



## R65 TIPO BĖGIO KONTAKTINIO SUVIRINIMO JUNGTIES TYRIMAS

Kęstutis DAUSKURDIS<sup>1</sup>, Vitalijus RUDZINSKAS<sup>2</sup>

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas*

*El. paštas: <sup>1</sup>kesdau@gmail.com; <sup>2</sup>vitalijus.rudzinskas@vgtu.lt*

**Santrauka.** Straipsnyje nagrinėjama R65 tipo bėgio kontaktinio suvirinimo jungtis. Atlikti svarbūs tyrimai, kuriuos sudaro šios dalys: apžiūrinimasis paviršiaus tyrimas, ultragarsinės kontrolės tyrimas, važiuojamasis paviršiaus kieto bandymas, sulydymo zonos nustatymas, termiškai suminkštintos zonos kieto matavimas, mikrokietumo matavimas, mikroskopinis jungties matavimas, terminio poveikio ir sulydymo zonų tyrimas, smūginio tūsumo bandymas, cheminė analizė, aširačio bandažo ir bėgio sąveikos tyrimas baigtinių elementų metodu (BEM). Išanalizuoti gauti tyrimo rezultatai, kuriais įvertinama suvirinimo siūlės kokybė. Pateiktos tiriamojo darbo išvados.

**Reikšminiai žodžiai:** kontaktinis suvirinimas, bėgiai, ardomoji ir neardomoji kontrolė, jungties defektai.

### Išvadas

Bėgiai yra pagrindiniai laikantieji viršutinės bėgių kelio konstrukcijos elementai. Pagrindinė bėgių paskirtis yra atlaikyti krūvius ir nukreipti geležinkelio transportą. Viršutinės bėgių kelio konstrukcijos elementai yra tiesiogiai veikiami apkrovų, kurias sukelia riedmenų ratai, todėl bėgiai turi atlaikyti dideles dinamines apkrovas vertikalia, išilgine ir skersine kryptimis. Siekiant užtikrinti saugų traukinių eismą, bėgiai turi būti lygūs, kad traukinio judėjimo pasipriešinimas būtų minimalus, pakankamai šiuurkštūs, kad tarp aširačio ir bėgio susidarytų trinties sąveikos jėga ir traukinys galėtų pradėti judėti iš vietos ir padidinant trauką, taip pat klampūs (ne trapūs), kad sugertų dinaminę apkrovą, atsparūs dilimui, aplinkos korozijai, temperatūros svyravimams, pasižymėti patvarumu, technologiškumu ir ilgu tarnavimo laiku (LST EN ISO 13674-1:2011).

Bėgiai negali būti eksploatuojami, jei juose atsiranda defektų, keliančių pavojų saugiam traukinių eismui. Suvirinimo jungčių defektams ir jų atsiradimo priežastims nustatyti yra naudojami neardomieji ir ardomieji bandymai (Stolarski *et al.* 2012).

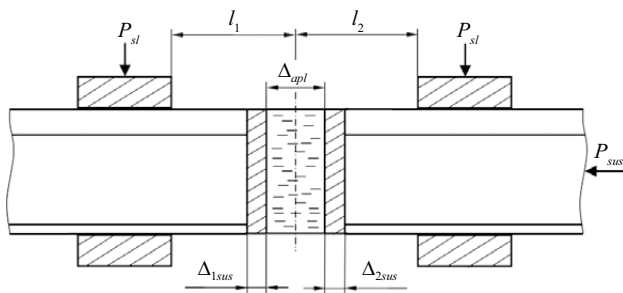
Dėl įvairių technologinių ir ekonominių reikalavimų sandūriniai keliai (bėgiai) buvo pakeisti besandūriais. Besandūriai keliai – tai 800–1500 m ilgio bėgiai, suvirinti iš paprastųjų 25 m ilgio bėgių. Dėl jų viršutinės bėgių kelio konstrukcijos elementai naudojami ilgiau, sudaromos

mažesnės išlaidos kelio priežiūrai ir traukinių traukai. Besandūriais keliais traukiniai gali važiuoti didesniu greičiu (Šimonėlytė *et al.* 2011).

Bėgiams suvirinti taikomi įvairūs būdai, dažniausiai termitinis ir kontaktinis, rečiau dujinis slėginis ir elektrošlakinis. Iš šių suvirinimo būdų Lietuvoje taikomas termitinis arba kontaktinis (Rauduvė, Rudzinskas 2013).

Kontaktinis suvirinimo būdas pasižymi dideliu našumu, gaunama pagrindinio ir pagalbinio metalo ekonomika, taupiai naudojama elektros energija, bėgiai suvirinami mobiliuoju arba stacionariuoju būdu, visas procesas lengvai mechanizuojamas ir automatizuojamas, gaunamos aukštos kokybės ir patikimos jungtys, procesas nereikalauja aukštos kvalifikacijos suvirintojų. Tačiau šis suvirinimo metodas turi ir trūkumų, kurie mažina jo paklausą. Tai dideli įrangos matmenys bei didelė siūlės savikaina.

Virinant kontaktiniu alydomuoju būdu pirmiausia bėgiai įtvirtinami į specialius elektrodus, įjungiamą įtampa, paskui detalės suspaudžiamos. Procesas sužadinas ir palaikomas nuolat suartinant bėgius vienodu arba augančiu greičiu. Įkaitus detalėms iki reikiamos temperatūros, esantis prie bėgių skystas metalas išteškiamas, o bėgiai susodinami (1 pav.). Lydidas su oksidais išteškiamas iš jungties sandūros, o perkaitęs prie sandūros esantis metalas intensyviai deformuojasi.



1 pav. Kontaktinio aplydomojo suvirinimo schema:

$P_{sl}$  – elektrodų slėgio jėga;  $P_{sus}$  – bėgių susodinimo jėga;  $\Delta_{1sus}$ ,  $\Delta_{2sus}$  – bėgių susodinimo dydžiai;  $\Delta_{apl}$  – aplydymo dydis;  $l_1, l_2$  – bėgių iškyšų ilgis

Fig. 1. Scheme of contact fusion welding:  $P_{sl}$  – pressure force of the electrodes;  $P_{sus}$  – rails shrinkage force;  $\Delta_{1sus}$ ,  $\Delta_{2sus}$  – rails shrinkage sizes;  $\Delta_{apl}$  – reflow size;  $l_1, l_2$  – length of rail segments

Pagrindiniai aplydomojo suvirinimo parametrai yra tokie: pirminis detalių iškyšos nuo elektrodų ilgis; visiško susodinimo jėga ir ilgis; aplydymo ir susodinimo greitis; lydymosi trukmė  $t_{lyd}$ ; antrinio kontūro tuščiosios veiklos įtampa  $U_2$ . Iškyšos ilgis parenkamas įvertinant įkaitinimo srities plotą bėgiams neprarandant stabilumo. Kuo didesnė iškyša, tuo didesnis turi būti srovės tankis ir suvirinimo grandinės įtampa. Esant mažoms iškyšoms, bėgiai įkaista nevienodai, išauga šilumos nuostoliai srovę tiekiančiuose gnybtuose ir tenka padidinti susodinimo slėgio jėgą (Naruškevičius 2012).

Šio tiriamojo darbo tikslas – ištirti R65 tipo bėgių, suvirintų kontaktiniu būdu, suvirinimo siūlės ir terminio poveikio sritis. Pateikti tyrimų metodiką, kuri leistų nustatyti suvirinimo jungties mechanines savybes, galimus defektus bei jų susidarymo priežastis. Išanalizuoti tyrimo rezultatus, kurie įvertintų R65 tipo bėgio suvirinimo siūlės kokybę.

### Tiriamasis objektas

Tyrimams buvo pasirinktas R65 tipo bėgis (2 pav.). Tai bėgis, kuris suvirintas kontaktiniu aplydomuoju būdu. Jis nebuvo eksploatuojamas, o suvirintas tam, kad būtų patikrintos jungties mechaninės savybės ir (ar) atsiradę defektai.

### Tiriomojo darbo metodika

Atsižvelgiant į tiriamojo R65 tipo bėgio būklę buvo parinkti ardomieji ir neardomieji tyrimai. Jie suskirstyti taip:

- apžiūrinimasis paviršiaus tyrimas (LST EN ISO 17637:2011);
- ultragarsinės kontrolės tyrimas (LST EN ISO 17640:2011);

- važiuojamasis paviršiaus kiečio bandymas (LST EN ISO 6506-1:2006);
- sulydymo zonos nustatymas. Forma ir matmenys (Višniakas, Rudzinskas 2012);
- termiškai suminkštintos zonos kiečio matavimas (EN ISO 6507-1:2006);
- mikroskopinis jungties matomosios terminio poveikio ir sulydymo zonų tyrimas (LST EN ISO 17639:2013);
- smūginio tūsumo bandymas (LST EN ISO 9016:2013);
- cheminė analizė;
- aširačio ir bėgio sąveikos tyrimas baigtinių elementų metodu (BEM).

### Apžiūrinimo paviršiaus tyrimo rezultatai

Virintinės bėgių siūlės rumbelės paviršius buvo nuvalytas ir nušlifuotas. Apžiūrėjus suvirintosios jungties rumbelę nebuvo pastebėta jokių 2 mm ar didesnių ilgio įtrūkių, taip pat didesnių kaip 3 mm porų ir nebuvo daugiau kaip trijų porų, kurių dydis – 2–3 mm. Šlako ir smėlio intarpai neviršijo ribų, kurios pateiktos lentelėje. Nepastebėta jokių defektų, kurie būtų patekę į bėgio skerspjūvį ar siekę siūlės rumbelės ir bėgio susikirtimo briauną.

Bėgių galvutėje ir nušlifuotame siūlės rumbelės paviršiuje abiejose bėgių galvutės pusėse nebuvo aptikta jokių įtrūkių, nepastebėta porų, šlako intarpų, metalo purslų, kurių matmenys didesni kaip 1 mm.

Kaip parodė siūlės rumbelės paviršiaus tyrimas, kokybę galima įvertinti kaip artimą idealiai. Taip yra todėl, kad suvirinus kontaktiniu būdu buvo tinkamai parinkti pagrindiniai parametrai, t. y. suvirinimo srovės dydis ir suvirinimo greitis, bėgių susodinimo jėga ir susodinimo greitis.

### Ultragarsinės kontrolės tyrimo rezultatai

Buvo visapusiškai atlikta bėgių vidinė diagnostika galvutėje, kakliuke ir pade. Kontroliuojant virintinę jungtį ir šalia jos esančias vidines zonas susidurta su sudėtinga jų forma kontrolės požiūriu. Nebuvo galima kontroliuoti siūlės ir kitas vidines vietas stačiai jų ašies, tad buvo naudojami prizminiai (kampiniai) iešdikliai.

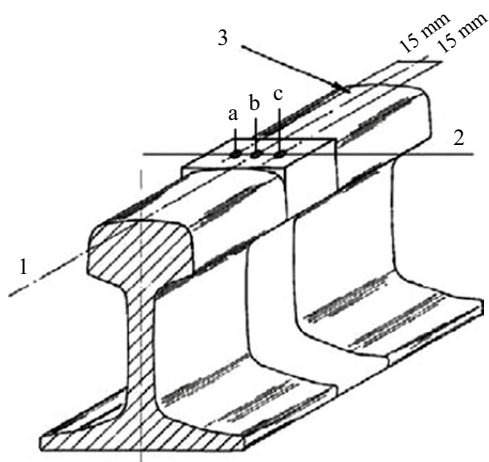
Kontrolės metu ultragarsiniu keitikliu (iešdikliu) tikrinant įvairias bėgio vidines vietas, defektoskopo ekrane, taikant zonduojančius impulsus (atsižvelgiant į signalo padėtį ekrane (laiko ašį) ir signalo dydį (aukštį)) neaptikta jokių plyšių, šlakų, porų, intarpų, nesulydytų vietų ir kt.

## Važiuojamojo paviršiaus kietčio bandymo rezultatai

Atlikus važiuojamojo paviršiaus kietčio matavimo procedūrą Brinelio metodu buvo gauti tokie rezultatai:

- bėgio važiuojamojo paviršiaus ant nepaveikto pirminio bėgio taško a (2 pav.) kietis lygus 378 HB;
- siūlės centrinės linijos taško b kietis buvo gautas 359 HB;
- bėgio važiuojamojo paviršiaus ant nepaveikto pirminio bėgio taško c kietis buvo lygus 370 HB.

Šiuos rezultatus palyginus su važiuojamojo paviršiaus leistinaisiais bėgio markės kietčio bandymų intervalais, galima teigti, kad jie tenkina reikalavimus, t. y. bėgio važiuojamojo paviršiaus ant nepaveikto pirminio bėgio kietčio intervalas turi būti nuo 350 iki 390 HB, o siūlės centrinės linijos –  $350 \pm 20$  HB (kaip to reikalauja Lietuvos standartas). Tyrimams panaudotas universalus kietmatis Zwick/Roell ZHU.



2 pav. Paviršiaus kietčio bandymų vietos: 1 – bėgio viršaus centrinė linija; 2 – siūlės skersinė centrinė linija; 3 – bėgio važiuojamasis paviršius

Fig. 2. The test sites of surface hardness: 1 – center line of a rail top, 2 – transverse weld center line, 3 – running surface of a rail

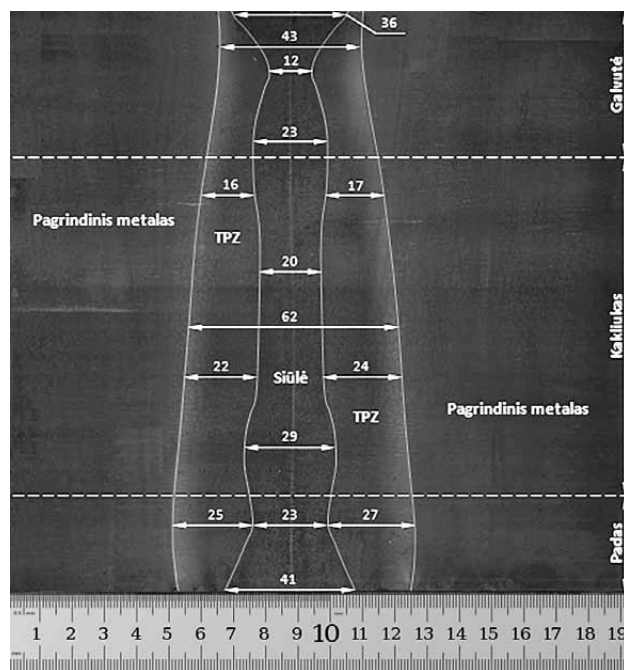
## Sulydymo zonos nustatymas

Suvirintas R65 markės bėgis buvo išilgai perpjautas. Dideli paviršiaus nelygumai, aušinant vandeniu, nušlifuoti skirtingo rupumo švitriniais popieriais, pradedant rupiausiais abrazyvo grūdeliais, kurių matmenys yra 160–200  $\mu\text{m}$  dydžio, ir baigiant labai smulkiais abrazyvo grūdeliais – 1–2  $\mu\text{m}$  dydžio. Kai ant nušlifotos plokštumos buvo matomi tik pačių smulkiausių abrazyvo grūdelių įbrėžimai, paviršius buvo poliruojamas.

Nupoliruotas bėgio paviršius išsėdintas tolygiai parnardintas į 4 % nitalio tirpalą, išlaikius apie 5–6 s. Tada nuplautas distiliuotu vandeniu ir džiovintas, galiausiai nuo jo paviršiaus techniniu spiritu pašalinamas riebumas. Buvo nustatyti išryškintos sulydymo zonos forma ir matmenys. Tyrimams panaudotas mikroskopas Nikon MA200.

Gauti rezultatai parodė nemažus skirtumus, palyginti su termitiniu būdu gautomis sulydymo zonos geometrijomis (3 pav.). Šiuos skirtumus galima išskirti taip:

- bėgio galvutės sulydymo zonos geometrija, suvirinant kontaktiniu būdu, palyginti su termitiniu būdu gautomis sulydymo zonos geometrijomis, pasižymi du kartus siauresne siūlės sritimi ( $\approx 36$  mm – kontaktinio suvirinimo ir  $\approx 70$  mm – termitinio suvirinimo) ir net daugiau kaip du kartus palyginti su terminio poveikio sritimi ( $\approx 15$  mm – kontaktinio suvirinimo ir  $\approx 35$  mm – termitinio suvirinimo). Jungtys, gautos kontaktiniu būdu, yra kokybiškesnės savo forma ir matmenimis negu termitinės;
- veikiant darbo ir liekamiesiems įtempiams (aširačio ir bėgio tarpkontaktinė sąveika), esant siauresnei terminio poveikio zonai, mažesnė tikimybė susidaryti plyšiams;
- suvirinant, siauresnės geometrijos jungtys gali išvengti karštųjų plyšių kristalizuojantis metalui, veikiant tempimo įtempiams.



3 pav. Bėgių, suvirintų kontaktiniu aplydomuoju būdu, sulydymo zonos geometrija (mm); TPZ – terminio poveikio zona

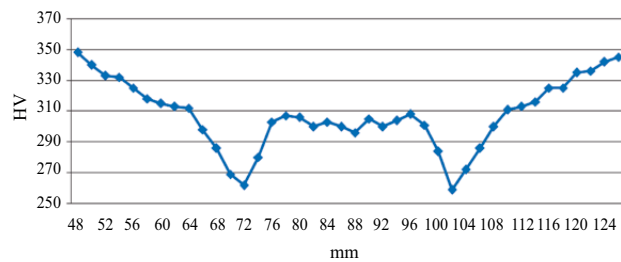
Fig. 3. Geometry of the fusion zone of the rails welded with contact welding (mm). TPZ – Heat Affected Zone

## Termiškai suminkštintos zonos kietumo bandymas

R65 markės bėgio termiškai suminkštintos zonos Vickerso kietumo matavimas buvo atliktas naudojant 30 kg apkrovą. Įspaudai įspausti linijoje, esančioje nuo 3 mm iki 5 mm žemiau bėgio važiuojamojo paviršiaus išilginėje bėgio ašyje. Matavimai buvo atlikti kas 2 mm žingsniu.

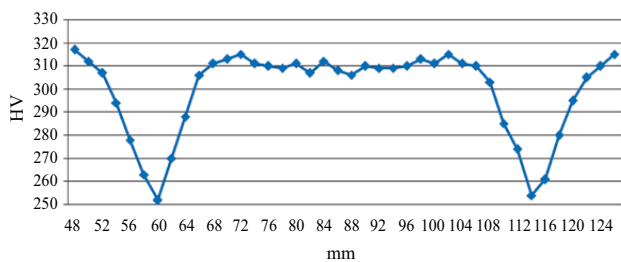
Didžiausioji termiškai suminkštintos zonos kietumo vertė gauta bėgio galvutės pagrindiniame metale (4, 5 pav.), ji yra 348 HV, o pado – 317 HV.

Mažiausioji kietumo vertė gauta pado terminio poveikio zonoje (5 pav.), ji yra 252 HV, o galvutėje – 259 HV.



4 pav. Bėgio galvutės kietumo matavimų grafikas

Fig. 4. Graph of measuring the hardness of the railhead



5 pav. Bėgio pado kietumo matavimų grafikas

Fig. 5. Graph of measuring the hardness of the base of rail

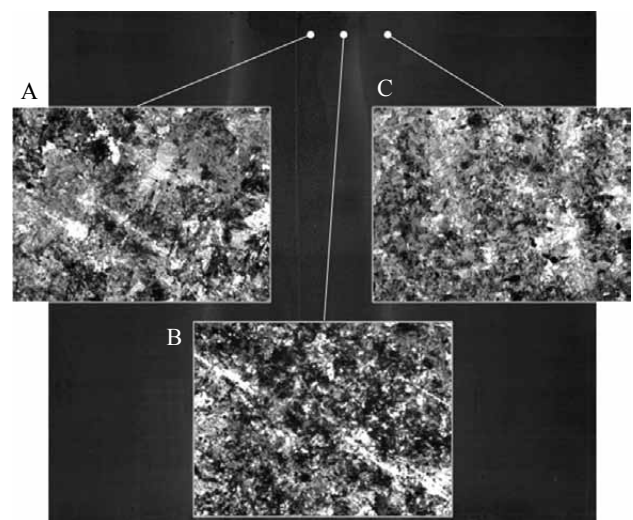
## Mikroskopinis virintinės jungties tyrimas

Šiuo tyrimu mikrošlifais, kurie buvo išpjauti iš suvirintų bėgių galvutės, kakliuko ir pado, buvo nustatyta bėgių siūlės metalo struktūra, grūdelių dydis, prie siūlės esančios zonos struktūra, t. y. terminio poveikio srities struktūra (TPZ) ir pagrindinio metalo struktūra.

Suvirinimo siūlė turi lietojo metalo struktūrą, kuri susideda iš kristalizacijos metu išaugusių stulpelio pavidalo kristalų, nes čia yra didžiausia temperatūra (didesnė nei 1100 °C). Dažnai pirminių kristalitų kontūrai sutampa su antrinių kristalitų kontūrais. Tokios struktūros mechaninės savybės yra prastesnės. Mažas metalo plastiškumas yra dėl didelio grūdėlio dydžio, jo formos, orientacijos, taip pat dėl lengvai lydymų jungčių, ardančių grūdėlių ryšį (6 pav., A).

Auštant suvirinimo jungčiai kinta ne tik virintinės siūlės metalo struktūra, bet ir prie siūlės esančio pagrindinio metalo struktūra. Virintinės siūlės ypatybė ta, kad joje susidaro struktūrų kompleksas, susidedantis iš dviejų lydymosi metu susimaišiusių pagrindinių bėgių metalų.

Mechaninės terminio poveikio zonos savybės nevienalytės (6 pav., B). Normalizacijos sritis turi geresnes mechanines savybes, viršijančias tokias pat pagrindinio metalo savybes, perkaitimo sritis turi prastesnes mechanines savybes, nes metalas įkaista iki soliduso temperatūros ir tampa stambiagrūdės struktūros, taip pat gali tapti defektų atsiradimo ir jų plitimo vieta. Įtrūkių dažnai atsiranda ne pačios siūlės metalo struktūros vietoje, bet pagrindinio metalo prie siūlės esančioje zonoje (perkaitimo srityje).



6 pav. R65 tipo bėgių, suvirintų kontaktiniu aplydomuoju būdu, galvutės mikrostruktūra, padidinta 100 kartų: A – siūlės; B – terminio poveikio zonos (TPZ); C – pagrindinio metalo

Fig. 6. The microstructure of a railhead of R65 type rails welded by contact fusion, enlarged 100 times; A – seams; B – heat affected zones (TPZ); C – main metal

Nevisiško užsigrūdinimo srities struktūroje suvirinant metalas įkaista iki žemesnės kaip  $Ac_3$  temperatūros. Žemutinė srities riba – taško  $Ac_1$  temperatūra.

Plastiškai deformuoto metalo rekristalizacijos srities struktūra nesiskiria nuo pagrindinio metalo struktūros (6 pav., C). Šios srities metalas įkaista nuo 450 °C iki  $Ac_1$  temperatūros.

1 lentelėje nurodytas gautų struktūrų mikrokietumas. Didžiausias mikrokietumas yra bėgio galvutėje – apie 34 HRC, šioje srityje dažniausia matoma trostitinė plieno struktūra, tada kakliuke – apie 31 HRC, galima pamatyti tiek sorbitinę, tiek trostinę struktūras, o mažiausias mikrokietumas – pado – apie 28 HRC, čia daugiausiai vyrauja sorbitinė plieno struktūra. Tyrimams panaudotas universalus kietmatis Zwick/Roell ZHU.



1 lentelė. Kontaktinės aplydomosios jungties struktūra ir jos mikrokietumas

Table 1. Contact fusion joint's structure and its micro hardness

	Siūlė	Terminio poveikio zona (TPZ)	Pagrindinis metalas
Galvutė	Trostitinė str., 34 HRC	Sorbitinė str., 32 HRC	Trostitinė str., 35 HRC
Kakliukas	Sorbitinė str., 32 HRC	Sorbitinė str., 28 HRC	Trostitinė str., 34 HRC
Padas	Sorbitinė str., 30 HRC	Sorbitinė str., 25 HRC	Sorbitinė str., 29 HRC

### Smūginio tūsumo bandymas

Tyrimams panaudota smūginio tūsumo bandymų mašina 2130KM-03.

Tyrimas parodė, kad bėgio plienas bei siūlės metalas yra labai trapūs. Smūginis tūsumas bėgio galvutėje ir pade beveik toks pat, t. y. 12–14 J/cm<sup>2</sup>.

Visi angliniai plienai viršija 0,5 % C kiekį metale. Jie daug stipresni už įprastus konstrukcinius plienus, tačiau pasižymi ir dideliu trapumu. Trapus suirimas yra pavojingas, nes konstrukcijos griūva staiga, be matomų deformacijų. Lūžio paviršius – blizgantis, kristalinis, eina per grūdelių ribas, kur gali susikaupti nemetalinių interpų.

### Cheminės analizės bandymas

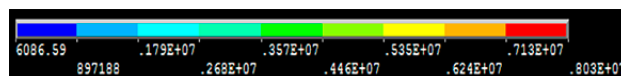
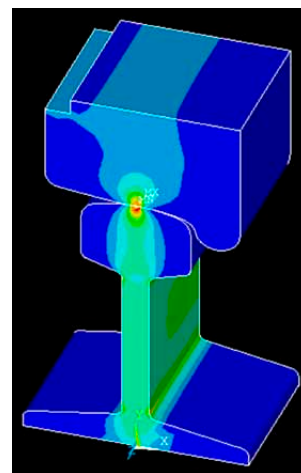
Atlikus R65 tipo bėgių kontaktinės aplydomosios jungties cheminę analizę, nustatyta, kad bėgių plienas yra anglinis, t. y. realus anglies kiekis bėgių metale – 0,77 %. Silicio ir mangano kiekiai pliene atitinkamai – 0,37 % ir 0,92 %. Sieros ir fosforo kiekiai pliene neviršija nustatytų ribų, atitinkamai yra 0,002 % ir 0,003 %. Nustatytas vanadžio kiekis metale – 0,03 % yra pastovus įvairiose bėgio vietose. Chromo ir Nikelio kiekiai pliene pasiskirsto atitinkamai – 0,02–0,03 % ir 0,03–0,04 %.

### Aširačio bandažo ir bėgio sąveikos tyrimas baigtinių elementų metodu (BEM)

Modeliuojant aširačio bandažo ir bėgio sąveiką ANSYS programine įranga remiamasi tokiais fizikiniais dydžiais ir parametrais:

- aširačio ir bėgio tarpusavio trinties koeficientas  $F_{tr} = 0,1$ ;
- aširatis sleigia bėgį  $P = 0,5$  MPa jėga;
- plieno Puasono koeficientas  $\nu = 0,3$ ;
- plieno tamprumo modulis  $E = 210$  GPa.

Pagal pateiktus 7 pav. vaizdinius ir skaitinius rezultatus matyti, kad didžiausi įtempiai pasiskirsto tarp bėgio galvutės viršutinės dalies ir aširačio bandažo apatinės dalies (kontakto vieta), t. y. 6,24–8,03 MPa. Pastebimos vidutinės įtempių reikšmės bėgio kakliuke, čia jos siekia 2,68–3,57 MPa. Mažiausi įtempiai yra šoniniuose bėgio ir bandažo plotuose, kurių dydis siekia 6086 Pa.



7 pav. Tiriamojo objekto, įtempių pasiskirstymo vaizdiniai ir skaitiniai rezultatai

Fig. 7. Visual and digital results of the stress distribution of the object under investigation

### Išvados

Atlikus važiuojamojo paviršiaus kietio matavimo procedūrą Brinelio metodu, buvo gauti tokie rezultatai: bėgio važiuojamojo paviršiaus ant nepaveikto pirminio bėgio taško a (2 pav.) kietis lygus 378 HB; siūlės centrinės linijos taško b kietis buvo gautas 359 HB; bėgio važiuojamojo paviršiaus ant nepaveikto pirminio bėgio taško c kietis buvo lygus 370 HB. Šie rezultatai, palyginti su važiuojamojo paviršiaus leistinais kietio bandymų intervalais, tenkina reikalavimus.

Bėgio galvutės sulydymo zonos geometrija, suvirinant kontaktiniu būdu, palyginti su termitiniu būdu gautomis sulydymo zonos geometrijomis, pasižymi du kartus siauresne siūlės sritimi (≈36 mm – kontaktinio suvirinimo ir ≈70 mm – termitinio suvirinimo) ir net daugiau kaip du kartus terminio poveikio sritimi (≈43 mm – kontaktinio suvirinimo ir ≈112 mm – termitinio suvirinimo). Jungtys, gautos kontaktiniu būdu, yra kokybiškesnės negu termitinės.

Didžiausioji termiškai suminkštintos zonos kietio vertė gauta bėgio galvutės pagrindiniame metale, ji yra

348 HV, o pade – 317 HV. Mažiausioji kietumo vertė gauta pado terminio poveikio zonoje, ji yra 252 HV, o galvutėje – 259 HV.

Mikroskopinio terminio poveikio jungties matomosios ir sulydymo zonų tyrimo rezultatai parodė, kad bėgio galvutėje dažniausia matoma trostinė plieno struktūra, kakliuke – tiek sorbitinė, tiek trostinė struktūros, o pade daugiausia vyrauja sorbitinė plieno struktūra.

Smūginio tūsumo tyrimas parodė, kad bėgio plienas bei siūlės metalas yra labai trapūs. Smūginis tūsumas bėgio galvutėje ir pade beveik toks pat, t. y. 12–14 J/cm<sup>2</sup>.

Aširačio bandžo ir bėgio sąveikos tyrimas baigtinių elementų metodu (BEM) parodė, kad didžiausi įtempiai pasiskirsto tarp bėgio galvutės viršutinės dalies ir aširačio bandžo apatinės dalies (kontakto vieta), t. y. 6,24–8,03 MPa. Mažiausi įtempiai yra šoniniuose bėgio ir bandžo plotuose, jų dydis siekia 6086 Pa.

## Literatūra

- EN ISO 6506-1:2006. *Metalai. Brinelio kietumo nustatymas. 1 dalis. Bandymo metodas.*
- EN ISO 6507-1:2006. *Metalai. Vickerso kietumo nustatymas. 1 dalis. Bandymo metodas.*
- LST EN ISO 13674-1:2011. *Geležinkelio taikmenys. Geležinkelio kelias. Bėgiai. 1 dalis. 46 kg/m ir didesnio svorio, plataus pagrindo geležinkelio bėgiai.*
- LST EN ISO 17637:2011. *Virintinių siūlių neardomoji kontrolė. Apžiūrimoji kontrolė.*
- LST EN ISO 17640:2011. *Virintinių siūlių neardomoji kontrolė. Suvirintųjų sujungimų ultragarsinė kontrolė.*
- LST EN ISO 17639:2013. *Metalinės medžiagos. Ardomieji siūlių bandymai. Siūlių makroskopinis ir mikroskopinis tyrimas.*
- LST EN ISO 9016:2013. *Metalo virintinių siūlių ardomieji bandymai. Smūginio tūsumo bandymai. Bandinio vieta, įpjovos orientacija ir tyrimas.*
- Naruškevičius, J. 2012. *Kontaktinis suvirinimas: mokomoji knyga.* Vilnius: Mažoji Evelina. 146 p.
- Rauduvė, M.; Rudzinskas, V. 2013. R65 tipo bėgio terminio virintinės jungties mechaninių savybių tyrimas, *Mokslas – Lietuvos ateitis* 5(6): 680–685. <http://dx.doi.org/10.3846/mla.2013.114>
- Stolarski, T.; Nakasone, I.; Yoshimoto, S. 2012. *Engineering analysis with ANSYS software. Wheel and rail contact* [interaktyvus], [žiūrėta 2013 m. birželio 17 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.dltobe.com/ebooks/97880-Engineering-Analysis-with-ANSYS-Software.html>
- Šimonėlytė, A.; Rudzinskas, V.; Mikaliūnas, Š. 2011. R65 tipo bėgio terminio suvirinimo jungties metalografinis tyrimas, *Mokslas – Lietuvos ateitis* 3(6): 29–33. <http://dx.doi.org/10.3846/mla.2011.106>
- Višniakas, I.; Rudzinskas, V. 2012. *Suvirintinių jungčių kokybės kontrolė, valdymas ir optimizavimas: mokomoji knyga.* Vilnius: Technika. 168 p. <http://dx.doi.org/10.3846/1278-S>

## RESEARCH OF THE RESISTANCE OF CONTACT WELDING JOINT OF R65 TYPE RAIL

K. Dauskurdis, V. Rudzinskas

Abstract

In the article the R65 type rail joints that were welded by resistance welding are analysed. Survey methodology of the research consists of the following parts: visual inspection of welded joint, ultrasonic rail inspection, hardness test of upper part of the rail, fusion area research, the measurement hardness test of heat-softened area, the measurement microhardness test, microstructure research of the welded joint, impact strength experiments, chemical analysis of welded joint, wheel-rail interaction research using the finite element method (FEM). The results of the research are analysed and the quality of weld is evaluated. The conclusion is based on the results of this research.

**Keywords:** resistance welding, rails, destructive and non-destructive control, weld defects.