

Využití bainitické oceli v srdcovkách výhybek

Klíčová slova: *srdcovka, materiál Lo8CrNiMo, zkrácený monoblok, mezní stavy materiálu.*

Úvod

V železniční dopravě je jednou z nejdůležitějších částí výhybky srdcovka. Podle geometrického uspořádání jsou jednoduché, dvojité a s pohyblivými částmi. Podle konstrukčního uspořádání se používají srdcovky montované, jejichž součásti jsou vyrobeny ze širokopatných kolejnic a u některých se používají speciální srdcovkové profily. Další skupinou konstrukčního řešení, jsou srdcovky montované „zmonolitněné“, u kterých část součástí tvoří určitý kompaktní celek. Jako příklad můžeme použít řešení, kdy hrot srdcovky a navazující kolejnice jsou vzájemně svařeny a tento celek je společně s křídlovými kolejnicemi sešroubován. Poslední skupinu tvoří srdcovky monoblokové, kdy celá srdcovka včetně přípojných kolejnic tvoří kompaktní blok. Střed srdcovky je odlitek, ke kterému jsou přivařeny čtyři kolejnice. V současné době se používá odlitek s vysokým obsahem manganu. Přivaření kolejnic k tomuto odlitku je provedeno odporovým svařováním stykově s odtavením speciální technologií.

V železniční síti ČD jsou tratě rozděleny do šesti řádů, podle „výsledného přepočteného provozního zatížení koleje T_f v milionech hrubých tun za rok“. Stavbou železničních koridorů se i u ČD zvýšila rychlost na $160 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Podle stanovené rychlosti, podle ročního zatížení a nápravového zatížení, se určí vhodnost konstrukčního řešení srdcovky.

Josef Zbořil, Ing., nar. 1941. Absolvent VUT Brno, obor dopravní stroje a manipulační zařízení. Nyní v DT výhybkárna a mostárna spol. s r. o. Prostějov, vedoucí inženýr technického rozvoje.

Návrh bainitické oceli pro odlitky srdcovek

DT výhybkárna a mostárna spol. s r.o. Prostějov, rozhodla o zařazení vývojového úkolu „Bainitické oceli pro odlitky srdcovek“ již v říjnu roku 1996. Tento materiál spolu s řešením nové optimální trajektorie srdcovky se stává hlavním nosným výrobním programem srdcovek. Nově navržená trajektorie srdcovky vychází z profilu středně ojetého kola **ZI-3** a zabezpečuje neklesající a nezvedající se osu kola při přejezdu kola z křídlové kolejnice na hrot srdcovky. Dlouhodobou provozní stabilitu přesně navrženého, vyrobeného, tvarového a výškového opracování srdcovky, umožňuje navržený materiál. Pro komplexnost celého programu bylo nutno současně řešit odporové svařování stykové s odtavením, regeneraci a opravy navařováním.

Stanovili jsme si, že srdcovky z bainitického materiálu musí vyhovovat pro rychlosti do 200 km /hod. Zatížení na nápravu 25 tun. Musí odolávat vysokému kontaktnímu namáhání mezi kolem a kolejnicí. Materiál musí být svařitelný s běžnými kolejnicemi. Musí umožňovat regeneraci navařováním běžně používanými prostředky. Musí zajišťovat odolnost proti opotřebení, tvorbě převalků, odolnost proti křehkému lomu, v rozsahu provozních teplot používaných u evropských drah.

Po dlouhodobých experimentech s návrhem vhodného materiálu, který by splňoval požadavky zadání, byl navržen nový materiál pod označením „Lo8CrNiMo“, o chemickém složení:

C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	B	Alc	V	Ti	N	P	S
0,11	0,50	max	1,6	2,6	0,40	max	max	max	max	max	max	max
0,15	0,80	0,50	2,00	3,00	0,50	0,003	0,045	0,13	0,05	0,012	0,015	0,012

S následujícími mechanickými vlastnostmi:

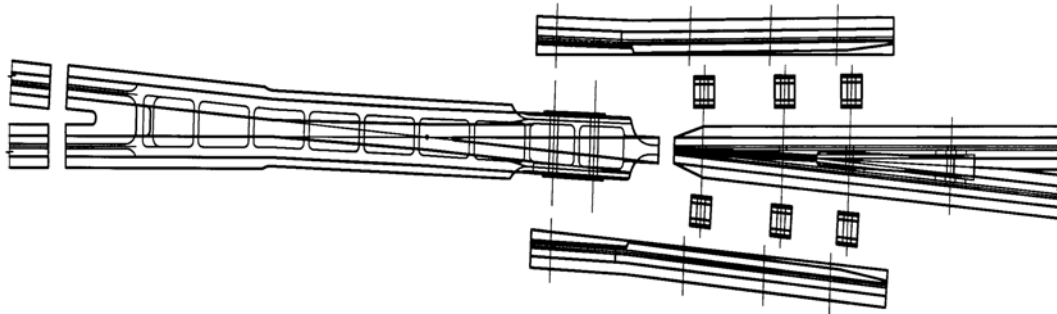
Rp0,2	840 MPa – 0,885 Rm
Rm	1050 – 1300 MPa
A5	min. 12%
Tvrдост	330 – 400 HB

Slévárna Třinec a.s., řešila problematiku modelování, slévárenství a tepelného zpracování odlitků pro zajištění stability procesu a požadovaných parametrů.

Posouzení únosnosti odlitku srdcovky.

Konstrukční řešení srdcovky je provedeno jako zkrácený monoblok. Celkové uspořádání srdcovky je na obrázku 1. Vlastní odlitek srdcovky, zkrácený monoblok, má odlehčení a směrem k výměně je zakončen dvěma profily kolejnic. K nim jsou přivařeny odporově stykově s odtavením přípojné kolejnice. V části směřující ke konci výhybky je

ukončen profilem podobným kolejnici se širší hlavou a stojinou. Zde jsou odporově stykově s odtavením přivařeny přípojně, podélným svárem svařené, hrotové kolejnice srdcovky. K takto vzniklému svařenci jsou přes vložky přišroubovány křídlové kolejnice. Při tomto konstrukčním řešení jsou nepojížděné. To znamená, že celý přechod kola při přejíždění žlábků z „křídlové na hrotovou“ část se uskutečňuje v oblasti bloku odlitku.



Obr. 1

Pro stanovení únosnosti byla vybrána srdcovka pro svršek UIC 60 a výhybku 1:12-500 pro koridorové tratě s rychlostí 160 km/hod. Rozdělení pražců v oblasti srdcovky je 613mm. Při posuzování únosnosti bylo postupováno podle připravované změny předpisu ČD S3, zpracovávané Doc. Ing. Krejčířikovou, CSc. Jelikož únosnost železničního svršku se posuzuje podle únosnosti kolejnic a jazyků, nadále budeme srovnávat získané hodnoty s výpočty kolejnic UIC 60, jakost materiálu UIC 900A.

Výsledné namáhání kolejnice [Pa] je:

$$\sigma = \zeta \cdot \sigma_Q + \sigma_t + \sigma_E$$

σ_Q - napětí v patě kolejnice od zatížení v [Pa]

σ_t - napětí od teploty v [Pa]

σ_E - vnitřní napětí vznikající při výrobě v [Pa]

ζ - koeficient vlivu zakřivení kolejnice v oblouku (1,15 - 1,30)

$$\sigma_Q = \gamma \cdot \frac{M}{W_X}$$

kde : M – ohybový moment

W_X – průřezový modul kolejnice

γ – dynamický součinitel

Velikost napětí pro největší teplotní rozdíl (58°C) dosahuje až 145 MPa

Velikost napětí vznikajícího při výrobním procesu dosahuje až 200 MPa

Velikost napětí od zatížení při průjezdu v přímém směru, při smíšené osobní a nákladní dopravě, (do odbočky menší rychlost) je cca 75 MPa

Celkem tedy cca – 420 MPa

Výsledné napětí musí odpovídat mechanickým vlastnostem pro danou jakost oceli.

Pro jakost materiálu 900A platí:

$$R_m = 880 \div 1030 \text{ MPa}$$

$$\sigma \leq \frac{(0,5 \div 0,6) \cdot R_m}{\varrho} \cong 420 \text{ MPa} \quad (1)$$

kde : ϱ – je součinitel bezpečnosti 1,15

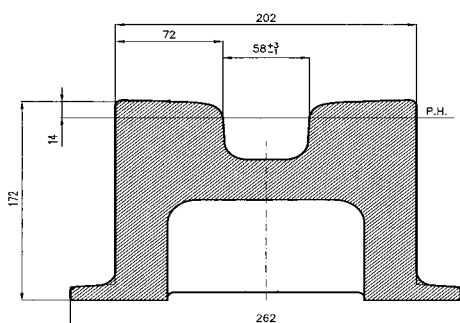
- číselník tohoto zlomku je prakticky mez kluzu dané oceli.

Únosnost kolejnice je zaručena, jestliže je splněna podmínka rovnice (1)

Z výpočtu je patrné, že napětí v patě kolejnice od zatížení, při stejném stavu svršku a provozu, je ovlivněno velikostí průřezových modulů W_X .

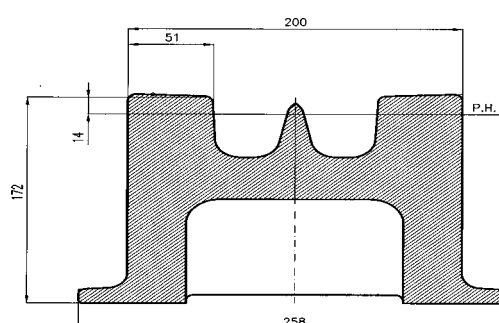
Pro posouzení odlitku srdcovky, jsme porovnali průřezové moduly v jednotlivých řezech a stanovili kritický průřez. Z náčrtků č. 2. a č. 3 vyplývá, že kritickým je profil kolejnice UIC60 na přední části odlitku, kde modul průřezu $W_X = 332 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$

$$W_X = 496 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$



Obr. 2

$$W_X = 479 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$



Obr. 3

Z výpočtu vyplývá, že napětí od zatížení činí cca jen 20% maximálně možného výsledného napětí namáhání kolejnice..

Pro ocel Lo8CrNiMo, která má mez kluzu min. $R_{p0,2} = 840 \text{ MPa}$ by podle rovnice (1) mohlo být výsledné namáhání kolejnice, při součiniteli 1,15 $\sigma \leq 730 \text{ MPa}$.

Můžeme tuto podmínku podle rovnice (1) vyjádřit také tak, že součinitel bezpečnosti dosáhne hodnoty přes 2,00. Z tohoto porovnání oceli jsou patrné značné rezervy navrženého materiálu v porovnání s kolejnicovou ocelí UIC900A.

Ověřování odporového svaru stykového s odtavením.

Jak již bylo uvedeno, k opracovanému odlitku srdcovky z materiálu Lo8CrNiMo jsou přivařeny přípojně kolejnice a přípojně hrotové kolejnice srdcovky z materiálu UIC 900A. Ověření svaru těchto dvou rozdílných materiálů prováděl Výzkumný ústav železniční. Byla provedena zkouška kolejnic statickým ohybem (tříbodovým) u tří vzorků. Zkouška byla prováděna podle předpisu ČD S 3/5. Vzdálenost podpor 1000 mm, odporový svar uprostřed rozpětí, síla působí uprostřed, profil kolejnice UIC60. Dosažené síly při lomu kolejnic byly 1560 až 1624 kN a vyhovují předpisu ČD. Dosažený průhyb 20 až 23 mm při lomu je vyhovující, s ohledem na podmínky průhybu stanovené v předpise ČD S 3/5 pro běžné kolejnicové materiály, např. jakosti 900A, které mají v místě svaru srovnatelnou mez kluzu ($R_{p0,2}$). V našem případě se jedná o dva materiály spolu svařené, které mají výrazně odlišnou mez kluzu.

Dále byly prováděny únavové zkoušky odporového svaru na třech zkušebních vzorcích, dynamická zkouška v ohybu (čtyřbodový ohyb), podle předpisu ČD S 3/5. Opakované namáhání $\sigma_{o \max} = 200$ MPa, $\sigma_{o \min} = 50$ MPa, počet cyklů $2,1 \cdot 10^6$. Všechny vzorky vyhověly podmínkám předpisu.

Zkoušky tvrdosti na příčných průřezích kolejnic, jak z materiálu 900A, tak z materiálu Lo8CrNiMo, byly měřeny v souladu s ČSN ISO 6508. Směrodatná odchylka souboru naměřených hodnot tvrdosti HRC činí u materiálu 900A $s = 1,310$ HRC a u materiálu Lo8CrNiMo $s = 0,790$ HRC. Materiál odlitku srdcovky tedy vykazuje vyšší homogenitu než běžně užívaný kolejnicový materiál.

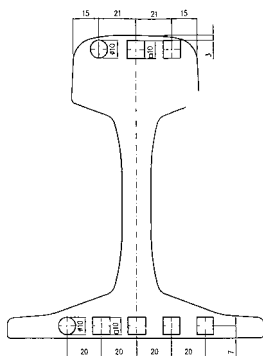
Výsledky metalografického posouzení – mikrostruktura základního materiálu odlitku srdcovky je vyhovující. Zjištěná lokalita výskytu jemného jehlicovitého martenzitu, v oblasti odporového svaru, není pro únosnost spoje kolejnice – odlitek srdcovky nebezpečná.

Odolnost materiálu Lo8CrNiMo proti křehkému porušení.

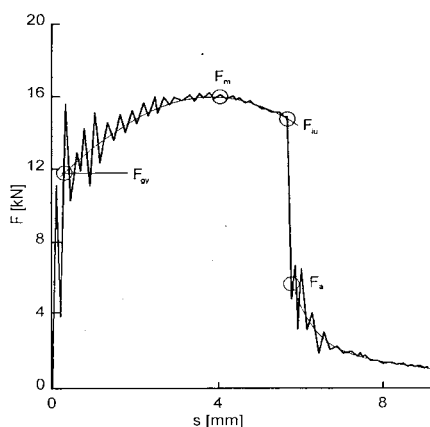
Nekovové částice v ocelích, obecně nečistoty, mají vliv na mechanické vlastnosti ocelí zvláště v případech, kdy jsou ocelové výrobky zatíženy rázovým nebo kmitavým zatížením. Pro běžné typy ocelí existují standardy, podle kterých se klasifikují nečistoty a jejich

povolené množství. U materiálu Lo8CrNiMo se jedná o speciální legovanou ocel tepelně zušlechťenou na bainitickou strukturu a navíc použitou ve formě odlitku. V současné době neexistuje pro tuto ocel standard ve vztahu k nečistotám. Z těchto důvodů jsme se rozhodli neexistující standardy nahradit posouzením vlivu nečistot na křehkolomové chování odlitku srdcovky z materiálu s bainitickou strukturu. Zkoušky byly prováděny na renomovaném pracovišti Ústavu fyziky materiálů Akademie věd ČR v Brně. Zkoušky probíhaly za teplot + 20°C a – 20°C a měly stanovit odolnost tohoto materiálu proti křehkému porušení, respektive proti iniciaci náhlého nestabilního lomu. Dále jsme porovnávali dosažené výsledky s kolejnicovým materiálem jakosti 900A.

Z běžně dodávaných kolejnic jakosti 900A a odlitků z materiálu Lo8CrNiMo byla vyrobena zkušební tělesa pro zkoušky rázem v ohybu podle Charpyho (ČSN EN 10 045), pro zkoušky tahem (ČSN EN 10002), měření lomové houževnatosti při statickém a dynamickém zatěžování při použití zkušebních tyčí typu Charpy (ČSN 42 0347, ASTM E 1820-99a) a místo V- vrubu byla opatřena únavovou trhlinou, připravenou cyklickým zatěžováním. Zkoušky se prováděly na desítkách zkušebních těles, odebíraných z předem určených míst po profilu kolejnice obou materiálů, jak je znázorněno na obrázku 4. Pro úplnost informací, o vyšetřovaných materiálech bylo provedeno metalografické vyšetření struktur zkoušených ocelí.



Obr. 4



Obr. 5

Při zkoušce rázem v ohybu, se současně s měřením nárazové práce (KV) zaznamenávaly závislosti síla (F), a přemístění (s) v průběhu rázu (průhyb) (viz norma ISO 14 556). Na obrázku 5 je ukázka záznamu těchto veličin v grafu u instrumentovaného kyvadlového kladiva. Charakteristické body v grafu:

(F_{gy}) – síla určená v tranzitním bodě přechodu z lineární části do křivkové (nelineární) části. reprezentuje sílu , při níž nastává okamžik zplastizování průřezu pod vrubem.

(F_m) – maximální síla v diagramu

(F_{iu}) – síla v okamžiku náhlého poklesu síly v diagramu. Definiuje okamžik nestabilního šíření lomu.

(F_a) – síla v okamžiku zastavení nestabilního šíření lomu.

Ve standardech ISO 14 556 jsou uvedeny typy záznamů a jejich označení, které lze obecně při instrumentované zkoušce získat a které reprezentují lomové chování od výrazně křehkého porušení (záznam typu A) až po zcela tvárné porušení (záznam typu F).

Lomová houževnatost se měřila při statickém a dynamickém zatěžování. Při vyhodnocování záznamů ($F - s$) byly použity následující standardy – bývalá ČSN 420347, ASTM Standard E 1820-99a, ČSN EN ISO 12737, ASTM standard E1921-97.

Výsledky zkoušek a jejich hodnocení jsou uvedeny v následujících tabulkách. Pro velký rozsah měření a získaných údajů, budou uvedeny charakteristické výsledky měření pro danou zkoušku a jakost materiálu. Charakteristické veličiny při zkoušce tahem jsou v tabulce na obr.6. Kromě zásadních rozdílů v porovnání ($R_{p0,2}$ a R_m) , můžeme porovnat odolnost proti porušení (okamžik přetržení zkušební tyče), charakterizovanou veličinami (R_f a ϵ_f) , které vyjadřují mezní hodnotu deformovatelnosti a odolnosti proti porušení daného strukturního stavu. Napětí $R_f = F_f / S_u$ reprezentuje napětí pro okamžik porušení v místě krčku zkušební tyče (F_f je síla a S_u je průřez v okamžiku přetržení). Veličina ϵ_f , reprezentuje skutečnou hodnotu poměrné tahové deformace v krčku v okamžiku přetržení ($\epsilon_f = 2 \ln(d_o/d_u)$)

	UIC 900A + 20°C	Lo8CrNiMo + 20°C	Lo8CrNiMo - 20°C
d_o -mm	6	6	6
R_{p0,2} - MPa	525	940	940
R_m -MPa	953	1150	1150
R_f -MPa	1220	1750	1610
A₅ -%	16	12	12
Z -%	27	53	48
ε_f - %	32	70	66

Zkouška tahem ověřovala a doplňovala deklarované mechanické vlastnosti obou materiálů.

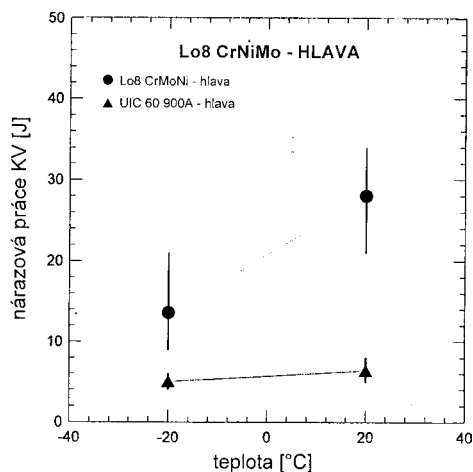
Obr. 6

Výsledky měření nárazové práce (KV) , charakteristických sil a plastického přemístění v okamžiku lomu jsou uvedeny v tabulce na obrázku č.7. V tabulce jsou uvedeny vypočtené střední hodnoty nárazové práce ($KV_{stř}$) a uvedeny typy záznamů ($F - s$) při

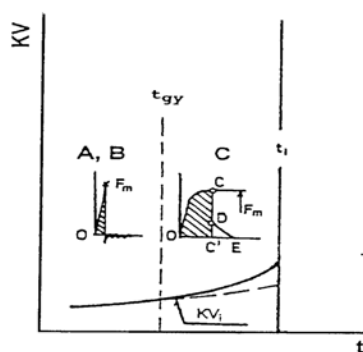
porušení (standard ISO 14 556). Střední hodnoty ($KV_{stř}$) jsou vyneseny v grafu, na obr.8, pro zkušební tyče z hlavy kolejnic obou ocelí.

Označení mater.	Teplota °C	$KV_{stř}$ J	F_{gy} kN	$F_m = F_{iu}$ kN	$S_{mp} = S_{iup}$ mm	Typ Záznamu
UIC 900A	+20	6,4	-	16,7	0,00	A
Lo8CrNiMo	+20	28,0	22,9	26,2	0,41	C
UIC 900A	-20	5,0	-	16,0	0,00	A
Lo8CrNiMo	-20	13,6	24,0	25,3	0,09	C

Obr. 7



Obr. 8



Obr. 9

Koncové body vyznačených úseček v obrázku 8, udávají nejnížší a nejvyšší naměřené hodnoty (KV) při zkušební teplotě $-20^{\circ}C$ a $+20^{\circ}C$. Z tabulek a obrázků vyplývají závěry o lomovém chování obou ocelí a očekávané odolnosti proti křehkému porušení. U oceli Lo8CrNiMo lze očekávat výrazně vyšší odolnost proti vzniku křehkých lomů ve srovnání s odolností proti vzniku křehkých lomů u oceli UIC 900A. Při teplotě $-20^{\circ}C$ odolnost oceli Lo8CrNiMo proti vzniku křehkých lomů poklesla, ale stále je podstatně vyšší, než u oceli UIC 900A.

Na obr.9 jsou vyznačeny typy záznamů (F-s) pro oblast pod teplotou (t_i) – lom je iniciován u kořene V-vrubu přímo štěpným (kvazištěpným) mechanismem. Tuto oblast lze tranzitní teplotou, označenou (t_{gy}), rozdělit na dvě podoblasti, a to podle typu záznamu na

oblast s typem záznamu (C) a na oblast s typem záznamu (A, B). Oblast nad (t_{gy}) je oblast semikřehkých lomů, to je křehkých lomů, nastávajících po úplném zplastizování průřezu pod vrubem. Oblast pod teplotou (t_{gy}) je oblast výrazně křehkých lomů. Z tabulky na obr.7 a z obr.9 je patrné, že kolejnice jakosti UIC 900A se při obou teplotách nachází v oblasti výrazně křehkých lomů.

Vypočtené hodnoty statické lomové houževnatosti pro materiál jakosti UIC 900A a Lo8CrNiMo, zkušební tělesa odebraná z hlavy kolejnice, jsou uvedeny v tabulce na obr.10.

Jakost mater.	Teplota °C	F kN	K_C MPa.m ^{1/2}	K_{JC} MPa.m ^{1/2}	$R_{p0,2}$ MPa	R_m MPa	σ_{on} MPa
UIC900A	+20	2,9	34,8	-	525	900	176
UIC900A	-20	2,7	32	-	525	900	162
Lo8CrNiMo	+20	7,9	-	120,8	970	1242	473
Lo8CrNiMo	-20	6,2	76,4		970	1242	379

Obr. 10

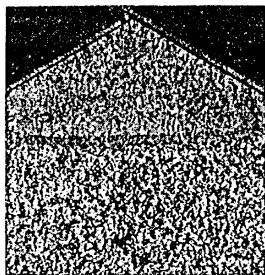
Vypočtené hodnoty dynamické lomové houževnatosti pro oba materiály jsou v tabulce na obr.11.

Jakost mater.	Teplota °C	F kN	K_{Cd} MPa.m ^{1/2}	K_{Jd} MPa.m ^{1/2}	$R_{p0,2}$ MPa	R_m MPa	σ_{on} MPa
UIC900A	+20	3,3	42,2	-	525	900	198
UIC900A	-20	2,9	36,4	-	525	900	177
Lo8CrNiMo	+20	7,5	-	98,7	970	1242	450
Lo8CrNiMo	-20	6.8	-	87,3	970	1242	409,9

Obr. 11

Na obr. 12, 13,14, je morfologie lomů těles typu Charpy s trhlinou, porušených dynamicky při teplotě -20°C. Na obr.12 se jedná o materiál UIC900A, (K_{cd}) = 26,8 MPa.m^{1/2}.

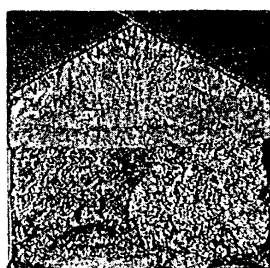
Na obr.13 je materiál Lo8CrNiMo, (K_{Jd}) =98,5 MPa.m^{1/2}. Na obr.14 je materiál Lo8CrNiMo, (K_{Jd}) = 67,4 MPa.m^{1/2}. Na obr. 16 diagram hodnot lomové houževnatosti při statickém zatěžování, pro oba materiály, v závislosti na teplotě. Na obr.17 je diagram hodnot lomové houževnatosti při dynamickém zatěžování, pro oba materiály, v závislosti na teplotě.



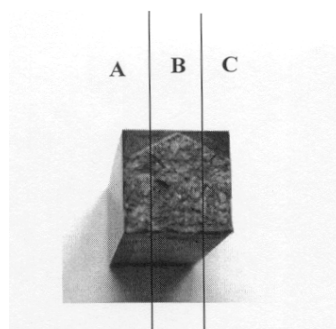
Obr. 12



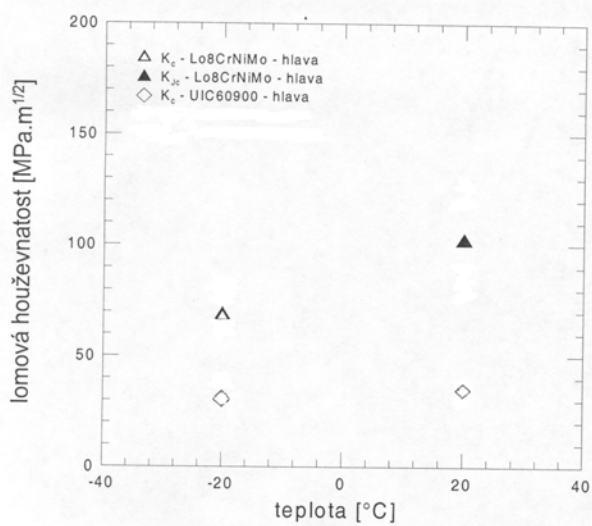
Obr. 13



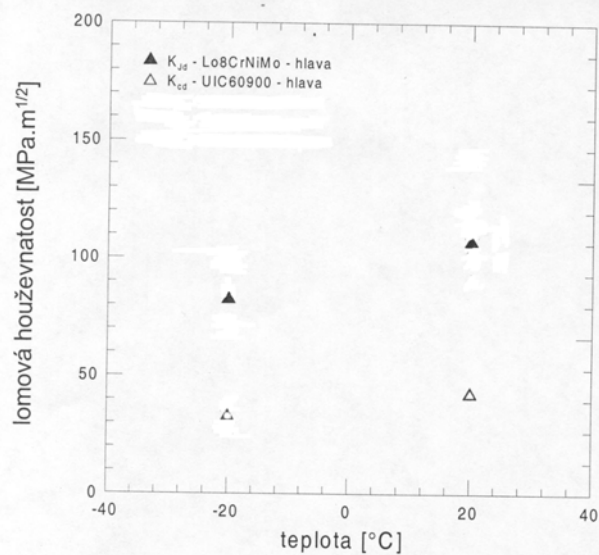
Obr. 15



Obr. 16



Obr. 16



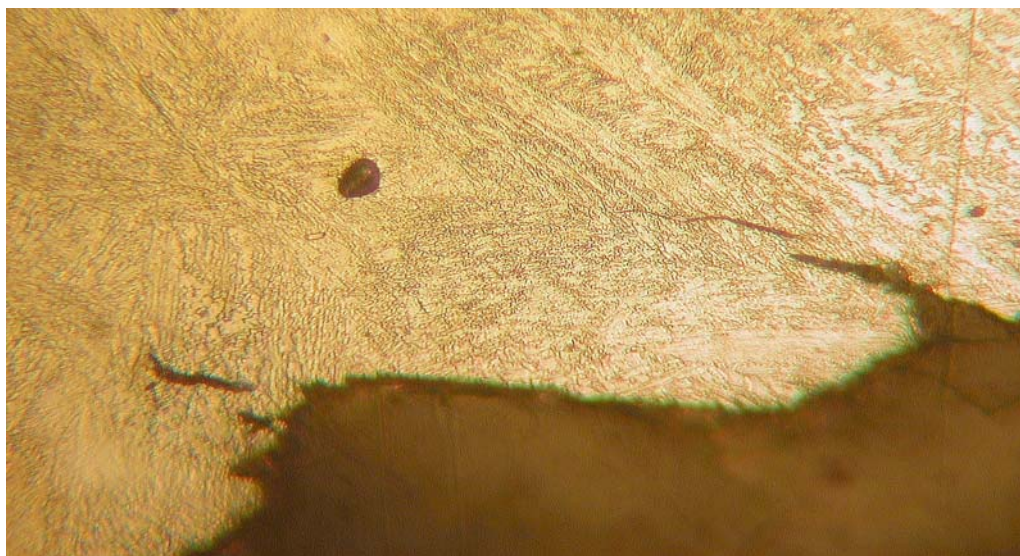
Obr. 17

Prověřovali jsme, jaký vliv na rozptyl naměřených hodnot mají nečistoty, i když rozptyl naměřených hodnot je zákonitou vlastností lomové houževnatosti. Pro vyhodnocení

jsme využili zkušebních těles použitých pro měření lomové houževnatosti, u kterých jsme znali mechanické charakteristiky.

Hodnocení mikročistoty odlitků z oceli Lo8CrNiMo.

Na základě rešerší k hodnocení mikročistoty ocelí, je možné konstatovat, že v současné době není k dispozici standard, pro hodnocení nečistot. Ze zkušebních těles lomové houževnatosti byla vybrána série vzorků odpovídající jednotlivým extrémním hodnotám (K_c , K_J), pro metalografické hodnocení. Cílem metalografických analýz bylo stanovit případné lokální strukturní závislosti objemu materiálu blízkého čelu postupující trhliny. Oblast cca 0,5mm od lomové plochy. Vyšetření bylo zaměřeno na možné vlivy : odmíšení pravděpodobně legujících prvků po hranicích původních austenitických zrn, nečistot distribuovaných v bezprostřední blízkosti lomové plochy, případných licích vad, změny (deformace) mikrostruktury vlivem lokálních extrémů napětí na čele trhliny, rozdílu charakteru lomu (ve smyslu členitosti) jednotlivých vzorků v závislosti na rozdílech (K_{cd}). Z každého vzorku pro lomovou houževnatost byly připraveny 3 řezy pro metalografická pozorování podle obr. 15.



Obr. 18

Na obr. 18 je mikrostruktura pod lomovou plochou, zvětšeno 400x.

Lomová plocha se na provedených příčných řezech jevila jako členitá, bez oblastí viditelné mikroplastické deformace v blízkosti čela postupující magistrální trhliny. Sekundární trhliny, které by navazovaly na vměstky v bainitické oceli Lo8CrNiMo, nebyly pozorovány. Průběh lomu je v převažující části lomových ploch všech pozorovaných vzorků

členitý. Podíl srovnávaných oblastí, tj. oblastí s vyšší a nižší členitostí lomu, neodpovídá jednoznačně rozdílům hodnot dynamické lomové houževnatosti.

Žádná z identifikovaných nečistot nebyla prvotní příčinou lomu zkušebních tyčí a rovněž nebyla ani sekundárním ohniskem pro změnu orientace magistrální trhliny probíhajícího lomu.

Hodnocení struktury a mikročistoty bylo uskutečněno na vzorcích, odebraných ze tří odlitků (různých taveb) a odebraných po průřezu profilu z oblastí hlava, stojina a pata. Bylo odebráno a vyhodnoceno 28 vzorků. Jak již bylo uvedeno, není k dispozici standard pro hodnocení úrovně znečištění litých ocelí. Proto byla zvolena metodika podle normy ST SEV 40 7783 (ČSN 420471), která platí pro tvářené oceli, a představuje daleko přísnější kritéria. Výsledky hodnocení typů vměstků, ze všech vzorků byly srovnatelné.

Stanovení kritické hloubky trhliny v závislosti na napětí (σ) při teplotě (-20°C)

V souladu se směrnici - CEN TC256/WG4/9/2, Second Draft, Febr. 96, Railway application track heavy rails, Part 1.: Flat bottom symmetric railway rails – 46kg and above. Annex I, Standard test method for determination of fracture toughness K_{IC} of rails. - byla vyrobena z hlavy profilu kolejnice zkušební tělesa o rozměru 45x25x225mm. Rovina trhliny byla kolmá k podélné ose a směr šíření trhliny byl dovnitř tělesa kolejnice. Rozměr 45mm byl rovnoběžný se svislou osou profilu kolejnice. Lomová houževnatost byla stanovena v souladu se směrnicí při - 20°C s přesností 1°C. Při vyhodnocování záznamů bylo již přihlédnuto k revidované verzi normy ASTM E399-97E. Pro ocel Lo8CrNiMo byla hodnota (K_{IC}) změřena a vypočtena, pro ocel UIC 900A byla převzata z literatury.

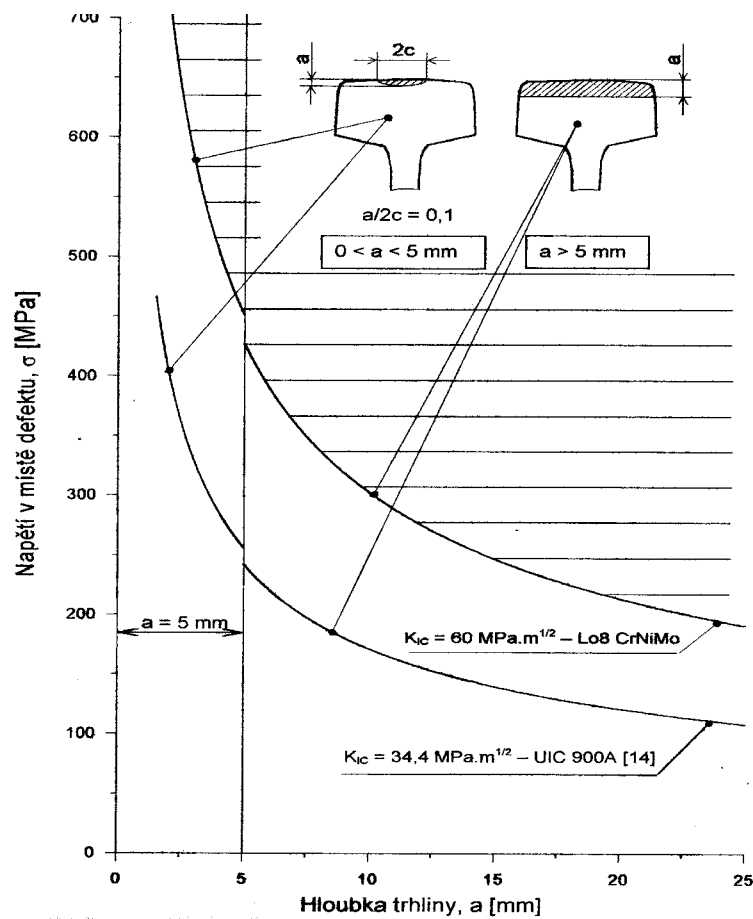
$$\text{Lo8CrNiMo} - K_{IC} = 74,4 \text{ MPa.m}^{1/2}$$

$$\text{UIC 900A} - K_{IC} = 34,4 \text{ MPa.m}^{1/2}$$

Pro sestavení diagramu obr.19, byly stanoveny tyto podmínky. Pro materiál Lo8CrNiMo byla vzata hodnota - $K_{IC} = 60 \text{ MPa.m}^{1/2}$, která se vyskytla v jednom případě u zkušebního tělesa 10x10mm. Pokud by bylo použito hodnoty ze zkušebních těles 45x25mm, křivka v diagramu by byla v poměru těchto hodnot ještě výše (1,23x). Předpokládali jsme povrchovou vadu na hlavě kolejnice tu nejhorší, kdy $a/2c$ je 0,1. Pro tento případ platí, že při $a = 5\text{mm}$ je trhlina téměř přes celou hlavu. Vnitřní vady jsou daleko méně nebezpečné než povrchové, téměř o 50%. V tomto diagramu můžeme přímo porovnat odolnost obou materiálů, při stejném napětí

$$\sigma_c = \sigma + \sigma_{rez}$$

kde σ je provozní tahové napětí v hlavě (patě) kolejnice. To značí, že v diagramu stačí odečíst od mezní křivky hodnoty reziduálního pnutí a dostaneme průběh křivek, udávajících vztah mezi provozním tahovým napětím a kritickou velikostí vady. Byly zpracovány ještě diagramy únavového růstu trhliny z počáteční hloubky do kritické, v závislosti od provozního napětí. Ukazují nám podstatně lepší odolnost materiálu Lo8CrNiMo ve srovnání s odolností UIC 900A.



Obr. 19

Validace – ověření v provozu ČD.

Pro ověřování v provozních podmínkách ČD, byla vyrobena jednoduchá srdcovka tvaru 60-1:12-500 se zkráceným monoblokem z bainitického materiálu Lo8CrNiMo. Tento prototyp srdcovky je vložen do výhybky č.6 tvaru J60-1:12-500 na betonových pražcích v žst. Modřice. Prototyp srdcovky byl převzat 5.8.1998 pracovníky TÚDC – S 13, OŽSS, se všemi doklady o převímce (atesty, měrové listy, doklady o zkouškách, atd.). Výhybka byla vložena do koleje č.2 v žst. Modřice v září 1998. Provozní zatížení koleje č. 2 je zhruba 13 mil. hrtkm za rok. Při převímce prototypu, zaměřili pracovníci TÚDC výchozí tvar srdcovky v 7 příčných

řezech digitálním profiloměrem. Měření opotřebení srdcovky během zkušební provozu se uskutečnilo 20. 04. a 06. 10. 1999. a porovnávalo se s výchozím stavem zaměřeným při přejímce. Dále byl pracovníky TÚDC vizuálně sledován stav zkušební srdcovky (klín srdcovky, křídlové kolejnice a současně měřena vodící vzdálenost L).

Výsledky sledování zkušební srdcovky.

- Na klínu srdcovky a na křídlových kolejnících nebyly shledány žádné závady.
- Ze srovnávacích záznamů tvarů snímané plochy jednotlivých řezů je možné vysledovat malé výškové opotřebení hrotu klínu srdcovky v řezu č.2 a nepatrné v řezech č.3a4 a mírné projetí pravé křídlové kolejnice v řezech č.3a4 (max.1mm). Ze srovnávacích záznamů jednotlivých měření opotřebení je patrný vzájemný výškový nebo podélný posun jednotlivých záznamů měření. Tento posun je způsoben nepoměrem mezi přesností vlastního záznamu tvaru snímané plochy a vůlí ve velikosti důlků pro uchycení elektronického profiloměru.
- Ze srovnávacích záznamů je patrné, že současný tvar klínu srdcovky má optimální

tvar zaoblení opracovávaných ploch.

- Dále pracovníci ve své zprávě porovnávají toto měření s měřením srdcovek francouzské firmy Cogifer vyrobených z odlévané oceli s vysokým obsahem Mn, které jsou uloženy v žst. Hodonín. Konstatují, že navržená srdcovka výrobce DT výhybkárna a mostárna spol. s r.o. Prostějov má optimální řešení. Podrobnosti rozdílnosti řešení nejsou předmětem tohoto příspěvku.
- TÚDC doporučuje zavést rozšířený ověřovací provoz srdcovek z materiálu Lo8CrNiMo.

Uvedené provozní hodnocení je ze zprávy ze dne 10.01.2000. Z dalších měření, která byla prováděna v červenci 2000, není bohužel zpracována závěrečná zpráva. V současné době je na této srdcovce najeto cca 27 mil. hrtkm. Při osobním jednání bylo konstatováno, že srdcovka má minimální opotřebení a nebyly zjištěny žádné nedostatky. V roce 2000 bylo v rámci rozšířeného ověřovacího provozu dodáno cca 25 srdcovek profilu UIC60 různých úhlů odbočení.

Současně jsme řešili technologii oprav tohoto materiálu navařováním pro budoucí regenerace. Navržená technologie bylo ověřena na vzorcích, laboratorně vyhodnocena a předána ČD.

Vyjádření právnické osoby.

Vypracované technické zprávy a laboratorní hodnocení byly podkladem pro žádost výrobce DT výhybkárna a mostárna spol. s r.o. Prostějov, o schválení materiálu Lo8CrNiMo pro srdcovky, do provozu ČD. Jako podklad ke schvalovacímu řízení bylo vyjádření právnické osoby, kterou je „ČD, státní organizace, Výzkumný ústav železniční, odštěpný závod“.

Podklady pro vyjádření právnické osoby :

1. Zkouška : Zkouška kolejnic statickým ohybem dle S 3/5

Odporový svar kolejnic typu UIC 60, mater. Jakosti 900A + mater.Lo8CrNiMo
Č. protokolu 30-00-L81 . ČD Výzkumný ústav železniční, Praha

2. Zkouška : Únava kolejnic při 4 – bodovém ohybu dle S 3/5

Odporový svar kolejnic typu UIC 60, mater. Jakosti 900A + Lo8CrNiMo
Č. protokolu 31-00-L81. ČD Výzkumný ústav železniční , Praha

3. Zkouška : Tvrdost HRC dle ČSN ISO 6508

Základní materiál bainitické srdcovky
Č. protokolu 32-00-L81. ČD Výzkumný ústav železniční, Praha

4. Zkouška : Metalografie

Bainitická srdcovka z materiálu Lo8CrNiMo
Č. protokolu 33-00-L81. ČD Výzkumný ústav železniční, Praha

5. Zpráva : Posouzení mechanických vlastností a lomové chování bainitické oceli

Lo8CrNiMo, č. VZ 890/1037. Ústav fyziky materiálů AV ČR Brno, září 2000.

6. Zpráva : Stanovení lomové houževnatosti bainitické oceli Lo8CrNiMo při –20°C,

č. VZ 891/1038, Ústav fyziky materiálů AV ČR Brno, listopad 2000.

7. Dodatek ke Zprávě č. VZ 891/1038 : Ústav fyziky materiálů AV ČR Brno, listopad 2000.

8. Technická zpráva : Laboratorní ověření a posouzení bainitické oceli Lo8CrNiMo v

návaznosti na výsledky zkoušek lomového chování a mechanických vlastností,
č. ASI 25/00, Univerzita Pardubice, DFJP, katedra dopravních prostředků,
odd. materiálů, Česká Třebová, listopad 2000.

9. Diagram tepelného zpracování materiálu Lo8CrNiMo č. D 249, Třinecké železářny, a.s.

Třinec, Divize 4 – slévárny, ze dne 7.7.1997.

10. Technické podmínky dodací č. TPD – 202 – 361 – 00 pro výrobu, přejímání a dodávání o
odlitků železničních srdcovek z materiálu Lo8CrNiMo, návrh.

11. Protokol č. 36 – 00 – L81 o zkoušce statickým ohybem, ČD VÚŽ, Praha, prosinec 2000

12. Technická zpráva č. ASI 14/99/02 : Posouzení návrhů bainitických kolejnic provedených

obalenou elektrodou a trubičkovou elektrodou. Univerzita Pardubice, DFJP,
katedra dopravních prostředků, odd. materiálů, Česká Třebová, duben 2000.

Pro účely tohoto příspěvku cituji nejdůležitější závěry vyjádření právnické osoby, které se týkají nestandardizované otázky nečistot a lomové houževnatosti materiálu Lo8CrNiMo :

- a) vzhledem k tomu, že žádná z identifikovaných nečistot nebyla prvotní příčinou lomu zkušebních tyčí, a rovněž nebyla ani sekundárním ohniskem pro změnu orientace magistrální trhliny probíhajícího lomu, lze připustit v odlitcích srdcovek z materiálu Lo8CrNiMo, tepelně zpracovaných na bainitickou strukturu, tyto typy a klasifikaci vměstků (následuje popis a požadavek právnické osoby zpracovat klasifikaci nečistot a jejich sledování do Technických podmínek dodacích).
- b) Provedené, dokončené a vyhodnocené rozsáhlé zkoušky lomové houževnatosti, jakož i další materiálová šetření a prováděné tepelné zpracování odlitků, snižující na minimum zbytková (reziduální) napětí, potvrdily již dříve uvedené velmi kvalitní vlastnosti tohoto materiálu; proto ze strany právnické osoby není výhrad k jeho hromadnému zavedení do železničního provozu.

Závěr :

Rozsáhlé laboratorní zkoušky a provozní ověřování prokázaly vysokou odolnost navrženého materiálu Lo8CrNiMo s bainitickou strukturou pro odlitky srdcovek, proti opotřebením a kontaktnímu namáhání. Tyto vlastnosti zaručují dlouhodobou stabilitu navržené trajektorie srdcovky, jak po stránce profilu, tak po stránce vzájemné výškové polohy křídlové kolejnice a hrotu.

V Prostějově, únor 2001

Lektoroval: Ing. Jan Kout, CSc.

Výzkumný ústav železniční