

R65 TIPO BĖGIO TERMITINIO SUVIRINIMO JUNGTIES METALOGRAFINIS
TYRIMASAistė Šimonėlytė¹, Vitalijus Rudzinskas², Šarūnas Mikaliūnas³*Vilniaus Gedimino technikos universitetas**El. paštas: ¹suvir@vgtu.lt; ²vitrud@vgtu.lt; ³sarunas.mikaliunas@vgtu.lt*

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjami galimi termitiniu būdu suvirintų jungčių defektai, jų atsiradimo priežastys ir nurodomi būdai, kaip jų išvengti. Atlikti R65 tipo bėgių termitiniu būdu suvirintų jungčių vizualiniai paviršiaus ir lūžio tyrimai.

Reikšminiai žodžiai: bėgiai, termitinis suvirinimas, defektai.

Įvadas

Geležinkelio bėgių ir jų suvirinimo kokybė ypač svarbi geležinkelio saugumui ir bendram funkcionavimui. Geležinkelio saugumas priklauso nuo bėgių jungčių suvirinimo kokybės, kuri tiesiogiai susijusi su geležinkelio savininkų arba bėgių suvirinimo kompanijų kokybės garantijos programomis. Tuo tikslu parengtos bėgių naudojimo ir naujų bėgių priėmimo taisyklės, kuriomis vadovaujantis turi būti užtikrintas patikimas, ilgalaikis ir ekonomiškai bėgių naudojimas (Aluminothermic weld defects 2006).

Bėgiai išbandomi laikantis tam tikrų standartų ir norminių dokumentų. Ne visuomet standartai būna vienintelis tikrinimo kriterijų šaltinis. Kai kurie bandymų kriterijai gali būti paremti tyrimų rezultatais.

Bėgiai suvirinami įvairiais būdais: kontaktiniu aplydomuoju, dujiniu slėginiu ir termitiniu. Kiekvienas suvirinimo būdas turi trūkumų ir pranašumų. Termitinis suvirinimo būdas, tiesiant ilgabėgius ir remontuojant geležinkelius, taikomas ir Lietuvoje.

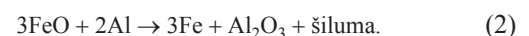
Pagrindinė bėgių paskirtis yra atlaikyti krūvius ir nukreipti geležinkelio transportą. Atšiaurioje aplinkoje naudojami bėgiai turi būti atsparūs korozijai, temperatūros svyravimams ir nuolatiniams krūviams. Veikiant šiems veiksniams bėgiai susidėvi ir ilgainiui tampa netinkami naudoti. Be to, jie turi būti paruošiami suvirinti ir suvirinami. Siekiant išvengti susidėvėjimo, kai kur grūdinama viršutinė bėgių dalis arba visas bėgis (LST EN 13674-1; GOST R 51685-2000). Bėgių susidėvėjimas gali būti skirstomas į tris grupes:

- bėgių gamybos defektai, pavyzdžiui, vandenilio įtrūkiai;
- defektai, atsiradę dėl netinkamos priežiūros, montavimo ir naudojimo;

– defektai, atsiradę dėl bėgių plieno neatsparumo.

Termitiniu būdu suvirintos jungties kokybė, kaip ir virinant visais kitais suvirinimo būdais, priklauso nuo suvirinimo technologijos (Rail welding – aluminothermic welding procedure specification 2005).

Termitinis suvirinimas – tai procesas, kurio metu vyksta egzoterminė reakcija tarp aliuminio ir geležies oksido. Cheminės reakcijos formulė:



Kai tiglyje uždegama termito porcija, prasideda cheminė reakcija, trunkanti 15–20 s. Jos metu išsiskiria didelis šilumos kiekis. Pasibaigus termitinei reakcijai, sudėtinės termito porcijos dalys, kurių temperatūra būna apie 2500 °C, išsiskiria dėl didelių tankio skirtumų. Lengvas šlakas (aliuminio oksidas) lieka paviršiuje, o metalas grimzta gilyn. Skystasis metalas patenka ant tiglio kamščio, šis automatiškai atsitaro, ir metalas užpildo formą pagal visą bėgio profilį. Keraminės formos nuimamos po 3–4 min., suvirinimo vietoje visiškai susikristalizavus metalui. Nuėmus formas, kol neatšalo sandūra, nuo bėgio galvutės važiavimo paviršiaus ir jos šonų mechaniniu būdu pašalinamos susidariusios metalo užlajos ir šlakas.

Darbo tikslas

Šio darbo tikslas – nustatyti galimus termitiniu būdu suvirintų jungčių defektus ir jų atsiradimo priežastis, atlikti skirtingais parametrais suvirintų jungčių apžiūrimąjį siūlės paviršiaus ir lūžio vientisumo tyrimą.

Tyrimo metodika

Remiantis literatūros apžvalga ir statistiniais duomenimis (Rail welding – aluminothermic welding procedure specification 2005; Research results of fracture and fatigue damage of bainitic and pearlitic rail steels 2006; Saarna, Laansoo 2004), aprašyti termitiniu būdu suvirintų jungčių defektai. Atliktas apžiūrimasis siūlės paviršiaus tyrimas, kurį sudaro:

- siūlės paviršiaus tyrimas po suvirinimo;
- siūlės paviršiaus tyrimas po šlifavimo;
- matomosios terminio poveikio srities tyrimas.

Ištirtas lūžio vientisumas.

Tyrimo objektas:

- suvirinti R65 tipo bėgių pavyzdžiai (BH 5) su 5 mm suvirinimo tarpu naudojant normalią termito porciją ir prieš tai 5 min. pakaitinus;
- suvirinti R65 tipo bėgių pavyzdžiai (BH HD 2,5) naudojant padidintą termito porciją ir prieš tai 2,5 min. pakaitinus;
- suvirinti R65 tipo bėgių pavyzdžiai (BH HD 5) naudojant padidintą termito porciją ir prieš tai 5 min. pakaitinus.

Tyrimų rezultatai

Termitiniu būdu suvirintų bėgių defektų analizė

Nors termitinis suvirinimas bėgiams jungti taikomas daugiau nei šimtmetį, vis dar pasitaiko suvirintųjų jungčių trūkumų dėl pasirinktos netinkamos suvirinimo technologijos. Dažniausiai termitinis suvirinimas būna nekokybiškas dėl mikrostruktūros ir makrostruktūros, pavyzdžiui, dėl išsiskyrusios sieros ir cheminės suvirinimo sudėties, kuri skiriasi nuo cheminės bėgių sudėties tuo, kad anglies kiekis yra mažesnis, o Mn, Si – didesnis. Suvirinimo briaunos gali būti kietesnės ar minkštesnės už bėgius ir tame plote gali atsirasti nelygumų, dėl kurių susidaro įtempiai. Remiantis literatūros apžvalga ir Lietuvos geležinkelių laboratorijų neardomųjų bandymų statistika, pagrindiniai defektai yra:

1. Poros. Defektas LST EN 6520-1-201.

Šių porų atsiranda dujoms nespėjus pasišalinti iš stingstančio metalo. Jos susidaro, kai metalui kietėjant išsiskiria skystajame metalo ištirpusios dujos arba jų patenka iš aplinkos. Porų atsiradimo rizika padidėja, kai pasirenkamas mažesnis suvirinimo tarpas tarp bėgių. Siekiant sumažinti dujų porų atsiradimo tikimybę, reikia:

- tinkamai pakaitinti;
- suvirinimo tarpas tarp bėgių galų turėtų būti didesnis nei 25±1 mm;

– mišinys neturėtų būti per drėgnas;

– tinkamai paruošti bėgių galus prieš suvirinimą.

2. Šlako intarpai. Defektas LST EN 6520-1-301.

Tai šlakas, įsiterpęs į siūlės metalą. Pagal susidarymo sąlygas tokie intarpai gali būti skirstomi į linijinius, izoliuotuosius ir grupinius.

Defekto atsiradimo priežastys gali būti:

- neišvalytas arba netinkamai (nesilaikant reikalavimų) išvalytas daugkartinis tigris;
- netinkamai paruošti bėgiai. Negali būti ankstesnių suvirinimo likučių, riebalų, oksidų ir kt.;
- jei nepakankamai pakaitinama, gali susidaryti šlako intarpų, dėl to suvirintojoje siūlėje gali kauptis šlakas;
- dėl netikslaus sandūros tarpo metalas gali tekėti į formą ir dėl to gali susidaryti šlako intarpų;
- per šalta arba per anksti įpilta termito porcija taip pat gali sukelti šiuos defektus.

3. Siūlės metalo susitraukimas arba plyšio susidarymas. Defektas LST EN 6520-1-100.

Plyšys yra nevientisas, susidarantis irstant tam tikrai kietojo metalo vietai, auštant arba veikiant įtempiams.

Plyšiai laikomi pavojingiausiais suvirinimo defektais. Jie gali būti makroskopiniai ir mikroskopiniai, o pagal kilmę – karštieji ir šaltieji. Karštieji plyšiai susidaro kietėjant metalui, kai staiga pablogėja plastinės metalo savybės ir atsiranda įtempio deformacijų. Šaltųjų plyšių atsiranda vykstant faziniams virsmams, esant atominiam vandeniliui ir fosforo junginiams, dėl to sumažėja metalo stiprumas, taip pat veikiant suvirinimo įtempiams.

Plyšių gali atsirasti siūlės metalo arba pagrindinio metalo terminio poveikio srityje. Jie gali būti išilginiai ir skersiniai. Plyšiai yra labai pavojingi defektai ir juos būtina taisyti.

Šio defekto atsiradimo priežastys gali būti:

- nepakankamas išankstinis pakaitinimas;
- kiti kelio darbai gali sukelti auštančio siūlės metalo įtempius;
- stingstančio siūlės metalo įtempiai gali susidaryti dėl temperatūrų skirtumo;
- per anksti nuimti spaustuvai;
- per anksti po suvirinimo darbų atidarytas traukinis eismas.

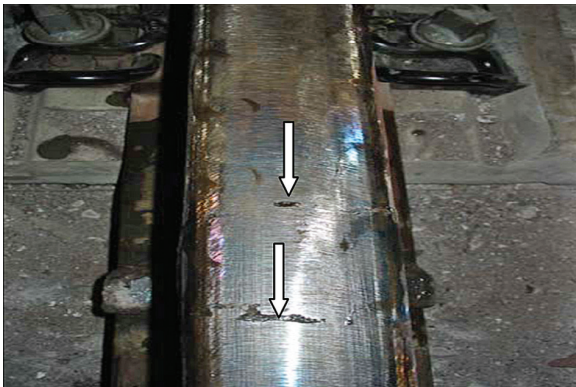
Po suvirinimo siūlės metalui turėtų būti leidžiama atvėsti iki žemesnės nei 350 °C temperatūros. Tempimo bandymai parodė, kad apie 80 % stiprumo metalas įgyja esant 350 °C temperatūrai. Po termitinio suvirinimo atlikti

matavimai parodė, kad siūlės metalas atvėsta iki žemesnės nei 350 °C temperatūros maždaug per 24–35 min.

4. Pridegęs smėlis.

Smėlio nuodegų ant geležinkelio bėgių paviršiaus atsiranda tuomet, kai glaistymo smėlis sąveikauja su pakaitinimo liepsna arba mišiniu. Šie defektai paprastai šalinami šlifuojant.

1 pav. matyti likęs pridegęs smėlis. Kai kuriais atvejais būtinas remontinis suvirinimas.



1 pav. Bėgių paviršiuje pridegęs smėlis

Fig. 1. Sand burns on the ground rail surface

5. Nesulydymas ir neįvirinimas. Defektas LST EN 6520-1-400.

Nevisiškas sulydymas – nepakankamas siūlės ir pagrindinio metalo ryšys. Šio defekto atmainos: nevisiškas jungties šoninės sienelės sulydymas, nevisiškas sulydymas bėgio pade.

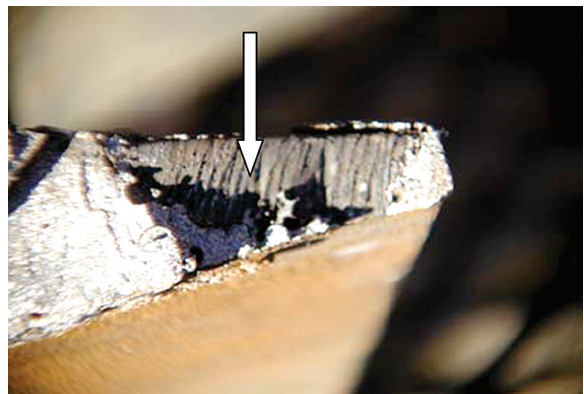
Nesulydymas ir neįvirinimas gali atsirasti dėl vienos ar kelių čia priežasčių:

- netiksliai uždėta forma;
- per šalta ar per anksti įpilta termito porcija;
- nepakankamas išankstinis pakaitinimas;
- netolygus bėgio galų pakaitinimas dėl blogai sureguliuoto degiklio;
- nesureguliuotas dujų slėgis;
- netinkamas suvirinimo tarpas;
- netikslus porcijos kiekis;
- naudojama netinkama forma.

6. Formos nesutapimas.

Netaisyklingas formos centravimas gali būti bėgių neįvirinimo priežastis. 2 pav. galima matyti nesulydymą bėgio pade.

Šis defektas atsiranda dėl netinkamoje vietoje ir blogai įrengtos formos. Labai svarbu, kad forma būtų vertikalčiai sulygiuota ir išcentruota.



2 pav. Neįvirinimas bėgio pade

Fig. 2. A total lack of fusion at rail foot

7. Užlaja.

Tai siūlės metalo perteklius, užtekėjęs ant pagrindinio metalo paviršiaus, bet su juo nesusilydęs. Dažniausiai šis defektas nėra laikomas rimtu, tačiau patirtis rodo, kad esant didelėms ašinėms bėgių ir jungčių apkrovoms daug avarių yra įvykę būtent dėl šio defekto.

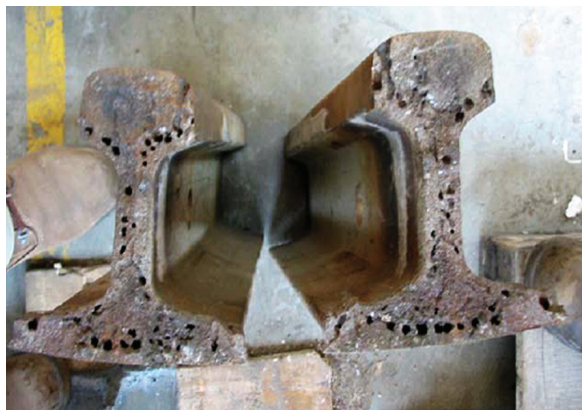
8. Porų sanakaupa.

Porų sanakaupa paprastai susidaro siūlės viduje, tad siūlės paviršiuje dažniausiai jos nematyti. Kai atsiranda itin daug porų, kaip parodyta 3 pav., labai sumažėja suvirintosios jungties stiprumas.

Termitiniu būdu suvirintose jungtyse porų sanakaupa gali susidaryti dėl šių priežasčių:

- drėgna glaisto medžiaga;
- nepakankamas išankstinis pakaitinimas;
- netinkamas suvirinimo mišinio kiekis;
- šlapios ar nešvarios formos;
- suvirinama lyjant.

Termitinio suvirinimo defektus galima pašalinti, jeigu suvirintojai bus tinkamai paruošti ir kvalifikuoti, o



3 pav. Porų sanakaupa

Fig. 3. Localised porosity

suvirintųjų jungčių kontrolė atliekama griežtai nustatyta tvarka. Tai gali gerokai padidinti termitinio suvirinimo patikimumą ir sumažinti tolesnių neardomųjų bandymų poreikį.

9. Nepakankamai prilydyta siūlė.

Tai ištisinis arba neištisinis siūlės paviršiaus griovelis, atsiradęs išlydytam metalui išsiliejus iš keraminės formos termitinio suvirinimo metu, kaip parodyta 4 pav.

Defekto (5 pav.) atsiradimo priežastis – netinkamai glaistymo smėliu apklijuota keraminė forma.

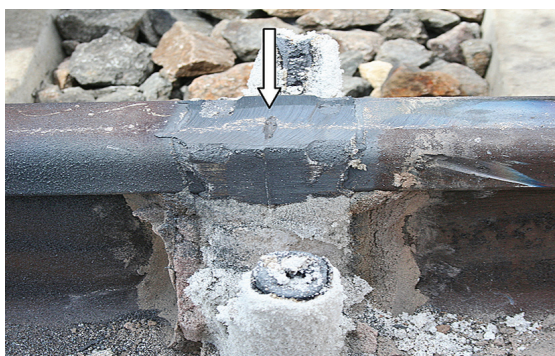
Apžiūrimasis siūlės paviršiaus tyrimas

Atlikus visų termitiniu būdu suvirintų jungčių apžiūrimąjį siūlės paviršiaus tyrimą, jokių matomų defektų nerasta.

- Bandinyje nėra jokių įtrūkių.
- Bandinyje nėra jokių defektų (porų, šlako ir smėlio intarpų, metalo purslų), kurių matmenys didesni nei 1 mm.



4 pav. Išlydyto metalo išsiliejimas iš keraminės formos
Fig. 4. A spill of molten metal from a ceramic form



5 pav. Nepakankamai prilydyta siūlė
Fig. 5. Incompletely filled groove

Matomosios terminio poveikio srities tyrimas

Po ęsdinimo iš abiejų pusių buvo išmatuoti visų bandinių siūlių ir terminio poveikio srities pločiai. Didžiausia terminio poveikio sritis nustatyta bandinyje, suvirintame naudojant padidintą termito porciją ir prieš tai 5 min. pakaitinus, o didžiausias siūlės plotis – bandiniuose, suvirintuose naudojant normalią termito porciją ir prieš tai 5 min. pakaitinus bei padidintą termito porciją ir prieš tai 5 min. pakaitinus (lentelė).

Lentelė. Matomosios terminio poveikio srities ir siūlių pločiai
Table. The width of weld and a visible heat-affected zone

Bandinio Nr.	Matomosios terminio poveikio srities plotis, mm		Siūlės plotis, mm
1. BH HD 5 min.	35	30	48
Kita pusė	35	33	45
2. BH 5 min.	27	27	42
Kita pusė	27	27	44
3. BH HD 2,5 min.	25	24	50
Kita pusė	25	25	45
4. BH 5 min.	28	28	52
Kita pusė	25	26	55
5. BH HD 2,5 min.	23	22	41
Kita pusė	23	20	46
6. BH HD 5 min.	28	28	55
Kita pusė	30	29	55

Matomosios terminio poveikio sritys bandiniuose yra simetriškos išilginės bėgio ašies ir skersinės siūlės ašies atžvilgiu, o plotis neviršija 35 mm, kaip nurodyta geležinkelio administracijos pateiktuose norminiuose dokumentuose.

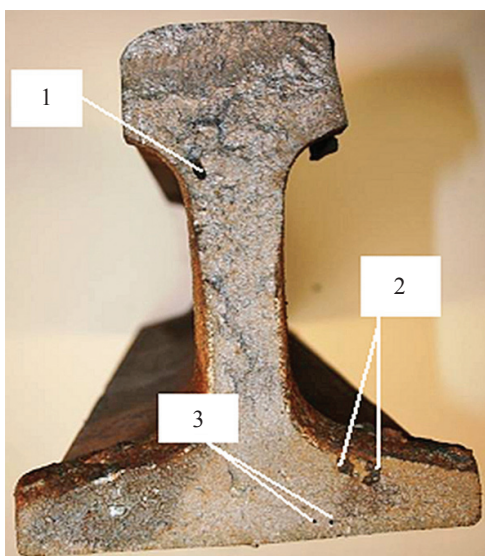
Lūžio paviršiaus vientisumo tyrimas

Po lėtojo lenkimo bandymo atlikti visų bandinių, suvirintų termitiniu būdu naudojant padidintą termito porciją ir prieš tai 5 min. pakaitinus, normalią termito porciją ir prieš tai 5 min. pakaitinus ir padidintą termito porciją prieš tai 2,5 min. pakaitinus, lūžių paviršiaus vientisumo tyrimai. Jokių matomų defektų nerasta.

Nustatyti defektai bėgio termitinio suvirinimo zonoje dėl bėgių suvirinimo technologijos pažeidimo (6 pav.).

Bėgiai buvo suvirinti termitiniu būdu prieš tai nepakaitinus, nesilaikant technologijos, todėl atlikus lėtojo lenkimo bandymą rasti šie defektai:

1. Iššętoji pora. Defektas LST EN 6520-1-2015.
2. Pora. Defektas LST EN 6520-1-201.
3. Sferinė pora. Defektas LST EN 6520-1-2011.



6 pav. Defektai termitinio suvirinimo zonoje
Fig. 6. Defects in the zone of aluminothermic welding

Defektų žymėjimas norminiuose geležinkelių dokumentuose:

- defekto kodas pagal LG – 26.4;
- defekto kodas pagal OSŽD – 421.2; 421.3;
- defekto kodas pagal UIC 4212; 4213.
- LG – AB „Lietuvos geležinkeliai“.
- OSŽD – Geležinkelių bendradarbiavimo organizacija.
- UIC – Tarptautinė geležinkelių sąjunga. LG yra šios sąjungos narė.

Išvados

1. Išanalizuoti termitiniu būdu suvirintoms jungtims būdingi defektai.
2. Atlikus termitiniu būdu suvirintų jungčių apžiūrimą, jų siūlės paviršiaus tyrimą po suvirinimo ir po siūlių paviršiaus šlifavimo, jokių matomų defektų nerasta.
3. Išmatavus terminio poveikio sričių ir siūlių plotius nustatyta, kad didžiausias terminio poveikio srities plotis yra 35 mm bandinyje, suvirintame naudojant padidintą termito porciją ir prieš tai 5 min. pakaitinus, o didžiausias siūlės plotis – 55 mm bandiniuose, suvirintuose naudojant padidintą ir normalią termitų porcijas, prieš tai 5 min. pakaitinus.
4. Ištyrus lūžių vientisumą, jokių matomų defektų nerasta.

Literatūra

- AB „Lietuvos geležinkeliai“ bėgių naudojimo ir naujų bėgių priėmimo taisyklės. 2003.
- Aluminothermic weld defects [interaktyvus]. 2006. Welding Technology Institute of Australia [žiūrėta 2011 m. kovo 5 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.wtia.com.au/pdf/TGN-R-04%20Aluminothermic%20weld%20defects.pdf>>.
- Rail welding – aluminothermic welding procedure specification [interaktyvus]. 2005. Community Vocational Training Action Programme project - Railsafe. March 31 [žiūrėta 2010 m. birželio 8 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.ewf.be/railsafe/4_-_RAILSAFE_Welding_procedures_Final.pdf>.
- Research results of fracture and fatigue damage of bainitic and pearlitic rail steels [interaktyvus]. 2006. Federal railroad administration. February, Washington [žiūrėta 2010 m. liepos 30 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.fra.dot.gov/downloads/research/rr0602.pdf>>.
- Saarna, M.; Laansoo, A. 2004. Rail weld and testing, in *The 4th International DAAAM Conference "Industrial Engineering – Innovation as Competitive Edge for Sme"*. April 29–30, Tallinn, Estonia.

METALLOGRAPHIC INVESTIGATION INTO THE ALUMINOTHERMIC WELDING OF RAIL JOINT R65

A. Šimonėlytė, V. Rudzinskas, Š. Mikaliūnas

Abstract

The article describes inherent defects to aluminothermic welds, the origin of reasons and the ways of avoidance. The paper presents visual surface and fracture testing of rail joint R65 applying the method of aluminothermic welded joints.

Keywords: rails, aluminothermic welding, defects.