrдость naměřená po průřezu dává přepočtovou pevnost 1080 až 1100 MPa. Kolísá v úzkém intervalu, což svědčí o homogenitě struktury. Snížená tvrдость v patě kolejnice souvisela se slévárenskou vadou (nezatečený materiál).

Makrostruktura po hlubokém leptání byla bez vad a nehomogenit. Slévárenská vada v místě paty zkušebního odlitku vedla k úpravě nálitkování.

Mikrostruktura materiálu (*obr. 1*) je tvořena hrubším bainitem s menším podílem dendriticky orientovaného feritu. Vzhledem k chemickému složení materiálu lze usuzovat na vznik neizotermického bainitu řízeným ochlazováním odlitku po jeho ztuhnutí. Rozložení síry bylo prostřednictvím Baumanova otisku prokázáno jako stejnoměrné po celém průřezu profilu odlitku.

Optimalizace jednotlivých parametrů výroby uvedené lité oceli je předmětem dalšího výzkumu. Podobně tak i otázka svařitelnosti jednak samostatných dílců odlévaných výhybek, jednak hotových výhybek na náběžné kolejnici ze standardních materiálů a různých profilů.



*Obr. 1* Mikrostruktura lité oceli Lo8CrNiMo, zv. 100 x

### 3. NAVRHOVANÁ TECHNOLOGIE NAVAŘOVÁNÍ

Několik kusů zkušebních odlitků z výše uvedeného materiálu bylo jako ověřovací série položeno v různých úsecích tratě Dopravního podniku města Ostravy. Vzhledem k tomu souběžně s pokračujícím vývojem oceli Lo8CrNiMo - jejího uvolňovacího složení, technologie

lití a následného tepelného zpracování se ukázala potřeba řešení případného nadměrného opotřebení v předem lokalizovaných částech profilu.

Vycházelo se částečně ze zkušeností firmy ESAB s postupy a materiály, založenými na praxi Švédských drah. Přes různý původ a formu poškození jsou používány postupy oprav u různých vad obdobné. U poškození povrchu kolejnic se doporučuje provádět navařování dřívě, než hloubka opotřebení nebo deformace přesáhne hodnotu 6mm, koncům kolejnic je třeba věnovat pozornost, přesáhne-li opotřebení cca 2mm.

Jako prevence distorze po navaření se v trati používá uvolnění kolejnice a zvednutí pomocí klínů o 5-10mm v závislosti od objemu materiálu v místě poškození.

Pro zkušební návar byly použity vzorky materiálu Lo8 o délce 500mm, se simulovaným opotřebením odfrézováním 8mm rovnoměrně z hlavy kolejnic. Součástí experimentu bylo ověření vlivu tloušťky navařované vrstvy na promíšení základního a nanášeného materiálu. Proto se po délce vzorku nanášely housenky postupně v jedné, ve dvou a třech vrstvách.

### 3.1 Aplikace tvrdonávaru

Jako první experimentální metoda renovace sledovaného materiálu byla navržena technologie navařování elektrodou OK 83.28 (průměr 3,2mm). S ohledem na složení použité elektrody, základního materiálu (**tab.2**) a předpokládané promíšení se na zamezení vzniku křehkých fází v přechodové oblasti stanovila výše přehřevu. V celé průběhu zkušebního navařování byla sledována jak teplota podnávarové vrstvy, tak i interpass-teplota v kritických místech po délce vzorku. S ohledem na rozdílné podmínky odvodu tepla se jednalo především o oba konce kolejnice kontra oblast v jejím středu. V případě překročení předepsaného intervalu byl tepelný režim regulován dohřevem, popřípadě snížením tepelného příkonu.

Po vyhotovení požadovaných vrstev následoval celkový dohřev návaru, odstranění strusky z poslední vrstvy a pozvolné chladnutí na vzduchu. Izolační zábal nebyl u tohoto experimentu aplikován.

**Tab. 2** Chemické složení zúčastněných materiálů

Materiál	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	B
Lo8CrNiMo	0,12	0,89	0,49	1,94	2,83	0,53	0,007
OK 83.28	0,1	0,7	0,7	3,20	-	-	-
OK 67.45	0,1	6	0,5	18	8,5	-	-

### 3.2 Aplikace austenitického návaru

Jako druhá varianta navařovaného materiálu byla zvolena elektroda OK 67.45 (**tab. 2**). Takto vzniklá kombinace chemických složení a jim odpovídajících struktur podle výchozích předpokladů nevyžadovala přehřev. Pro budoucí aplikaci v trati je ovšem nutno přehřevem do 150 °C odstranit vlhko z volného povrchu koleje.

Samotný proces nanášení jednotlivých housenek spolu s regulací tepelného režimu probíhal podle stejného schéma jako u předešlé technologie.

Povrch zhotovených návarů byl ponechán bez úpravy na původní profil závěrečným broušením. Důvodem je záměr v rámci prováděných experimentů prověřit vliv vnějšího zatížení na tvrdost, resp. pevnost návaru.

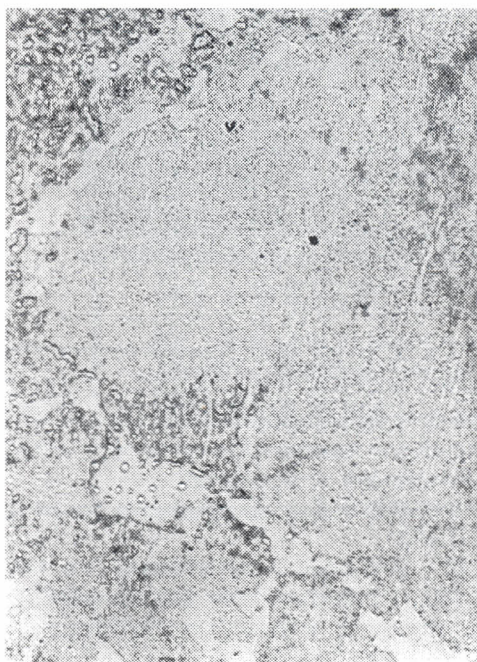
## 4. HODNOCENÍ NAVAŘOVANÉ VRSTVY

Z obou zkušebních vzorků, navařených popsányými technologiemi byly odebrány vzorky z příčných řezů kolejnic v místech různého počtu nanesených housenek. Jednotlivé návary o různých materiálech elektrod a počtu jejich vrstev byly podrobeny řadě analýz za účelem zhodnocení a vzájemného porovnání jakosti:

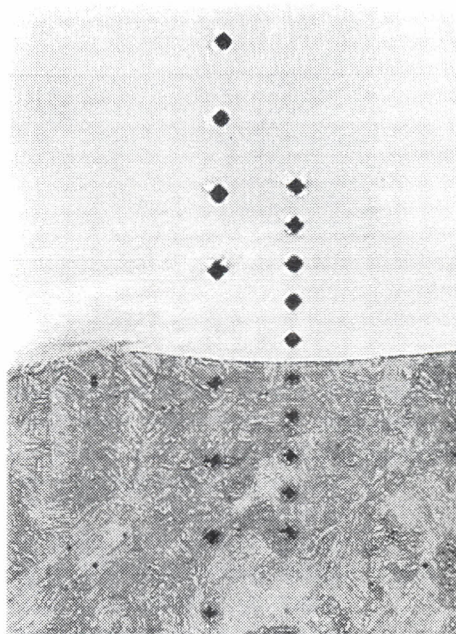
### 4.1 Metalografická hodnocení

Makroskopická pozorování prokázaly pro oba typy elektrod návar bez povrchových trhlin.

Na rozborech mikrostruktur byla sledována především celistvost jednotlivých návárů i odpovídajících přechodových vrstev. U žádného z odebíraných vzorků nedošlo k vytvoření trhlin za horka nebo některého z typů opožděných trhlin (*obr. 2, 3*).



**Obr.2** Mikrostruktura návarové vrstvy elektrodou legovanou Cr  
zv. 200 x



**Obr.3** Mikrostruktura přechodové oblasti navařené elektrody CrNiMn  
zv. 125 x

U návary elektrodou typu 18/8/6 CrNiMn dochází k prorůstání dendritů austenitických zrn skrz hranice jednotlivých housenek až k povrchu hlavy kolejnice (*obr. 4*). Zvyšuje se tím nebezpečí vzniku trhlin za tepla po hranicích dendritů za případného vyloučení karbidů v těchto kritických lokalitách. V oblasti austenitické struktury svarového kovu je zvýšená náchylnost na vznik trhlin za tepla v oblasti teplot nad 1200°C. Tento jev souvisí s velkými objemovými změnami austenitu při krystalizaci, kdy tekutá fáze smočí ztuhlé krystaly a vlivem

dilatačních změn se zvýšením tahového napětí ve svarovém kovu nestačí dostatečně rychle vyplňovat mezidendritické mezery. Případný vznik trhlin dále podporují segregáčnící pochody, kdy tvorba nízkotavitelných fází je příčinou poklesu kohézní pevnosti krystalů v poslední fázi tuhnutí [4], [5].



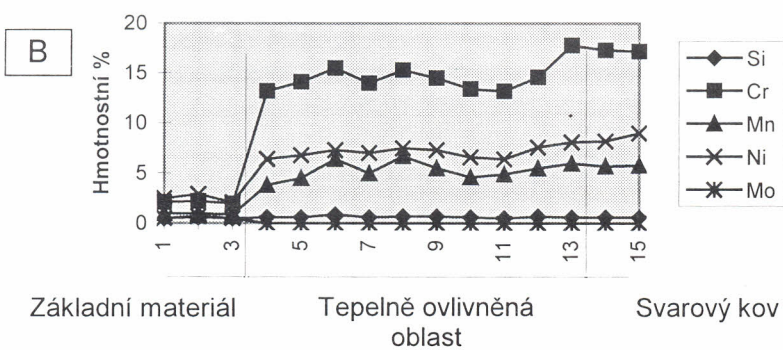
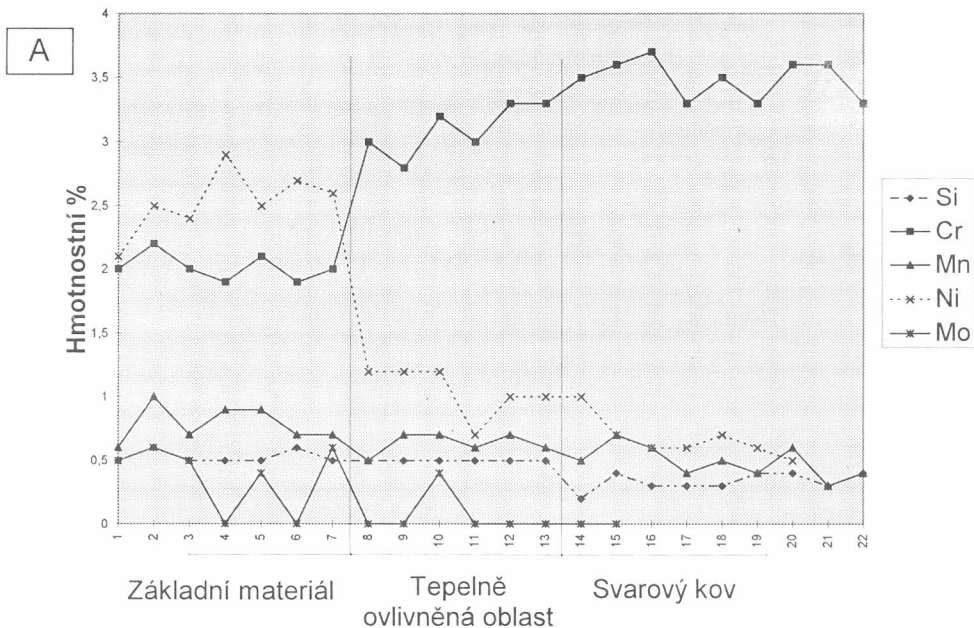
**Obr. 4** Dendritická stavba austenitických návarů, zv. 63 x

Předvídat náchylnost kowu k některému typu porušení vedle specifikace samotného charakteru převažující fáze lze prostřednictvím Schaefflerova diagramu, resp. řady parametrických rovnic. Vzhledem k různorodosti chemického složení a tím i odpovídajících fází základního a přídavného materiálu byla předběžně stanovená z uvedeného diagramu s uvažováním 50% zředění při svařování. Získané parametry poukázaly na:

- ♦ odolnost použitého austenitického návarového materiálu proti trhlinám za tepla, a oproti tomu na
- ♦ náchylnost k tvorbě opožděných trhlin, především u „tvrdonávaru“, na základě čeho byla stanovena potřebná výška předehřevu. Navařením austenitické elektrody, především u vícevrstvého návaru, tj. s klesajícím zředěním možnost vzniku trhlin za studena výrazně klesá.

#### 4.2 Liniové analýzy

Náchylnost k interkrystalickým trhlinám také výrazně stoupá s výškou návaru. S cílem vyhodnotit průběh skutečného promíšení a z toho vyvodit i probíhající segregáčnící pochody byla provedena liniová analýza obou návarů a to pro experimentálně kritický případ trojvrstvých návarů (**obr. 5**).



**Obr.5** Výsledky liniové analýzy návarových vrstev (použitý analytický rastrovací elektronový mikroskop JXA-840A) :

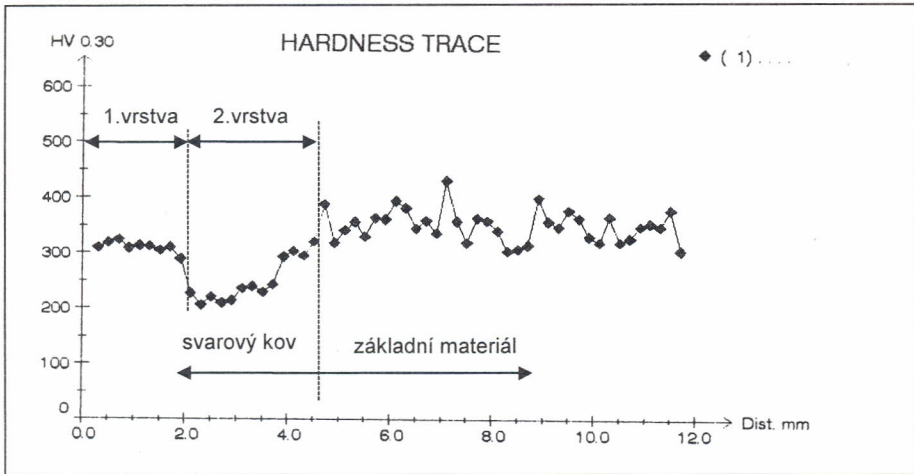
A - Cr-legov.návar, použitý krok rozborů 230  $\mu$ m

B - CrNiMn, použitý krok rozborů 220  $\mu$ m

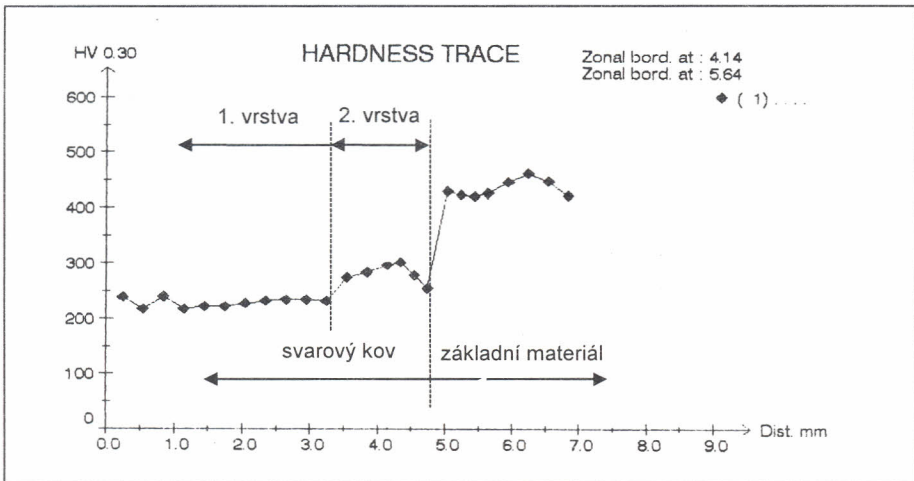
Prokázala se difuze prvků s odlišnou koncentrací ve srovnání základní materiál-návar. Přitom přechod základní materiál-teplem ovlivněná oblast se jeví jako pozvolnější pro použitou technologii s přehřevem.

### 4.3 Průběh mikrotvrdosti

Výchozím parametrem při hodnocení dosažených mechanických vlastností renovačních vrstev je průběh mikrotvrdosti příčně k návarům směrem od volného povrchu hlav kolejnic (**obr. 6, 7**). Uváděné hodnoty jsou naměřeny mikrotvrdoměrem LECO-400M při zatížení 0,3kg/15sekund.



**Obr. 6** Průběh mikrotvrdosti [HVm] pro „tvrdovávar“



**Obr. 7** Průběh mikrotvrdosti [HVm] pro austenitický návar

Podle **obr. 6** povrchová tvrdost „tvrdonávaru“ zhruba odpovídá tvrdosti základního materiálu. Výrazně se projevil pokles tvrdosti první housenky vlivem vyžihání housenkou následující. Je zde možno předpokládat, že první kladené housenky budou plnit funkci houževnatější mezivrstvy. Výslední průběh svědčí o vyhovujících vlastnostech návaru jak z hlediska potřebné pevnosti povrchu i houževnatosti přechodové vrstvy.

Průběh mikrotvrdosti austenitického návaru (**obr. 7**) dokumentuje výrazně nižší hodnoty u nanesené vrstvy v porovnání se základním materiálem. Tvrdost cca 230 HVm odpovídá deklarovaným hodnotám použité elektrody. Možné deformační zpevnění pro tento materiál se pak uvádí až do 500 HV, v závislosti především od typu vyozeného zatížení. Vzhledem k specifickosti namáhání pojezdem v trati se jako předmět dalšího zkoumání předpokládá



hledání způsobu optimálního zpevnění, popřípadě možnost dosažení požadované tvrdosti a tomu odpovídající pevnosti pouze namáháním od zatížení v provozu.

## 5. ZÁVĚR

Navařováním komponentů tratí, výhybek a pod., které podléhají největšímu stupni opotřebení, lze podstatně prodloužit životnost tratě.

Předložené první experimentální technologie renovace materiálu, vyvíjeného na katedře dopravních prostředků v České Třebové, má za úkol i při vysoké předpokládané odolnosti řešit předběžně jeho možné ojíždění. Výsledky dosažené v rámci této práce představují výchozí parametry pro jejich hodnocení. Z hlediska uváděných rozborů se jeví obě technologie jako vyhovující. Nezanedbatelným kritériem je i srovnání finanční náročnosti, kde je rozhodující srovnání nákladů na přídatný materiál versus náklady na nutný předeheřev. Toto spolu s dalším hodnocením především dynamických charakteristik představuje směr následujícího výzkumu.

*Lektoroval: Doc. Ing. Eva Münsterová, CSc.*

Předloženo v lednu 1998.

### Literatura

- [1] Drastík, F. - Baláček, V. - Till, B: Kovové materiály železničního provozu. Praha 1979, s. 93-99.
- [2] Kuběnka. et al.: Technologie firmy ESAB, s. 2-6.
- [3] Till, B. et. al.: Zvýšení užitečných vlastností a životnosti materiálů výhybek pro městskou dopravu. In: Výzkumní správa, listopad 1996, Česká Třebová, s. 2-4.
- [4] Žák, J. - Novák, M.: Teorie svařování, skripta VUT Brno (1988), s. 96-108.
- [5] Hrivňák, I.: Teória zvariteľnosti kovov a zliatin. Bratislava, VEDA (1989), s. 124-155.

### Resumé

## RENOVACE KOLEJNICOVÉHO MATERIÁLU PRO MĚSTSKOU DOPRAVU

Eva SCHMIDOVÁ, Libor BENEŠ

Příspěvek se zabývá problematikou renovace nejexponovanějších částí profilů tramvajových kolejí, odlitých z nově vyvíjené bainitické nízkouhlíkové oceli. Obsahuje návrh dvou variant materiálů a odpovídajících technologických parametrů pro případnou reprofilaci navařováním. Pro oba popsané experimenty hodnotí vyhotovené návrhy z hlediska dosažené tvrdosti, mikrostruktury a promíšení a na základě jejich výsledků usuzuje na možné směry dalšího výzkumu.

## Summary

### RENOVATION OF RAIL MATERIAL FOR URBAN RAILWAY SYSTEM

Eva SCHMIDOVÁ, Libor BENEŠ

The paper is aimed at the problem of renovating the most exposed parts of tramway rail profiles, that have been cast from the recently developmental bainitic low-carbon steel. The proposal of two materials alternations and corresponding technologic parameters for a prospective re-profiling are included. Presented investigations of the two hard surfacing technologies are based on microhardness, microstructure and mixing analyses. Taking the achieved results into consideration we can judge about the next research focusing.

## Zusammenfassung

### REPARATUR EINES FÜR DIE STRAßENBAHN SCHIENENMATERIALS

Eva SCHMIDOVÁ, Libor BENEŠ

Beitrag befasst sich mit der Reparatur der am stärksten exponierten Teilen von Straßenbahnschienenprofilen, die aus dem neuentwickelten bainitischen kohlenstoffarmen Stahl gegossen werden. Beitrag umfaßt einen Entwurf der zwei Materialvarianten und der dazu entsprechenden technologischen Parametr für die gelegentliche Reparatur durch Anschweißung. Es werden für beide beschriebenen Experimenten die gefertigten Anschweißungen bewertet, und zwar aus dem Sicht der erzielten Härte, Mikrostruktur und Vermischung. Auf Grund deren Ergebnisse werden die möglichen Tendenzen der weiteren Forschung beurteilt.