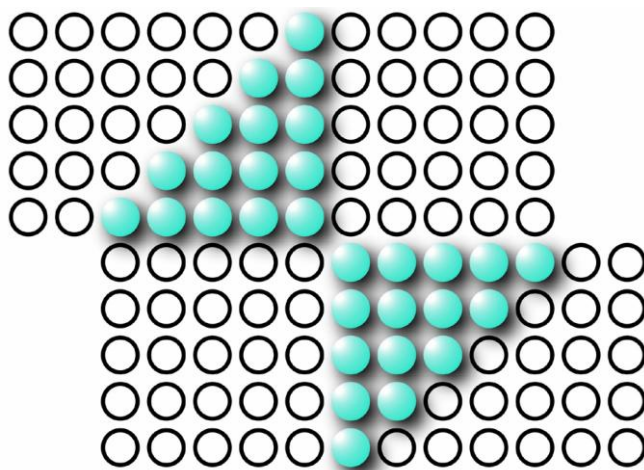


# SPRÁVY



**VEDECKEJ  
SPOLOČNOSTI  
PRE NÁUKU  
O KOVOCH  
PRI SAV**

**3 / 2008**

## **Z činnosti výboru Vedeckej spoločnosti pre náuku o kovoch pri SAV**

V minulom čísle avizovaná správa z Valného zhromaždenia Rady slovenských vedeckých spoločností (RSVS) ktorej sa zúčastnil člen výboru Ing. Pavol Štefánik, CSc. je v Spravodaji RSVS, ktorý nájdete na: <http://www.ta3.sk/~vrusin/RSVS/docs/Spravodaj1-22008.pdf>.

Stránka RSVS je <http://www.ta3.sk/~vrusin/RSVS/>.

V budúcom roku naša Spoločnosť usporiada ďalší ročník vedeckej konferencie s medzinárodnou účasťou Konštrukčné materiály 2009., ktorú usporiada žilinská pobočka dňa 28. 5. 2009. Konferenciu „Segregácia a precipitácia 09“ pri príležitosti nedožitého výročia 70 rokov Vojtecha Karela a 110 rokov Vladimíra Košeleva usporiada košická pobočka na KNoM HF TU v Košiciach v termíne 17. - 18. 9. 2009. Košická pobočka sa bude tiež podieľať na organizácii konferencie „Fraktografia 09“, ktorej hlavným organizátorom je ÚMV SAV v Košiciach a ktorá sa bude konať 8. – 11. 11. 2009 v Starej Lesnej. Podrobné informácie o konferenciách a i o ďalších aktivitách nájdete včas na stránke našej Spoločnosti <http://www.vsnk.sav.sk>. Ďalšie informácie na konci čísla.

Za výbor Spoločnosti

Doc. Ing. Maroš Martinkovič, PhD.  
tajomník výboru Spoločnosti

Prof. Ing. M. Longauerová, CSc.  
predsedníčka Spoločnosti

**Životné jubileum v I. polroku 2009 oslávia nasledovní členovia:**

### **70 rokov**

**RNDr. Pavol Šebo, DrSc.**

**nar. 25.4.1939**

### **60 rokov**

**Ing. Juraj Ďurišin, CSc.**

**nar. 28.3.1949**

### **50 rokov**

**Ing. Karol Iždinský, CSc.,**

**nar. 24.5.1959**

***Blahoželáme***

# MATERIÁLY ŽELEZNIČNÝCH KOĽAJNÍC

Prof. Ing. Ivan Hrivňák, DrSc., Dr.h.c., EWE

*Materiálovotechnologická fakulta STU, J. Bottu 23, 917 24 Trnava*

Súčasné železničné koľaje sú veľmi intenzívne využívané rýchlymi vlakmi a veľkými nápravovými zaťaženiami. Prvoradou požiadavkou na ocele používané na železničné koľajnice je konštrukčná integrita, ktorá môže byť ovplyvňovaná rôznymi únavovými procesmi, nedostatočnou odolnosťou proti krehkému porušeniu, lokalizovanou plasticitou a nadmerným opotrebovaním. Uloženie trate tiež vyžaduje, aby koľajnicové ocele boli zvariteľné [1-3].

## ***Obr.1. Vplyv medzilamelárnej vzdialeností perlitu na tvrdosť koľajnicových ocelí [2].***

Pre zváranie krátkych zváraných úsekov koľajnic (27,5 m) do dlhých zváraných úsekov o dĺžke až 357,5 m, ktoré sa používajú pri kladení tratí, sa používa odporové zváranie s odtavením. Tieto dlhé zvárané úseky sa potom spájajú na mieste aluminotermickým zváraním (Thermit) [4]. V súčasných oceliach na koľajnice sú pevnosť v ťahu a tvrdosť riadené ich chemickým zložením. Obidve tieto vlastnosti ocelí závisia od obsahu uhlíka a mangánu. Aby sa vyrobili tvrdé a oteruvzdorné ocele na koľajnice je potrebný vysoký obsah uhlíka do 0,82% a mangánu do 1,7%. Bežné koľajnicové ocele sú perlitické a obsahujú okolo 0,7% uhlíka [2]. Perlit sa skladá zo zmesi lamiel mäkkého feritu a tvrdého, relatívne krehkého cementitu. Tvrdosť lamelárneho perlitu vzrastá s poklesom medzilamelárnych vzdialeností alebo zväčšením podielu cementitu v perlite. Perlit dosahuje svoju odolnosť oproti opotrebeniu vďaka tomu, že v ňom tvrdý cementit prevláda nad plastickejšim feritom. Na obr.1 vidno závislosť tvrdosti ocele na medzilamelárnej vzdialenosti v perlite. V eutektoidných oceliach klesá rýchlosť opotrebenia s nárastom tvrdosti [21]. Zlepšenie charakteristík perlitických koľajnicových ocelí sa dosahuje hlavne znížením medzilamelárnych vzdialeností v perlite. Pretože dosiahnuté zjemnenia medzilamelárnych vzdialeností sú už blízko možného teoretického limitu, sú pravdepodobne perlitické ocele pri konci možnosti svojho ďalšieho vývoja [2]. Chemické zloženie niektorých perlitických a bainitických ocelí, uvedené *Bhadesiom* je v Tab. 1 [2].

| No. | C    | Si   | Mn   | Ni  | Mo   | Cr  | V   | Nb  | B     | Al   | Ti   | Other                              |
|-----|------|------|------|-----|------|-----|-----|-----|-------|------|------|------------------------------------|
| 1   | 0.55 | 0.25 | 1.00 | -   | -    | -   | -   | -   | -     | -    | -    | Pearlitic rail steel               |
| 2   | 0.80 | 0.30 | 1.00 | -   | -    | -   | -   | -   | -     | -    | -    | Pearlitic rail steel               |
| 3   | 0.70 | 1.90 | 1.50 | -   | -    | -   | -   | -   | -     | -    | -    | Pearlitic rail steel               |
| 4   | 0.75 | 0.70 | 1.00 | -   | -    | 1.0 | 0.1 | -   | -     | -    | -    | Special grade pearlitic rail steel |
| 5   | 0.65 | 0.25 | 0.70 | -   | -    | -   | -   | -   | -     | -    | -    | Pearlitic tyre steel               |
| 6   | 0.04 | 0.20 | 0.75 | 2.0 | 0.25 | 2.8 | -   | -   | 0.01  | 0.03 | 0.03 | Bainitic rail steel                |
| 7   | 0.09 | 0.20 | 1.00 | -   | 0.50 | -   | -   | -   | 0.003 | 0.03 | 0.03 | Experimental bainitic rail steel   |
| 8   | 0.07 | 0.30 | 4.50 | -   | 0.50 | -   | -   | 0.1 | -     | -    | -    | Experimental bainitic rail steel   |
| 9   | 0.10 | 0.30 | 0.60 | 4.0 | 0.60 | 1.7 | -   | -   | <0.01 | 0.03 | 0.03 | Experimental bainitic rail steel   |
| 10  | 0.30 | 0.20 | 2.00 | -   | 0.50 | 1.0 | -   | -   | 0.003 | 0.03 | 0.03 | Experimental bainitic rail steel   |
| 11  | 0.30 | 1.00 | 0.70 | -   | 0.20 | 2.7 | -   | 0.1 | -     | -    | -    | Experimental bainitic rail steel   |
| 12  | 0.52 | 0.25 | 0.35 | 1.5 | 0.25 | 1.7 | -   | 0.1 | <0.01 | -    | -    | Experimental bainitic rail steel   |

**Tab.1 Chemické zloženie niektorých perlitických a bainitických koľajnicových ocelí ( v hmot.%).**

Nová generácia ocelí pre koľajnice - bainitické ocele - pritiahli v ostatných rokoch značnú pozornosť pre ďalšie možnosti vývoja ich vlastností. Špecifickou úpravou resp. koncepciou zliatiny môžu dosiahnuť bainitické ocele vyššiu pevnosť ako tepelne spracované perlitické koľajnicové ocele. Bainitické ocele s vyššou ťahovou a únavovou pevnosťou sa veľmi dobre osvedčili v prevádzke. Boli tu pravdaže nešpecifikované problémy pri zváraní [3-7].

V prevádzkových skúškach sa následne zistilo, že bainitické ocele sa rýchlejšie opotrebojú ako perlitické v prípade ak obe ocele majú tú istú tvrdosť [1].

**Obr. 2. Diagram anizotermického rozpadu austenitu [8].**

Mikroštruktúra bainitických ocelí je metastabilným agregátom feritu a cementitu vytvoreným transformáciou austenitu pod teplotami perlitickej oblasti a nad teplotou začiatku martenzitickej transformácie

[8]. Na rozdiel od mikroštruktúry perlitických ocelí má ferit v bainitickej oceli acikulárnu morfológiu a karbidy sú diskkrétne častice.

***Obr. 3. Zväzok doštičiek bainitu pozostávajúci s doštičiek feritu oddelených od seba filmami zvyškového austenitu obohateného o uhlík -TEM***

Mikroštruktúra bainitickej ocele je komplexnejšia ako perlitickej a je veľmi závislá na zložení a spôsoboch spracovania. Bainit sa môže vytvoriť z austenitu pri izotermickej premene alebo pri kontinuálnom ochladzovaní.

Obvykle bainity získané izotermickou transformáciou austenitu možno dobre charakterizovať a rozlíšiť ako „horný bainit“ alebo „dolný bainit“ podľa toho, či sú karbidy distribuované medzi jednotlivými feritickými oblasťami, alebo v nich.

Mikroštruktúra horného bainitu obsahuje rovnobežné doštičkovité útvary, ktoré vytvárajú takzvaný „pierkovitý“ vzhľad vo svetelnom mikroskope a vzniká pri teplotách nad 350 °C. Na druhej strane dolný bainit má v svetelnom mikroskope acikulárny vzhľad podobný popúšťanému martenzitu a vytvára sa vždy pri teplotách pod 350°C. Tieto rozdiely v mikroštruktúre horného a dolného bainitu ocelí vedú k rozdielom v ich mechanických vlastnostiach. Zvyčajne oceľ s mikroštruktúrou dolného bainitu má vyššiu pevnosť a húževnatosť ako oceľ s mikroštruktúrou horného bainitu [1-3]. Podrobné štúdium mikroštruktúry bainitických ocelí ukázalo, že bainitické ocele sa dajú podľa nej rozdeliť na približne tri typy [1,14]: acikulárny ferit s vnútornými časticami cementitu (známy ako dolný bainit); acikulárny ferit spojený medzičasticovými časticami alebo filmami cementitu a/alebo austenitu (známy ako horný bainit); a acikulárny ferit s nespojitými ostrovčekmi austenitu a/alebo martenzitu. Horný bainit pozostáva zo zhlukov feritických doštičiek s identickou kryštalografickou orientáciou tesne pripojených k austenitu v ktorom rastú. Predĺžené častice cementitu lemujú hranice týchto doštičiek, množstvo a súvislosť cementitových doštičiek závisí na koncentrácii uhlíka v oceli.

Bainitické ocele obyčajne obsahujú 0,15-0,45% uhlíka, 0,3-2,0% mangánu, 0,15-0,2% kremíka, 0,5-3,0% chrómu a nakoniec jeden z nasledujúcich prvkov: molybdén, nikel, meď, niób, vanád, titán alebo bór. Niekedy sa pre zníženie obsahu kyslíka a dusíka pridávajú do ocele hliník a titán, aby sa zabránilo ich zlučovaniu s bórom. Bolo urobených mnoho pokusov zlepšiť koľajnicové ocele využitím bainitickej štruktúry, ale so zmiešanými výsledkami. Nízkouhlíkové bainitické ocele prevyšujú perlitické ale iba v oblasti nízkych tvrdostí. Vysokouhlíkové bainitické ocele sú tvrdšie ale sa

prejavujú zle v porovnaní s perlitickými. Použijúc analógiu s vysokopevnými oceľami [3] možno niektoré problémy spojené s vysokopevnými bainitickými koľajnicovými oceľami pripísať hrubým karbidom spojeným s bainitickou mikroštruktúrou (aj keď iba táto skutočnosť nevysvetľuje všetky problémy spojené s bainitom). Precipitáciu cementitu počas bainitickej premeny je možné potlačiť prídavkom cca 1,5 hmot.% kremíka, ktorý má malú rozpustnosť v cementite a značne brzdí jeho rast [4]. Zaujímavá štruktúra vzniká, ak sa premení takáto kremíkom legovaná oceľ na horný bainit. Uhlík, ktorý je vytlačený do zvyškového austenitu namiesto toho, aby precipitoval ako cementit, ostáva v austenite a stabilizuje ho po teplotu miestnosti. Výsledná mikroštruktúra pozostáva z jemných doštičiek bainitického feritu oddelených oblasťami austenitu obohateného o uhlík ( obr. 4) a malým množstvom martenzitu. Približné zloženie ocele, ktorá sa takto správa je: Fe - 0,4C - 1,5Si - 2,0Mn - 0,25Mo v hmotnostných percentách, prísada molybdénu zabraňuje skrehnutiu hraníc pôvodných austenitických zŕn segregáciou fosforu [7].

**Obr. 4. Typické štruktúry lamelárneho perlitu a bainitu. 800x [7].**

Všeobecné porovnanie charakteristík bainitických a perlitických ocelí na železničné koľajnice môžeme zhrnúť nasledovne:

1. Vo všeobecnosti majú perlitické koľajnicové ocele vyššiu odolnosť oproti opotrebeniu ako bainitické.
2. Bainitické ocele majú vyššiu únavovú pevnosť ako perlitické koľajnicové ocele.
3. Bainitické koľajnicové ocele majú skoro dvojnásobnú lomovú húževnatosť ako perlitické.
4. V spôsobe šírenia sa únavových trhlín sa nenašli pre tieto dva druhy koľajnicových ocelí významné odlišnosti.

Doteraz popísané javy napovedajú, že s ohľadom na kontaktnú únavu vznikajúcu pri prechádzaní kolies po koľajnici ako sú odlupovanie šupín a lom, majú bainitické koľajnicové ocele materiálové charakteristiky rovnaké alebo lepšie ako majú perlitické koľajnicové ocele [11-13]. Dôsledkom je, že zlepšením odolnosti oproti opotrebeniu bainitických koľajnicových ocelí budú mať koľajnice z nich dlhú životnosť, pretože majú výbornú odolnosť oproti opotrebeniu a valivej kontaktnej únave [17-22].

Modernejšie skúšky lomovej húževnatosti, ktoré majú tendenciu zaradiť všetky perlitické koľajnicové ocele do jednej skupiny s jej nízkou hodnotou, ukazujú pri bainitických oceliach zlepšenie. Toto zlepšenie v húževnatosti značne vzrastá, čoho dôsledkom je zvýšenie veľkosti v prevádzke tolerovateľnej praskliny bez porušenia koľajnice až 2,7 krát

čo umožňuje ľahšie nájsť defekt a nahradiť koľajnicu plánovaným spôsobom [9,10].

**Obr. 5. Tranzitné krivky húževnatosti perlitickej a bainitickej ocele [5].**

Vyššie Charpyho hodnoty rázovej húževnatosti indikujú väčšiu schopnosť vydržať rázovú deformáciu a nižšiu citlivosť na koncentrácie napätí. Lomová húževnatosť bežných perlitických ocelí je približne  $30 \div 35 \text{ MPam}^{1/2}$ , zatiaľ čo v bainitických oceliach okolo  $50 \div 60 \text{ MPam}^{1/2}$ . Čím je vyššia lomová húževnatosť, tým väčšie praskliny môžeme tolerovať bez toho, že by nastal lom. Oblasť teplôt, ktorým sú koľajnice vystavené behom roka predpokladáme približne  $-10 \div +65 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Potenciálne výhody zmiešanej mikroštruktúry bainitického feritu a austenitu možno uviesť nasledovne [5]:

1. Odstránil sa krehký cementit, čím sa stala oceľ odolnejšou oproti štiepnemu lomu a tvorbe necelistvostí.
2. Bainitický ferit je ochudobnený o uhlík, čo je výhoda, pretože je známe že uhlík zvyšuje krehkosť feritu.
3. Pevnosť bainitickej mikroštruktúry ktorá vzniká jednoduchým tepelným spracovaním má pôvod v ultratenkých doštičkách feritu, oveľa tenších ako milióntina metra. Toto nemožno dosiahnuť žiadnym iným komerčne uskutočniteľným spôsobom. A navyše zjemnenie mikroštruktúry je jediným mechanizmom, ktorým možno súčasne zlepšovať pevnosť aj húževnatosť ocele.
4. Tvárny film austenitu medzi doštičkami feritu spôsobuje otupovanie hrotov šíriacich sa trhlín.
5. Difúzia vodíka v austenite je pomalšia ako difúzia vodíka vo ferite. Preto prítomnosť austenitu vedie k zlepšeniu odolnosti oproti korózii pod napätím.

Ocele s takouto mikroštruktúrou sú lacné. Všetko, čo je pri nich potrebné je, aby bol obsah kremíka dostatočne vysoký na to, aby potlačil tvorbu cementitu.

## **OPOTREBENIE**

Jedným z najdôležitejších faktorov určujúcich životnosť koľajníc je opotrebenie. Opotrebenie koľajovej cesty zahŕňa „prirodzené“ mechanické opotrebenia ako je abrazívne a adhezívne opotrebenie z kontaktu kolies s koľajnicami a úmyselné brúsne opotrebenie [18]. Periodické brúsenie koľajníc je nevyhnutné, aby sa odstránili

mikropraskliny vedúce ku kontaktnej únave (rolling contact fatigue, RCF). Opotrebeniu a kontaktnej únave sa venuje značná pozornosť, pretože ak obidve úspešne kontrolujeme, zvyšujeme tým výkonnosť a životnosť koľajníc. Aj keď tvrdosť vo všeobecnosti pozitívne vplyva na opotrebovanie koľajníc, je tu hranica tvrdosti, ktorú možno dosiahnuť v moderných koľajniciach. Prirodzene ochladzované štandardné koľajnice majú v perlite veľké medzilamelárne vzdialenosti a nízku hodnotu tvrdosti okolo 300 HB. Drahšie koľajnice vyrobené využitím riadeného ochladzovania majú v perlite menšiu medzilamelárnu vzdialenosť a tým aj vyššiu tvrdosť okolo 340÷390 HB. Úsilie o vývoj koľajnicových ocelí s vyššou tvrdosťou a alternatívnou mikroštruktúrou viedol k vývoju niekoľkých bainitických ocelí.

Ako dôsledok vlakovej premávky povrchové vrstvy ocele koľajníc a kolies podliehajú štruktúrnym modifikáciám [22-26]. Kĺzanie pozdĺž druhého kovového povrchu pri veľkých kontaktných tlakoch a veľkých relatívnych rýchlostiach môže vyústiť do termomechanického poškodenia (thermomechanical damage, TMD), ktoré je najcharakteristickejšie tvorbou takzvanej „bielej vrstvy“. Podľa jednej hypotézy martenzitická štruktúra bielej vrstvy, (jej charakteristikou sú superjemné austenitické zrná, jemná ihlicovitá štruktúra a zvýšené množstvo zvyškového austenitu) sa môže vytvoriť rýchlym ohriatím teplom uvoľneným pri trení a plastickej deformácii povrchovej vrstvy s následným rýchlym ochladením odvedením tepla do kontaktujúcich sa častí. Tieto poškodenia sa uvažujú zvlášť ako defekty koľajníc a kolies. „Biela vrstva“ môže iniciovať krehký lom a únavu súčastí, vedie k vylupovaniu šupín na plochách s termomechanickým poškodením.

Okrem chemického zloženia a mikroštruktúry ocele, dôležitú úlohu v termomechanickom poškodení hrajú aj nečistoty v oceli. Inklúzie MnS s rastúcim parametrom dĺžka/jednotková plocha zvyšovali rýchlosť opotrebenia a výskyt vylupovania (flaking). Inklúzie MnS sa skoro vždy nachádzali v podpovrchových prasklinách, v deformáciou spevnených, opotrebených a povrchových šmykových vrstvách. Na druhej strane tvrdé oxidy ( $Al_2O_3$ , silikáty) hrajú pri opotrebení typu vytvárania šupín malú úlohu [20,21].

## **ZVÁRANIE KOĽAJNICOVÝCH OCELÍ**

Ako už bolo uvedené, pre zváranie koľajníc sa používajú dve bežné metódy: odporové zváranie s odtavením a termitové resp. aluminotermické zváranie.

Odporové zváranie s odtavením je zvárací proces ktorý vytvára zvary tesne pripojených čiel súčastí pomocou výbojov a el. oblúka a použitím tlaku, keď už sa ohrev v podstate skončil. Výboje sú spôsobené vysokou prúdovou hustotou na malých kontaktoch medzi



dvomi zváranými časťami. Keď sa obidve zvárané časti pomaly k sebe približujú sa roztavený materiál násilne vytláča zo spoja. Proces zvárania je ukončený rýchlym dotlačením zváraných častí.

Dve časti, ktoré sa majú zvariť sa upevnia v čelustiach (elektródach) spojených so sekundárom odporového zvaracieho transformátora. Keď sa postupne priblíži jedna zváraná časť k druhej, pripojí sa na elektródy napätie. Keď nastane kontakt na povrchových nerovnostiach, nastane v týchto miestach odporový ohrev. Vysoké prúdy v týchto miestach spôsobujú rýchle tavenie a vyparovanie kovu v kontaktných bodoch a potom sa tvoria maličké oblúky. Tento dej sa nazýva „flashing“ (iskrenie). Ako sa zvárané časti oddeľujú vhodnou rýchlosťou, iskrenie pokračuje, dokiaľ priložené časti nie sú pokryté roztaveným kovom a dokiaľ úzka podpovrchová vrstva nedosiahne kovaciu teplotu. Zvar je potom vytvorený stlačením čelustí, v ktorých sú súčasti upevnené tak, aby sa priložené plochy dostali do úplného kontaktu a súčasti sa skovali za tepla. Oblúkové napätie sa aplikuje na začiatku upnutia. Stuhnutý kov vytlačený z rozhrania sa označuje výronok.

Termitové zváranie je zvarací proces, ktorým vytvárame spojenie kovov ich ohrevom prehriatym roztaveným kovom z chemickej reakcie medzi kovovým kysličníkom a hliníkom bez alebo s pôsobením tlaku. V reakcii je hliník reakčným činiteľom. Teoreticky môžu byť použité aj iné prvky ako horčík, kremík a vápnik, ale ako sa zistilo, horčík a vápnik majú v praxi obmedzené použitie. Kremík sa používa často v termitových zmesiach na tepelné spracovanie, ale veľmi zriedkavo pri zváraní. V niektorých prípadoch sa používa ako redukčné činidlo zliatina hliníka s kremíkom. Plniaci kov sa tak získa exotermickou reakciou medzi kysličníkom železa a hliníkom. Termitové zmesi sú dostupné pre mnoho koľajnicových ocelí, medzi ktoré patria aj Cr, Cr-Mo, Cr-V, Cr-Mn a Si zliatinové ocele. Prídavky kovov vzácnych zemín alebo ich zliatin môžu znížiť množstvo síry a fosforu vo zvarovom kove, čo má za následok zlepšenie mechanických vlastností. Aby sa získala zliatina správneho zloženia, pridávajú sa do zmesi zliatiny ako feromangán spolu s kúskami mäkkej ocele, obidve vo forme malých častíc dovoľujúcich rýchle rozpustenie v roztavenom železe na riadenie teploty a zvýšenie výťažnosti kovu. Úplná separácia trosky v krátkom čase sa dosiahne pridaním zlúčenín ako uhličitan vápenatý, fluoritu (kazivec) a pod. Teplota, ktorá vzniká pri tejto reakcii je približne 2500°C. Prehriata oceľ je umiestnená v kelímku, ktorý je umiestnený bezprostredne nad zvarovým spojom. Prehriata oceľ je vypustená do formy, ktorá je vytvorená okolo častí, ktoré sa majú zvariť. Keďže je skoro dvakrát horúcejšia ako taviaca teplota základného kovu, natavujú sa hrany spoja roztavenou oceľou z kelímka (obr. 6).

***Obr. 6. Rez formou termitového zvárania s kelímkom pripraveným na zváranie.***

Normálne tepelné straty spôsobujú chladnutie a kryštalizáciu kovu, nastáva spojenie a zvar je hotový. Takéto zváranie trvá v typickom prevedení na trati 55 minút. Predhriatie koncov koľajníc (na cca 1000 °C) sa požaduje na to, aby mohol vyliaty kov odplaviť kysličníky, ktoré vznikli oxidáciou koncov koľajníc; inak sa roztavený kov môže podchlaďiť a tuhnúť bezprostredne pri kontakte so studenými koncami koľajníc bez odplavenia povrchových oxidov.

Na priereze zvaru sa môžu objaviť malé inklúzie alebo praskliny [15, 16, 28]. Vďaka liatej štruktúre zvaru termitový zvárací proces generuje praskliny oveľa viac ako odporové zváranie s odtavením.

***Obr. 7. Schéma ručného oblúkového zvaru.***

Defekty termitových zvarov sú často nedostatočné zatečenie, sťažneniny, horúce mikropraskliny, plynové bubliny (póry) a inklúzie zavlečené z trosky alebo formy. Defekty odporových zvarov s odtavením sú skoro vždy obmedzené na kysličníky železa v oblasti natavenia, vnútorné poruchy v zvare, alebo mikroštruktúrne zmeny spôsobené povrchovým opracovaním po zváraní [27]. Aby sa zabránilo nepredvídaným udalostiam spôsobeným deštrukciou zvarov a nižšie náklady na údržbu, sa železničný priemysel veľmi zaujíma o detailné numerické a únavové analýzy zvarov vyhotovených rôznymi spôsobmi. Obidva typy zvárania zavádzajú podobné zvyškové napätia v päte, stojine a hlave koľajnice.

Vložené oblúkové zvary majú dobrú kvalitu a zriedka alebo nikdy nezlyhajú v počiatočných štádiách ich exploatacie. 70% porúch spôsobujú únavové lomy koľajnicových hláv a počiatkom únavovej trhliny je malý zvárací defekt ako sú likvačná prasklina v tepelne ovplyvnenej oblasti, horúca prasklina, vtrúsenina trosky a pod. v hlave koľajnice. Na druhej strane 25% porúch sa pri únavovom lome začína z malého rovinného defektu ako je nedokonalý prievar na päte koľajnice. Počiatkom únavového poškodenia koľajnicovej hlavy je obvykle malý defekt, ktorý je vzdialený menej ako 20 mm od horného povrchu hlavy. Na druhej strane únavové poškodenie v päte koľajnice

býva spôsobené neúplným priedvarom. Aby sa zabránilo porušeniu v počiatkových štádiách exploatacie je nutná kontrola päty koľajnice na takéto diskontinuity.

V prípade ručného oblúkového zvarovania (MMAW), ktoré sa využíva iba v nutných prípadoch, je koľajnica predhriata na 350 – 400 °C a pre podporu päťnej časti koľajnice sa používa keramická podložka. Šírka zvarovej medzery je 3 – 4 cm a zvárame s použitím vhodnej elektródy, napr. OK 74.78 s využitím krokového (zigzag) procesu pri nanášaní zvaru. K dispozícii je sada vhodných prefabrikovaných foriem pre daný prierez koľajnice, z ktorých sa vyberie najvhodnejšia. Potom sa formy priložia k zvarovým žehličkám. Vrch zvaru sa nanáša tvrdou elektródou, ako je napr. OK 83.28. Prevýšenie zvaru možno odstrániť ešte za horúca alebo ručným cizelovaním, alebo s použitím hydraulických zvarových kladív.

### **Literatúra**

1. Heller, W. and Schweitzer, R. (1982) Hardness, microstructure and wear behaviour of rail steels, 2nd Int. Conf. Heavy Haul Railways, Colorado, USA, pp.282-286.
2. H.K.D.H.Bhadesia: Steels for rails, Encyclopedia of Materials Science and Technology, 2002, pp.1-7, Elsevier Science.
3. H.A.Aglan, Z.Y.Liu, M.F.Hassan, M.Fateh: Mechanical and fracture behaviour of bainitic rail steel. J. of Materials Processing Technology, 151 (2004), pp.268-274.
4. H.K.D.H.Bhadesia, M.Lord, L.-E. Svensson: Silicon-rich bainitic steel welds. Proc.Int.Conf. Joining & Welding Solutions to Industrial Problems, JWRI, Osaka University, 2003, pp.43-52.
5. H.K.D.H.Bhadesia: High performance bainitic steels. Materials Science Forum, vols. 500-501 (2005), pp.63-74.
6. Science in Parliament. British Steel: Innovation in Rail Steels – The new low carbon bainitic alloy provides increased safety and longer life for rails. July/August, 1996.
7. H.Yokoyama, S.Mitao, S.Yamamoto, Y.Kataoka, T.Sugiyama: High strength bainitic steel rails for heavy haul railways with superior damage resistance. NKK Technical Review No.84 (2001), pp.44-51.
8. Ohmori Y. The crystallography and the mechanism of upper bainite formation. In: Inoue K, Mukherjee K, Otsuka K, Chen H, editors. Displacive phase transformations and their applications in materials engineering, the minerals. Metals Park, OH: Metals and Material Society; 1998. p. 85.
9. I.Dlouhý, M.Holzmann, J.Zbořil: Fracture behaviour of welds made of pearlitic and bainitic steel. 20th.Int.Conf.on Heat Treatment:

- Heat treated materials, microstructure and properties relationships. Brno, Czech Republic, 2005, pp.19-26.
10. H.A.Aglan, Z.Y.Liu, M.F.Hassan, M.Fateh: Mechanical and fracture behaviour of bainitic rail steel. *J.of Materials Processing technology*, 151 (2004), pp.268-274.
  11. A.Skyttebol, B.L.Josefson, J.W.Ringsberg: Fatigue crack growth in a welded rail under the influence of residual stresses. *Engineering Fracture Mechanics*, 72 (2005), pp.271-285.
  12. J.-K. Kim, Ch.-S. Kim: Fatigue crack growth behaviour of rail steel under mode I and mixed mode loadings. *Materials Science and Engineering*, A338 (2002), pp.191-201.
  13. C.D.Liu, M.N.Bassim, S.St.Lawrence: dependence of the fatigue limit of rail steels on stress intensity factor near inclusions. *Engineering Fracture Mechanics*, 50 (1995), pp.301-307.
  14. A.Lambert-Perlade, A.F.Goutgues, A.Pineau: Austenite to bainite transformation in the heat-affected zone of a high strength low alloy steel. *Acta Materialia*, 52 (2004), pp.2337-2348.
  15. L.C.Schroeder, D.R.Poirier: The mechanical properties of thermite welds in premium alloy rails. *Materials Science and Engineering*, 63 (1984), pp.1-21.
  16. P.J.Mutton, E.F.Alvarez: Failure modes in aluminothermic rail welds under high axle load conditions. *Engineering Failure Analysis*, 11 (2004), pp.151-166.
  17. M.Ueda, K.Uchino, Kobayashi: Effect of carbon content on wear property in pearlitic steels. *Wear* 253 (2002), pp.107-113.
  18. N.Jin, P.Clayton: Effect of microstructure on rolling/sliding wear of low carbon bainitic steel. *Wear*, 202 (1997), pp.202-207.
  19. P.Clayton, R.Devanathan: Rolling/sliding wear behaviour of a chromium-molybdenum rail steel in pearlitic and bainitic conditions. *Wear*, 156 (1992), pp.121-131.
  20. D.M.Fegredo, M.T.Shehata, A.Palmer, J.Kalousek: The effect of sulphide and oxide inclusions on the wear rates of a standard C-Mn and Cr-Mo rail steel. *Wear*, 126 (1988), pp.285-306.
  21. J.Kalousek, D.M.Fegredo, E.E.Laufer: The wear resistance and worn metallography of pearlite, bainite and tempered martensite rail steel microstructure and hardness. *Wear* 105 (1985), pp.199-222.
  22. D.M.Fegredo, J.Kalousek, M.T.Shehata: The effect of progressive minor spheroidization on the dry-wear rates of a standard carbon and Cr-Mo alloy rail steel. *Wear*, 161 (1993), pp.29-40.

23. H.Yokoyama, S.Mitao, S.Yamamoto, M.Fujikake: Effect of angle of attack on flaking behaviour in pearlitic and bainitic steel. *Wear* 253 (2002), pp.60-66.
24. K.M.Lee, A.A.Polycarpou: Wear of conventional pearlitic and improved bainitic rail steels. *Wear* 259 (2005), pp.391-399.
25. L.C.Chang: The rolling/sliding wear performance of high silicon carbide-free bainitic steels. *Wear* 258 (2005), pp.730-743.
26. Y.V.Milman, K.E.Grinkevych, S.I.Chugunova, W.Lojkowski, M.Djahanbakhsh, H.J.Fecht: Tribological properties of the surface of railway tracks, studied by indentation technique. *Wear*, 258 (2005), pp.77-82.
27. L.Podofillini, E.Zio, J.Vatn: Risk-informed optimisation of railway tracks inspection and maintenance procedures. *Reliability Engineering & System Safety*, 91 (2006), pp.3495-3510.
28. L.C.Schroeder, D.R.Poirier: The mechanical properties of thermite welds in premium alloy rails. *Materials Science and Engineering*, 63 (1984), pp.1-21.

### ***Informácie výboru Spoločnosti***

Výbor Spoločnosti na svojom zasadnutí 25. 11. 2008 v Košiciach stanovil, že výška členského na budúci rok bude 4 EUR (1EUR pre dôchodcov), odmena za prednášku a tiež za príspevok do Správ 20 EUR.

Členovia Spoločnosti majú nárok na 20% zľavu na knihy vydávané vydavateľstvom Veda. Predajňa vydavateľstva je na Štefánikovej 3 v Bratislave. Bližšie informácie o edičnom pláne sú na <http://www.veda.sav.sk/>. V predajni majú aktuálny zoznam členov, okrem toho pri kúpe je potrebné predložiť príjmový pokladničný blok o zaplatení členského na príslušný rok. Na požiadanie zabezpečí príjmový doklad člen výboru na príslušnom pracovisku. V budúcom roku dostane príjmový doklad každý, kto zaplatí členské.

V roku 2009 by sa malo konať Valné zhromaždenie, predpokladáme, že to bude spojené s jednou z konferencií, na ktorých sa podieľa Spoločnosť. Členovia budú včas informovaní na stránke Spoločnosti.

Informácia o ďalšej konferencii: Konferencia "Aluminium 2009" sa uskutoční v dňoch 14. - 16.10.2009 na Machovom jazere - ČR. Konferencia bude súčasťou osláv 100-ho výročia založenia firmy v Děčíne ako i 50-ho výročia príchodu prvých absolventov HF TU v Košiciach do Děčína.

**Prijemné a pokojné vianočné sviatky,  
veľa zdravia, osobných a pracovných úspechov v roku 2009**

**Vám praje  
výbor Vedeckej spoločnosti  
pre náuku o kovoch pri SAV**

*Správy Vedeckej spoločnosti pre náuku o kovoch pri SAV vydáva výbor Spoločnosti.*

*Zodpovedný pracovník : Doc. Ing. Maroš Martinkovič, PhD.*

*Adresa Spoločnosti : Vedecká spoločnosť pre náuku o kovoch pri SAV*

*Ing. Pavol Štefánik, CSc.*

*Račianska 75, 831 02 Bratislava 3*