

Srovnání vybraných kvalitativních znaků kolejnic profilu 136 RE v závislosti na úrovni aktuální tvrdosti

Comparison of Specific Qualitative Characteristics of Rails 136 RE in Relation to the Current Level of Hardness

Ing. Vít Michenka¹, Ing. Petr Podolinský²

¹VÚHŽ a. s., Laboratoře a zkušebny – Laboratoř mechanických vlastností, 739 51 Dobrá 240, Česká republika

²TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY a. s., Průmyslová 1000, 739 70 Třinec-Staré Město, Česká republika

Príspevek pojednáva o hodnotení vybraných kvalitatívnych znakov perlitických železničných kolejnic profilu 136 RE. Byli hodnotené dve zkušebné série kolejnic s rozdielnou hodnotou typickej tvrdosti mierené na temeni. Sledované parametre boli vybrány na základe požiadaviek normy EN 13674-1 a predpisu AREMA (American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association) definujúcich požiadavky na kolejnice. Hodnotenie mikroštruktúry, vnútorného pnutí, průbehů tvrdosti a stanovení lomové houževnatosti K_{IC} bylo doplněno hodnocením odolnosti proti otěru v kluzném i valivém režimu. Cílem bylo komplexní srovnání sledovaných parametrů mezi oběma hodnotenými sériemi kolejnic.

Klíčová slova: kolejnicový profil 136 RE; kvalitativní znaky; zkouška otěruvzdornosti

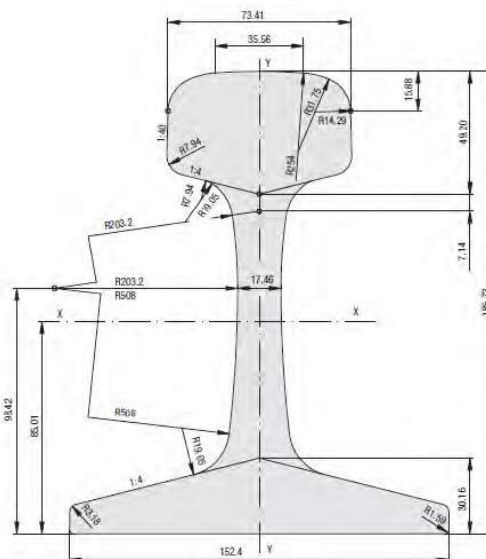
The submitted paper deals with evaluation of selected qualitative characteristics of pearlitic railway rails of profile 136 RE. Two testing batches of rails with different levels of typical running surface hardness were investigated. The observed parameters had been selected on the basis of requirements given in standard EN 13674-1 and regulation AREMA (American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association) which both define the demands on rails. Microstructural evaluation, measurement of internal stresses, hardness profiles and determination of fracture toughness K_{IC} were supplemented by evaluation of wear resistance in rolling friction and abrasive modes. The goal of the work was to compare in a complex way the observed parameters between the two batches of investigated rails. The observed results show that both the testing series exhibit a significant difference only in results of abrasion resistance tests when the higher hardness level testing batch shows about 35 % higher abrasion resistance in comparison to the lower hardness level testing batch. There were not any significant differences between the testing batches in the view of other used testing methods. Finally, some metallographic images also supplement the paper.

Key words: rail of profile 136 RE; qualitative characteristics; abrasion resistance test

1. Popis zkoušení, hodnocený materiál

Cílem zkoušení bylo srovnání výsledků vybraných kvalitativních zkoušek kolejnicového profilu 136 RE z perlitické oceli jakosti IH. Profil 136 RE spadá do kategorie Vignolových širokopatných kolejnic o délkové hmotnosti cca 67,6 kg/m. Tvar a rozměry profilu jsou uvedeny na obr. 1 [1].

Nominální chemické složení materiálu (tavební analýza) je uvedeno v tab. 1a; hodnoty mechanických vlastností ve stavu po rovnání za studena (expedovaný stav) jsou shrnuty v tab. 1b.



Obr. 1 Kolejnicový profil 136 RE [1]

Fig. 1 Rail of profile 136 RE[1]

Tab. 1a Chemické složení kolejnicové oceli jakosti IH
Tab. 1a Chemical composition of rail steel grade IH

Prvek	C	Mn	Si	Cr	Fe	Zbytek
[Hm. %]	0,80	1,05	0,62	0,66	96,75	0,12

Tab. 1b Typické mechanické hodnoty profilu 136 RE, třída oceli IH, rovnaný stav

Tab. 1b Typical mechanical values of profile 136 RE, steel grade IH, as-straightened state

$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A [%]	Z [%]	HBW temeno 10/3000
755	1150	11,0	15,5	min. 325

Hodnocené kolejnice byly podle aktuální hodnoty tvrdosti na temeni kolejnicové hlavy rozděleny do dvou zkušebních sérií, a to:

- Série a) $HBW \leq 335$,
- Série b) $HBW > 335$.

Každá zkušební série zahrnovala vždy 6 vzorků kolejnic o délce cca 1 m, které byly odebrány v průběhu válcovací kampaně tak, aby nedocházelo k dublování jak taveb, tak samostatně i licích proudů, přičemž bylo dodrženo kritérium časově rovnoměrného rozdělení odběru zkušebních vzorků v průběhu celé válcovací kampaně. Zkušební tělesa byla vyrobena v souladu s požadavky prováděcích norem a postupů, které jsou uvedeny v kap. 2. Počet použitých zkušebních těles zohledňoval obecné požadavky normy EN 13674-1 a předpisu AREMA.

2. Použité zkušební metody

Použité zkušební metody byly zvoleny na základě dvou dokumentů předpisujících požadavky na Vignolovy kolejnice, a to: standard EN 13674-1 a předpis AREMA (American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association). Níže je uveden seznam konkrétních použitých zkoušek s odkazem na příslušný zdroj:

- stanovení vnitřního pnutí podle EN 13674-1: v souladu s přílohou C [3],
- stanovení vnitřního pnutí podle AREMA: v souladu s kap. 2.1.13.1. [2],,
- hodnocení Baumannova otisku podle EN 13674-1: v souladu s přílohou D [3],,
- hodnocení makroleptu podle AREMA: v souladu s kap. 2.9.1. [2],,
- metalografické hodnocení, vč. hodnocení mikročistoty podle ASTM E45, metoda A,
- provedení zkoušky tahem za okolní teploty podle ISO 6892-1,
- stanovení lomové houževnatosti K_{IC} při rovinné deformaci podle EN 13674-1: v souladu s přílohou D [3],,
- provedení zkoušky odolnosti proti otěru v režimech kluzného a valivého tření.

3. Výsledky zkoušek

Zde jsou v tabulkové podobě uvedeny jednotlivé výsledky realizovaných zkoušek s krátkým popisem zkušební metody. Závěry následují v kap. 4.

Stanovení vnitřního pnutí podle EN 13674-1

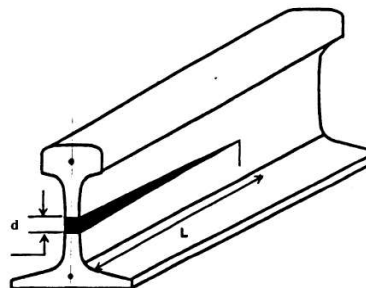
Stanovení vnitřního pnutí podle EN 13674-1 je založeno na tenzometrickém měření. Při stanovení jsou porovnány výsledky měření tenzometrického napětí na patě kolejnice v dodaném stavu a následně po provedeném řezu, kterým se přítomné vnitřní pnutí v kolejnici uvolní [3]. Ze znalosti Hookeova zákona se sledované vnitřní pnutí vypočte exaktně, a to v jednotkách [MPa]. Výsledky jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2 Stanovené hodnoty vnitřního pnutí – metodika EN 13674-1
Tab. 2 Measured values of internal stresses – procedure acc. to EN 13674-1

Série	Vzorek	Vnitřní pnutí [MPa]	
		dílčí hodnoty	porovnání
Série a) $HBW \leq 335$	1	242,1	Ø 253,5 Sm. odch. 7,4 $253,5 \pm 7,4$
	2	261,7	
	3	259,7	
	4	246,1	
	5	251,9	
	6	259,7	
Série b) $HBW > 335$	1	216,8	Ø 261,7 Sm. odch. 24,9 $261,7 \pm 24,9$
	2	242,1	
	3	275,3	
	4	291,0	
	5	267,5	
	6	277,3	

Stanovení vnitřního pnutí podle AREMA, kap. 2.1.13.1

Stanovení vnitřního pnutí podle metodiky AREMA je založeno na měření dilatační vzdálenosti d po provedeném řezu v ose kolejnice v předepsané délce L , (obr. 2) [2].



Obr. 2 Schéma řezu [2]
Fig. 2 Cutting scheme[2]

Přítomnost měřitelné dilatace d vzniká uvolněním vnitřního pnutí způsobeným řízeným řezem kolejnic. Obecně platí, že hodnota d vzrůstá s rostoucí hodnotou přítomného/vneseného vnitřního pnutí. Metoda slouží spíše ke srovnávacím a expedičním účelům, kdy hodnota d hodnocené kolejnice nesmí překročit hodnotu 3,75 mm [2]. Výsledky jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 3 Stanovené hodnoty vnitřního pnutí – metodika AREMA, kap. 2.1.13.1

Tab. 3 Measured values of internal stresses – procedure acc. to AREMA, chap. 2.1.13.1.

Série	Vzorek	Rozevření d [mm]	
		dílčí hodnoty	porovnání
Série a) HBW ≤ 335	1	3,7	$\emptyset$ 3,0
	2	3,3	
	3	3,2	Sm. odch. 0,6
	4	1,9	
	5	2,8	$3,0 \pm 0,6$
	6	3,2	
Série b) HBW > 335	1	2,8	$\emptyset$ 3,0
	2	2,9	
	3	2,8	Sm. odch. 0,1
	4	3,0	
	5	3,0	$3,0 \pm 0,1$
	6	3,2	

Hodnocení Baumannova otisku a hodnocení makroleptu podle AREMA

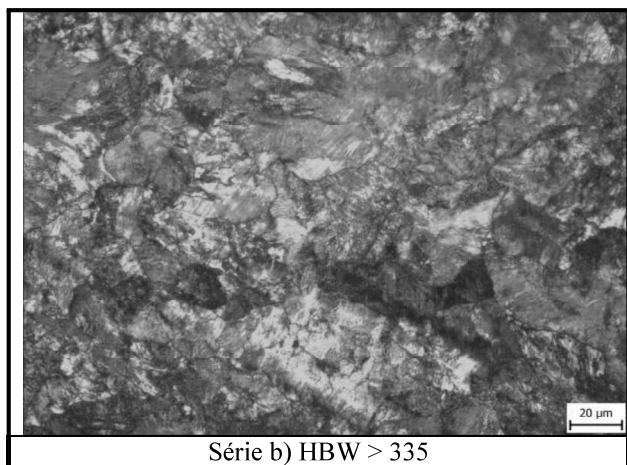
Hodnocení sulfidického odmíšení a hodnocení přítomnosti makrodefektů z makroleptu bylo provedeno podle postupů AREMA, kap. 2.9.1., resp. ISO 4968. Veškerá hodnocení potvrzují akceptovatelný výsledek. Žádný z hodnocených vzorků kolejnic – jak v sérii a), tak i v sérii b) – nevykázal nepřípustný stav z hlediska odpovídajících požadavků AREMA a EN 13674-1.

Metalografické hodnocení a hodnocení mikročistoty

Metalografické hodnocení bylo provedeno na vzorcích odebraných z hlavové části kolejnic, z hloubky cca 9,5 mm od povrchu temene. Veškeré hodnocené vzorky vykazovaly plně perlitickou, lamelární mikrostrukturu, bez přítomnosti anomálií nebo kvalitativně významných rozdílů.

Ukázka mikrostruktury je uvedena na obr. 3.





Obr. 3 Ukázka mikrostruktur – Série a) HBW ≤ 335 a b) HBW > 335

Fig. 3 Examples of typical metallographic images – series a) HBW ≤ 335 and b) HBW > 335

Hodnocení mikročistoty bylo provedeno na identických vzorcích, které byly použity pro metalografickou analýzu. Zkoušky proběhly v souladu s ASTM E45, metoda A. Výsledky jsou uvedeny v tab. 4.

Tab. 4 Výsledky hodnocení mikročistoty podle ASTM E45

Tab. 4 Results of microcleanliness evaluation acc. to ASTM E45

Série	Vzorek	Typ A		Typ B		Typ C		Typ D	
		thin	heavy	thin	heavy	thin	heavy	thin	heavy
Série a)	1	2	0	0	0	1	0	1	0
	2	2	0	2	0	0	0	1	0
	3	1	0	0	0	0	0	1	0
Série b)	1	2	0	0	0	0	0	1	0
	2	2	1	0	0	0	0	1	0
	3	2	0	0	0	0	0	1	0

Provedení zkoušky tahem za okolní teploty podle ISO 6892-1

Z obou zkušebních sérií byla vyrobena standardizovaná zkušební tělesa kruhového průřezu o průměru $d_{\phi 0} = 10$ mm a zkoušené délce $L_c = 110$ mm pro zkoušku tahem. Všechna zkušební tělesa byla jednotně odebrána z hlav kolejnic a nebyla před zkouškou tepelně zpracována.

Zkouška tahem za okolní teploty byla provedena v souladu s ČSN EN ISO 6892-1. Zkušební podmínky byly následující: napěťová rychlost $20 \text{ MPa} \cdot \text{s}^{-1}$ (do meze kluzu), deformační rychlost $0,0024 \text{ s}^{-1}$ (do přetržení tělesa). Při zkoušce byl použit extenzometr. Výsledky zkoušek tahem jsou uvedeny v tab. 5.

Tab. 5 Výsledky zkoušek tahem

Tab. 5 Tensile test results

Série	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A [%]	Z [%]
Série a) HBW ≤ 335	762	1252	11,3	32,6
	790	1255	11,5	27,0
Série b) HBW > 335	776	1216	10,8	23,7
	763	1201	11,1	23,9

Stanovení lomové houževnatosti při rovinné deformaci

Stanovení lomové houževnatosti při rovinné deformaci K_{IC} bylo provedeno podle ASTM E399 a normy EN 13674-1, příloha D. Pro zkoušku byla použita zkušební tělesa pro tříbodový ohyb – typ A – která byla odebrána z hlavy kolejnice v hloubce cca 2 mm pod temenem [3]. Výsledky zkoušek uvádí tab. 6.

Tab. 6 Výsledky zkoušek lomové houževnatosti

Tab. 6 Fracture toughness test results

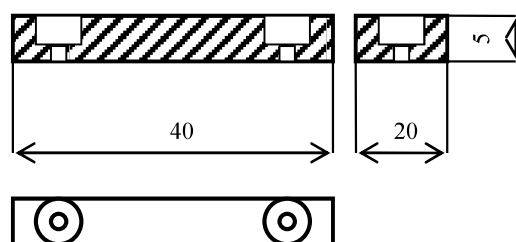
Série	K_{IC} [MPa.m ^{1/2}]	
	dílčí hodnoty	porovnání
Série a) HBW ≤ 335	34,5	Ø 34,6 Sm. odch. 1,2 34,6 ± 1,2
	33,5	
	33,8	
	36,5	
Série b) HBW ≤ 335	38,1	Ø 35,9 Sm. odch. 1,1 35,9 ± 1,1
	35,5	
	30,9	
	38,9	

Provedení zkoušky odolnosti proti otěru

Použitá metoda zkoušky odolnosti proti otěru není normována, jedná se o zkušební postup stanovený výrobcem použitého zkušebního zatížení, který umožňuje poměrné srovnání odolnosti hodnoceného materiálu proti otěru v režimu kluzného nebo valivého tření.

Režim kluzného tření

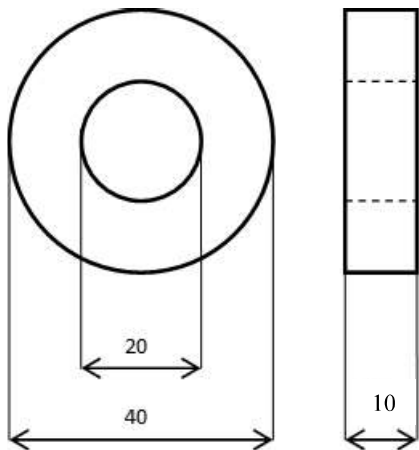
V režimu kluzného tření tvoří zkušební těleso hodnocený materiál v podobě tzv. kluzné destičky podle obr. 4.



Obr. 4 Zkušební těleso – kluzná destička [5]

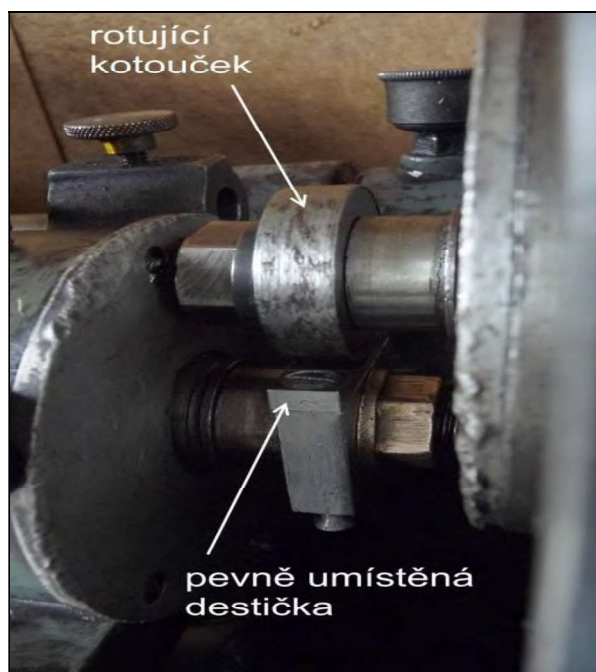
Fig. 4 Test-piece – sliding plate [5]

Tato kluzná destička je v průběhu zkoušky pevně fixována, je v tečném kontaktu s otáčejícím se otěrovým kotoučkem (obr. 5) pod konstantním zatížením 392 N a při rychlosti otáčení cca 180 min⁻¹. Ověrový kotouček je vyroben z oceli pro železniční dvojkoli jakosti R7T.



Obr. 5 Otěrový kotouček [5]
Fig. 5 Friction disc [5]

Snímek reálné zkušební sestavy otěrové zkoušky v režimu kluzného tření je uveden na obr. 6.



Obr. 6 Zkušební sestava – režim kluzného tření
Fig. 6 Testing assembly – sliding friction testing mode

Otáčení otěrového kotoučku pod zatížením způsobuje otěr, resp. ztrátu materiálu zkušební destičky, která se hodnotí délkou zábrusu l (obr. 7), a to vždy po ukončení dílčí etapy probíhající zkoušky, odpovídající dosažení 500 otáček. Zkouška je ukončena po dosažení celkového počtu 3 000 otáček, tj. po 6 provedených sériích hodnocení.



Obr. 7 Délka zábrusu, l
Fig. 7 Length of friction zone, l

Hodnoceným parametrem je tzv. faktor opotřebení K , který je stanoven následujícími vztahy:

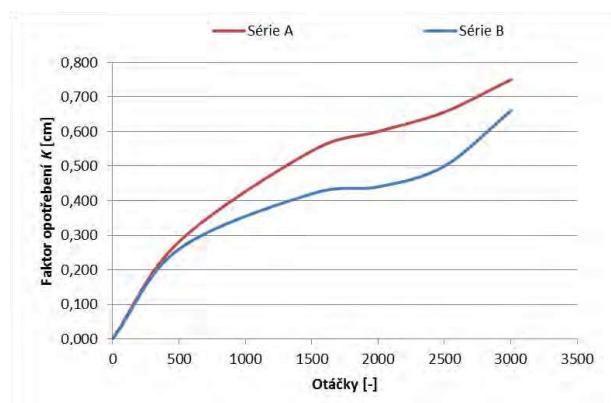
$$K = \sqrt[3]{V \cdot 24}, \quad [\text{cm}]$$

kde:

$$V = \frac{l^3}{24}, \quad [\text{cm}^3]$$

přičemž l [cm] je průměrná hodnota délky zábrusu destičky vypočtená ze tří dílčích měření.

Výsledky zkoušky kluzným třením se zpracují graficky do systému faktor opotřebení K vs. počet otáček. V případě realizovaných testů bylo pro každou jednotlivou hodnocenou sérii provedeno 5 zkoušek. Výsledky v grafické podobě jsou uvedeny na obr. 8. Tyto průběhy představují korelační křivky polynomu 3. řádu o hodnotě spolehlivosti $R^2 > 0,9$.



Obr. 8 Faktor opotřebení K [cm] vs. otáčky [-]
Fig. 8 Wear factor K [cm] versus revs [-]

Režim valivého tření

V režimu valivého tření tvoří zkušební těleso hodnocený materiál v podobě otěrového kotoučku podle obr. 5.

Tento otěrový kotouček je v průběhu zkoušky v tečném kontaktu s druhým, měrným otáčejícím se otěrovým kotoučkem, pod konstantním zatížením 600 N při rychlosti otáčení cca 180 min⁻¹. Tento druhý, měrný otěrový kotouček je vyroben z oceli pro železniční dvojkoli jakosti R7T a rychlost jeho otáčení v průběhu

zkoušky je o cca 10 % vyšší než v případě kotoučku vyrobeného z hodnoceného materiálu. Takto se vytváří prokluz, resp. iniciace podmínek valivého tření.

Snímek reálné zkušební sestavy otěrové zkoušky v režimu valivého tření je uveden na obr. 9, kde rotující kotouček 1 představuje hodnocený materiál a kotouček 2 ocel železničního dvojkolí z jakosti R7T (pozn.: tento měrný otěrový kotouček způsobuje prokluz).



Obr. 9 Zkušební sestava – režim valivého tření
Fig. 9 Testing assembly – rolling friction testing mode

Otáčení měrného otěrového kotoučku pod zatížením způsobuje otěr, resp. ztrátu materiálu zkoušeného kotoučku, která se hodnotí gravimetricky, a to vždy po ukončení dílčí etapy probíhající zkoušky odpovídající dosažení 6 000 otáček. Zkouška je ukončena po dosažení celkového počtu 36 000 otáček, tj. po 6 provedených dílčích zkouškách. Hodnoceným parametrem je tzv. hmotnostní úbytek m , který je stanoven následujícím vztahem:

$$m = m_{i-1} - m_i, \quad [\text{g}]$$

kde

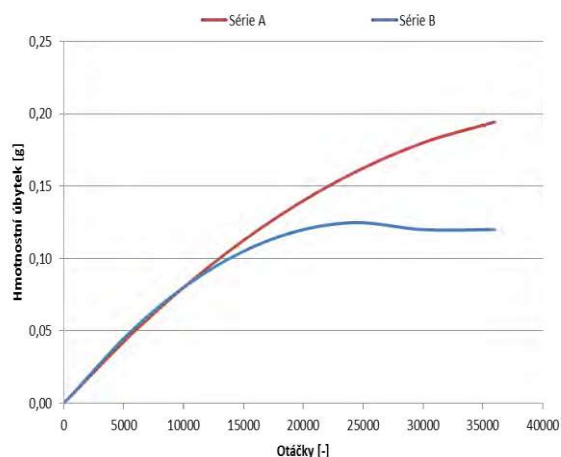
m je aktuální hmotnostní úbytek [g]

m_{i-1} je hmotnost kotoučku po $(i-1)$. měření [g]

m_i je hmotnost kotoučku po i -tém měření [g]

Výsledky zkoušky se zpracují graficky do systému hmotnostní úbytek m vs. počet otáček.

V případě realizovaných experimentů bylo pro každou jednotlivou hodnocenou sérii provedeno 5 zkoušek. Výsledky v grafické podobě jsou uvedeny na obr. 10. Uvedený průběh představuje korelační křivky polynomu 2. řádu o hodnotě spolehlivosti $R^2 > 0,55$.



Obr. 10 Hmotnostní úbytek m [g] vs. otáčky [-]

Fig. 10 Weight loss m [g] versus revs [-]

Závěr

Cílem práce bylo praktické posouzení vlivu rozdílné úrovně tvrdosti perlitických kolejnic profilu 136 RE, jakosti IH na výsledné parametry vybraných kvalitativních zkoušek vycházejících z předpisu AREMA a standardu EN 13674-1. Tyto rozdílné úrovně tvrdosti byly získány experimentální úpravou procesu dochlazování kolejnic z dovalcovací teploty.

Na základě provedených analýz lze stanovit závěry, které jsou uvedeny v tab. 7.

Tab. 7 Srovnání hodnocených parametrů

Tab. 7 Comparison of investigated parameters

Zkouška	Srovnání Série a) HBW ≤ 335 vs. Série b) HBW > 335
Stanovení vnitřního pnutí – metoda EN 13671-1	Zkušební Série a) vykazuje o cca 5 % nižší hodnoty vnitřního pnutí ve srovnání se zkušební sérií b)
Stanovení vnitřního pnutí – metoda AREMA	Obě zkušební série jsou srovnatelné
Baumannův otisk	Obě zkušební série srovnatelné
Hodnocení makroleptů – metoda AREMA	Obě zkušební série srovnatelné
Metalografické hodnocení, resp. mikročistota	Obě zkušební série srovnatelné
Zkouška tahem podle ISO 6892-1	Obě zkušební série srovnatelné
Lomová houževnatost K_{IC}	Obě zkušební série srovnatelné
Odolnost proti otěru – režim valivého tření	Zkušební série a) vykazuje o cca 30 % nižší odolnost proti otěru ve srovnání se zkušební sérií b)
Odolnost proti otěru – režim kluzného tření	Zkušební série a) vykazuje o cca 35 % nižší odolnost proti otěru ve srovnání se zkušební sérií b)

Z uvedeného srovnání vyplývá, že experimentální dílčí úpravy technologie výroby hodnoceného typu a jakosti kolejnic nemají, mimo výsledků otěrových zkoušek, technicky významný vliv na sledované kvalitativní parametry. V případě hodnocení odolnosti proti otěru však vykazují kolejnice Série a) (HBW ≤ 335) – v oblasti rozdílného průběhu výsledků zkoušky – o cca

30 % příznivější hodnoty sledovaných parametrů v porovnání s výsledky Série b) ($HBW > 335$). Přestože vyšší úroveň tvrdosti kolejnic je v tomto případě dosažena řízeným dochlazováním, resp. částečným navýšením vnitřního pnutí, které je však v limitu požadovaném standardem EN 13674-1 a předpisem AREMA, jeví se, že použitá technologická úprava může mít příznivý vliv na životnost kolejnic, a to bez nutnosti chemické modifikace tavebního složení nebo aplikace specifického postupu tepelného zpracování.

Literatura

- [1] *Výkresová dokumentace výrobního portfolia Třineckých železáren, a. s. – Kolejnice 136 RE*

- [2] *American Railway Engineering and Maintenance of Way Association (AREMA), Chapt. 4; Rails, [manuál], edice 2012*
- [3] *ČSN EN 13674-1 Železniční aplikace – Kolej – část 1 – Vignolovy železniční kolejnice o hmotnosti 46 kg/m a větší, [norma], edice 2011*
- [4] *ASTM E399 Standard Test Method for Linear-Elastic Plain-Strain Fracture Toughness K_{IC} of Metallic Materials, [standard], edice 2007*
- [5] MICHENKA, V., RABINSKÝ, T. KOLÁŘOVÁ, I.: Nestandardní zkoušky kolejnic [technická zpráva č. Z-560/14], VÚHŽ a. s. Laboratoře a zkušebny, prosinec 2014



Hutní keramika HK¹⁵

10. ročník konference s mezinárodní účastí

1. OZNÁMENÍ
1. - 2. října 2015
Hotel Energetic****
Rožnov p. Radhoštěm, Česká republika

TANGER, spol. s r.o.
VŠB - Technická univerzita Ostrava
Katedra tepelné techniky
SEEIF Ceramic, s.r.o.