VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
MECHANIKOS FAKULTETAS
MEDŽIAGOTYROS IR SUVIRINIMO KATEDRA

Nerijus Baškevičius

R65 IR UIC 60 GELEŽINKELIO BĖGIŲ TERMITINIO SUVIRINIMO JUNGTIES TYRIMAS

RESEARCH OF THE ALUMINOTHERMIC WELDED JOINT OF RAILS R65 AND UIC 60

Baigiamasis magistro darbas

Medžiagų ir suvirinimo inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H70005

Pramonės inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2013

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

MECHANIKOS FAKULTETAS

MEDŽIAGOTYROS IR SUVIRINIMO KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

_____

(Parašas)

_____

(Vardas, pavardė)

_____

(Data)

Nerijus Baškevičius

R65 IR UIC 60 GELEŽINKELIO BĖGIŲ TERMITINIO SUVIRINIMO JUNGTIES TYRIMAS

RESEARCH OF THE ALUMINOTHERMIC WELDED JOINT OF RAILS R65 AND UIC 60

Baigiamasis magistro darbas

Medžiagų ir suvirinimo inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H70005

Pramonės inžinerijos studijų kryptis

Vadovas_____ _____ _____

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Lietuvių kalbos konsultantas_____ _____ _____

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Vilnius, 2013

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Mechanikos fakultetas
Medžiagotyros ir suvirinimo katedra

ISBN ISSN
Egz. sk. 2
Data 2013-06-03

Medžiagų ir suvirinimo inžinerijos studijų programos baigiamasis magistro darbas
Pavadinimas **R65 ir UIC 60 geležinkelio bėgių termitinio suvirinimo jungties tyrimas.**

Autorius **Nerijus Baškevičius** Vadovas doc. dr. **Vitalijus Rudzinkas**

Kalba

[X] lietuvių
[ ] užsienio

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe nagrinėjama termitiniu ir kontaktiniu sandūriniu būdu suvirintų jungčių kokybės. Analizuojami suvirinimo metu vykstanys pokyčiai pagrindiniame metale. Tam, kad būtų nustatytos suvirintos jungties mechaninės savybės, buvo atliekami šie bandymai: vizualiniai fraktografiniai tyrimai, sulydymo zonos tyrimai, termiškai suminkštintos zonos kiečio matavimas, lūžusio bėgio važiuojamojo paviršiaus deformacijos matavimai, suvirintų jungčių mikrostruktūros tyrimai, suvirintų jungčių mikrokietumo tyrimas, smūginio tąsumo bandymas, cheminės analizės tyrimas. Pagal gautus rezultatus pateiktos išvados.

Darbą sudaro 7 dalys: įvadas, tyrimo objektas, literatūros apžvalga, tyrimo metodika, tyrimo rezultatai, išvados, literatūra.

Darbo apimtis: 73 p. teksto be priedų, 56 iliustr., 13 lent., 23 bibliografiniai šaltiniai.

Prasminiai žodžiai: termitas, termitinis suvirinimas, jungtis, bėgis.

Vilnius Gediminas Technical University
Fakulty of **Mechanics**
Department of **Materials Science and**

ISBN ISSN
Copies No. 2
Date 2013-06-03

Master Degree Studies **Materials and Welding Engineering** study programme Final (Master‘s Theses)
Title **Reaserch of the amulinothermic welded joint of rails R65 and UIC 60.**
Author **Nerijus Baškevičius** Academic supervisor Assoc Prof. Dr. **Vitalijus Rudzinskas**

Thesis language

X	Lithuanian
	Foreign

Annotation

In the final thesis of masters’s degree I analyze the quality joints that were welded aluminothermically and flash butt. This research is based on the analysis of changes in the main metal that are caused by aluminothermic and flash butt welding. In order to determine the mechanical properties of welded joints, the following tests had been made: visual-fractographic review of welded joint, fusion area researches, the measurement test hardness of heat-softened area, the measurement test deformation broken rail on the driveway, microstructure research of the welded joints, impact strength experiments, chemical analysis of welded joints. The conclusion is based on the results of this research.

The structure of thesis consists of seven parts: introduction, the object of the research, the overview of literature, the methodology of the research, results of the research, conclusions and references.

This thesis consists of 73 pages of text without appendixes, 56 pictures, 13 tables and 23 bibliographical sources.

Keywords: aluminothermic welding, joint, rail.

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS 7
LENTELIŲ SĄRAŠAS 10
SANTRUMPOS 11
ĮVADAS 12
1. TIRIAMASIS OBJEKTAS 14
1.1 Tyrimo tikslas 15
1.2 Darbo naujumas 15
1.3 Darbo aktualumas 15
2. LITERATŪROS APŽVALGA 16
2.1 Bendrosios žinios apie geležinkelio bėgius 16
2.2 Reikalavimai bėgių medžiagai 20
2.3 Bėgių cheminė sudėtis ir mechaninės savybės 21
2.4 Bėgių terminis apdirbimas 23
2.5 Termitinis bėgių suvirinimo procesas 23
2.6 Kontaktinis sandūrinis aplydomasis bėgių suvirinimas 28
2.7 Dujinis suvirinimas slegiant (GPW – Gas pressure welding) 30
2.8 Elektrošlakinis bėgių suvirinimas 32
2.9 Bėgių suvirinimas naudojant naują automatizuotą elektrolankinę suvirinimo technologija. 33
2.10 Skirtingais suvirinimo būdais suvirintų jungčių mechaninės savybės 35
2.11 Termitiniu būdu suvirintų bėgių defektų analizė 37
3. TYRIMO METODIKA 39
3.1 Vizualinė suvirintos jungties apžiūra 39
3.2 Sulydymo zonos nustatymas. Forma ir matmenys. Ėsdinimo procedūra 40
3.2.1 Ėsdinimo procedūra 41
3.2.2 Termiškai suminkštintos zonos plotis 41
3.3 Termiškai suminkštintos zonos kiečio matavimo procedūra 41
3.4 Lūžusio bėgio važiuojamojo paviršiaus deformacijos matavimai 43
3.5 Mikrostruktūros tyrimas (siūlių matomosios terminio poveikio zonos ir sulydymo zonos mikroskopinis tyrimas). Mikrokietumo matavaimas 44
3.6 Smūginio tąsumo bandymas 45
3.7 Cheminė analizė 47

4. TYRIMŲ REZULTATAI 48
4.1 Vizualinės suvirintos jungties apžiūros rezultatai. Fraktografiniai tyrimai 48
4.2 Sulydymo zonos nustatymas. Forma ir matmenys. Ėsdinimo procedūra 53
4.3 Termiškai suminkštintos zonos kiečio matavimas 56
4.4 Lūžusio bėgio važiuojamojo paviršiaus deformacijos matavimai 58
4.5 Mikrostruktūros tyrimas (siūlių matomosios terminio poveikio zonos ir sulydymo zonos mikroskopinis tyrimas). Mikrokietumo matavimo rezultatai 59
4.5.1 Mikrokietumo matavimo rezultatai 67
4.6 Smūginio tąsumo bandymo rezultatai 68
4.7 Cheminės analizės rezultatai 69
IŠVADOS 71
LITERATŪRA 72
PRIEDAI 74

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Termitu suvirintas lūžęs bėgis....14
2 pav. Elektrokontaktiniu būdu suvirintas lūžęs bėgis....14
3 pav. Pagrindiniai bėgio skerspjūvio matmenys....17
4 pav. Bėgių termitinio suvirinimo schema....24
5 pav. Jungiamosios vietos paruošimasm bei suvirinamojo tarpo nustatymas....25
6 pav. Jungties centravimas, suvirinimo formos surinkimas, padengimas glaistymo smėliu....25
7 pav. Išankstinis pakaitinimas....26
8 pav. Tiglio įstatymas ant liejimo formos, degiklio paruošimas, termito uždegimas, termito lydymasis....26
9 pav. Jungties šlifavimas po suvirinimo....27
10 pav. Termitu suvirinto bėgio jungtis....27
11 pav. Aplydomojo sudurtinio suvirinimo schema....28
12 pav. Kontaktiniu būdu suvirinta jungtis....29
13 pav. Australijos universitete tyrimo metu gauta sulydymo zona kontaktiniu sandūriniu būdu. Bėgio markė AS 60....29
14 pav. Dujinio slėginio suvirinimo etapai....30
15 pav. Eksploatacijos gyvavimo ciklai nuo apkrovos....31
16 pav. Dujiniu slėginiu būdu suvirinto sujungimo sulydymo zona 60E1 markės bėgyje....31
17 pav. Elektrošlakinio suvirinimo schema....32
18 pav. Elektrošlakiniu būdu suvirintų bėgių lūžiai po lėtojo lenkimo bandymo ir sulydymo zonos nustatymas....33
19 pav. „CGEAW“ suvirinimo būdo schema....33
20 pav. Bėgių suvirinimo CGEAW būdu aparatas: 1 – vielos tiekmo mechanizmas; 2 – elektrodo horizantolios padėties reguliatorius; 3 – valdymo plokštė; 4 – elektrodo aukščio pozicionavimo laikiklis; 5 – rankinis mechanizmas, padengtas varine danga; 6 – uždaroje angoje esanti elektrodinė viela; 7 – suvirinimo viela....34
21 pav. Elektrodo judėjimo schema taikant CGEAW metodą....34
22 pav. Termitinės suvirintos jungties defektas – kirmeliškoji (vermikulirinė) pora....38

23 pav. Nušlifuotas rumbelės paviršius: 1 – 2 mm spindulio zona; 2 – bėgio galvutė; 3 – siūlės rumbelė; 4 – bėgio kakliukas....40
24 pav. Sulydymo zonos forma išėsdintame išilginiame vertikaliame pjūvyje: 1 – matuojamas sulydymo zonos ir siūlės plotis viršutinėje bėgio dalyje; 2 – matuojamas sulydymo zonos ir siūlės plotis kakliuke; 3 – matuojamas sulydymo zonos ir siūlės plotis pade....40
25 pav. Išilginis kiečio matavimas: 1 – storis nuo 3 mm iki 5 mm; 2 – pirminis bėgis; 3 – nepaveiktas pirminis bėgis; 4 – sulydymo zona....42
26 pav. Tipinis kiečio profilis: 1 – 1 linija; 2 – 2 linija; 3 – siūlės centrinė linija....43
27 pav. Bėgio vaizdas iš viršaus. Bėgio galvutės (važiuojamosios dalies) nelygumo kintamumo matavimo metodika. 1 – mėlyna spalva: bėgio šoninė (dešinioji) dalis; 2 – raudona spalva: bėgio centrinė dalis; 3 – žalia spalva: bėgio šoninė (kairioji) dalis....44
28 pav. Bandinių ėmimo schema....45
29 pav. Smūginio tąsumo bandinio forma....46
30 pav. Smūginio tąsumo muštuvo schema....49
31 pav. Suvirintojo sujungimo lūžio paviršius – a pusė....49
32 pav. Suvirintojo sujungimo lūžio paviršius – b pusė....50
33 pav. Suvirintojo sujungimo šoninis paviršius – a pusė....51
34 pav. Suvirintojo sujungimo šoninis paviršius – b pusė....52
35 pav. Suvirintojo sujungimo apatinis paviršius....52
36 pav. Bėgio pjaustymas išilgai juostiniu pjūklu....53
37 pav. Nupoliruotas bėgis – makrošlifas, paruoštas ėsdinimui....54
38 pav. Sulydymo zonos geometrija (TPZ – terminio poveikio zona). UIC 60 bėgio markės makrošlifas....54
39 pav. Sulydymo zonos geometrija (TPZ – terminio poveikio zona). R65 bėgio markės makrošlifas....55
40 pav. UIC 60 bėgio pado kiečio matavimo metodika. 1,2,3,4.....15..24..30 – kiečio matavimo taškai. Pagrindinis metalas, TPZ – terminio poveikio zona, siūlė....56
41 pav. UIC 60 bėgio galvutės kiečio matavimo metodika. 1,2,3,5...10..25...56 – kiečio matavimo taškai. Pagrindinis metalas, TPZ – terminio poveikio zona, siūlė....57
42 pav. Bėgio pado kiečio grafikas....56
43 pav. Bėgio galvutės kiečio grafikas....57
44 pav. Bėgio važiuojamosios dalies deformacijos kintamumo grafikas....58
45 pav. Lūžusio UIC 60 markės bėgio važiuojamojo paviršiaus deformacijos matavimai....58
46 pav. R65 markės bėgio bandinukų išpjovimo vietos....59
47 pav. UIC 60 markės bėgio bandinukų išpjovimo vietos....60

48 pav. R65 markės bėgio, suvirinto kontaktiniu sandūriniu būdu, galvutės mikrostruktūra, padidinta 100 kartų....61
49 pav. R65 markės bėgio, suvirinto kontaktiniu sandūriniu būdu, kakliuko mikrostruktūra, padidinta 100 kartų....62
50 pav. R65 markės bėgio, suvirinto kontaktiniu sandūriniu būdu, pado mikrostruktūra padidinta, 100 kartų....63
51 pav. UIC 60 markės bėgio, suvirinto termitiniu būdu, galvutės mikrostruktūra, padidinta 100 kartų....64
52 pav. UIC 60 markės bėgio, suvirinto termitiniu būdu, galvutės mikrostruktūra, padidinta 100 kartų....65
53 pav. Anglinio eutektoidinio plieno peraušintojo austenito izoterminio skilimo diagrama ir austenito skilimo produktų temperatūrinės sritys bei kietumas....66
54 pav. a, b – mikrokietumo matavimo nuotraukos padidintos, 50 kartų....67
55 pav. Smūginio tąsumo bandinukai. 1 – bandinukas iš bėgio pado, 2 – bandinukas iš bėgio galvutės....68
56 pav. Smūginio tąsumo bandiniai po atlikto bandymo. 1 – bandinukas iš bėgio pado, 2 – bandinukas iš bėgio galvutės....69

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Bėgių tipų skerspjūvio charakteristikos.....17
2 lentelė. Kai kurių bėgių plienų cheminė sudėtis.....22
3 lentelė. Cheminės reakcijos formulė.....24
4 lentelė. Mechaninės R65 bėgio jungties, suvirintos CGEAW metodu, savybės.....35
5 lentelė. Didžiausi šlako ir smėlio defektų matmenys..... 39
6 lentelė. Termiškai suminkštintos zonos intervalai.....41
7 lentelė. Cheminė sudėtis.....47
8 lentelė. Didžiausi šlako ir smėlio defektų matmenys.....48
9 lentelė. Kontaktinės sandūrinės jungties mikrokietumo rezultatai.....67
10 lentelė. Termitinės jungties mikrokietumo rezultatai..... 67
11 lentelė. Smūginio tąsumo bandymo rezultatai.....68
12 lentelė. UIC 60 markės bėgio jungties cheminė analizė.....70
13 lentelė. R65 markės bėgio jungties cheminė analizė.....70

SANTRUMPOS

R65 ; UIC 60 ; 60E1 ; AS-60 – bėgio tipas

HB – Brinelio kietumas.

HV – Vikerso kietumas.

HRC – Rokvelo kietumas.

mm – milimetras.

J – energija.

m – metras.

N/mm² – tempimo stiprumas.

º C – laipsniai pagal Celcijų.

km/s – kilometrai per sekundę.

N – jėgos matavimo vienetas.

TPZ – terminio poveikio zona.

GPW – dujinis slėginis suvirinimas.

GEAW – automatizuotas elektrolankinis suvirinimas.

ĮVADAS

Nuo XIX a. vidurio visame pasaulyje pradedama intensyviai tiesti geležinkelius. 1825 metais Anglijoje buvo nutiestas pirmasis geležinkelis. Išskirtinę reikšmę geležinkelių transportas įgijo pasaulio šalyse, turinčiose didelę teritoriją, – JAV, Kanadoje, Rusijoje, Indijoje. Šių šalių ekonominė raida vyko kartu su geležinkelio tinklo plėtimu. Geležinkelių panaudojimas kroviniams gabenti labai sumažino jų gabenimo sąnaudas ir atvėrė plačias galimybes tarptautiniams ekonominiams ryšiams. Geležinkelių transportas padidino transporto ryšių patikimumą ir reguliarumą, sumažino krovinių gabenimo išlaidas, kartu sudarė galimybę vežti masinius krovinius – miško medžiagą, akmens anglį, įvairių metalų rūdas, naftą bei statybines medžiagas šalies viduje. Pastaroji aplinkybė lėmė sunkiosios pramonės plėtotę.

Geležinkelis – traukinių transporto visuma. Sudaro geležinkelio kelių (bėgių) tinklas, traukiniai, stotys, pagalbinė įranga.

Pagrindinės geležinkelių transporto ypatybės ir privalumai yra patikimumas, reguliarumas, universalumas, galimybė vežti įvairiarūšius krovinius nepriklausomai nuo metų laiko ir klimato sąlygų.

Pagrindiniai geležinkelio kelio konstrukcijos elementai, kuriuos veikia judančiųjų riedmenų apkrova, yra bėgiai.

Bėgis yra svarbiausias ir brangiausias geležinkelio elementas. Nuo jo būklės priklauso patikimas, nepertraukiamas ir saugus traukinių eismas. Todėl turi būti nustatyti bėgių techniniai reikalavimai, kuriais vadovaujantis atliekamas bėgių priėmimas. Jų paruošimas, suvirinimas turi garantuoti ilgalaikį bėgių panaudojimą. Bėgių būklė priklauso ir nuo jų, ir nuo viso kelio priežiūros.

Bėgių sandūra – tai pati silpniausia bėgių kelio vieta. Siekiant sumažinti sandūrų skaičių kelyje keletą dešimtmečių buvo siekiama padidinti standartinių bėgių ilgį. Tačiau esminių pokyčių įvyko, kai buvo plačiai pradėtas tiesti besandūris kelias (XX a. penktajame dešimtmetyje).

Besandūris kelias – tai kelias, kuriam naudojami suvirinti ilgabėgiai. Ilgabėgis – tai 800–1500 m ilgio bėgis, kurį sudaro suvirinti paprastieji (25 m ilgio) bėgiai. Besandūriame kelyje sandūros yra įrengiamos ant tiltų, iešmuose ir automatinės blokuotės ruožuose. Besandūrio kelio pagrindiniai privalumai, lyginant su sandūriniu keliu, yra šie: dėl to, kad besandūriame kelyje nėra sandūrų, traukinio važiavimas keliu yra sklandesnis, viršutinės bėgių kelio konstrukcijos elementai naudojami ilgiau, reikalingos mažesnės išlaidos kelio priežiūrai ir traukinių traukai, mažinamas triukšmas dėl to, kad ratai sandūrose nesidaužo į bėgius. Kadangi besandūriame kelyje nereikia įrengti sandūros sąvaržų, sutaupoma iki 4 t metalo vienam kelio kilometrui.

Bėgiai yra suvirinami įvairiais būdais, dažniausiai termitiniu ir elektrokontaktiniu aplydomuoju suvirinimo būdais. Be šių yra taikomas dujinis slėginis ir elektrošlakinis būdai, tačiau Lietuvoje jie nėra paplitę, kaip kad termitinis arba eleketrokontaktinis suvirinimas.

Geležinkelio bėgių bei jų suvirinimo kokybė yra ypač svarbi geležinkelio saugumui. Bėgiai išbandomi laikantis standartų bei norminių dokumentų. Tik ne visuomet standartai būna vieninteliu šaltiniu pasirenkant tikrinimo kriterijus. Norint surasti tinkamiausius ir geriausiai atitinkančius išbandymo kriterijus, reikia išbandymų standartus paremti tyrimų rezultatais.

Dažniausiai bėgiai gaminami iš anglinio-manganinio plieno su perlito mikrostruktūra. Bėgių cheminė sudėtis, tempimo stiprumo riba ir patvarumas būna skirtingas, priklausomai nuo bėgių rušies.

.

1. TIRIAMASIS OBJEKTAS

Tiriamasis objektas:

- Iš avarijos vietos paimtas lūžęs UIC 60 markės bėgis, suvirintas termitiniu būdu. Avarija įvyko 2011m. rugpjūčio mėn. ruože Gaižiūnai–Jonava, 93-ame kilometre. Bendras nuvažiuotas tonažas 2011-01-01 buvo 434,5 mln. tonų bruto, 2012-01-01 – 482,6 mln. tonų bruto. Bėgis lūžęs per suvirinimo siūlę.

1 pav. Termitu suvirintas lūžęs bėgis

- Paimtas R65 markės bėgis, suvirintas gamykloje Šilėnuose elektrokontaktiniu aplydomuoju būdu. Jis gamybos proceso metu buvo išlinkęs ir bandant ištiesinti lūžo. Bėgis nebuvo eksploatuotas, lūžo per pagrindinį metalą.

2 pav. Elektrokontaktiniu būdu suvirintas lūžęs bėgis

1.1 Tyrimo tikslas

Nustatyti galimus termitiniu būdu suvirintų jungčių defektus ir jų atsiradimo priežastis. Atlikti bėgių tyrimus pagal numatytus standartus. Išanalizuoti gautus tyrimo rezultatus.

1.2 Darbo naujumas

Tokie tyrimai gali padėti nustatyti defektų atsiradimo priežastis, galimas jų vietas bei padėti jų išvengti. Pirmą kartą pasaulyje termitinis bėgių suvirinimas buvo atliktas 1899 metais Vokietijoje. O elektrokontaktinis–1929 metais Sovietų Sąjungoje. Lietuvos geležinkeliuose termitinis bėgių suvirinimo būdas taikomas nuo 1999 metų, o pirmasis ilgabėgių suvirinimas Lietuvoje pradėtas 2006 m. Šilėnuose. Geležinkelio bėgių būklė yra svarbus veiksnys saugumui bei bendram funkcionavimui. Todėl atliekant išsamius bėgių, suvirintų skirtingais būdais, tyrimus galima nustatyti, kuris yra geresnis, tinkamesnis, pažangesnis būdas suvirinant bėgius tiek pasaulyje, tiek Lietuvoje.

1.3 Darbo aktualumas

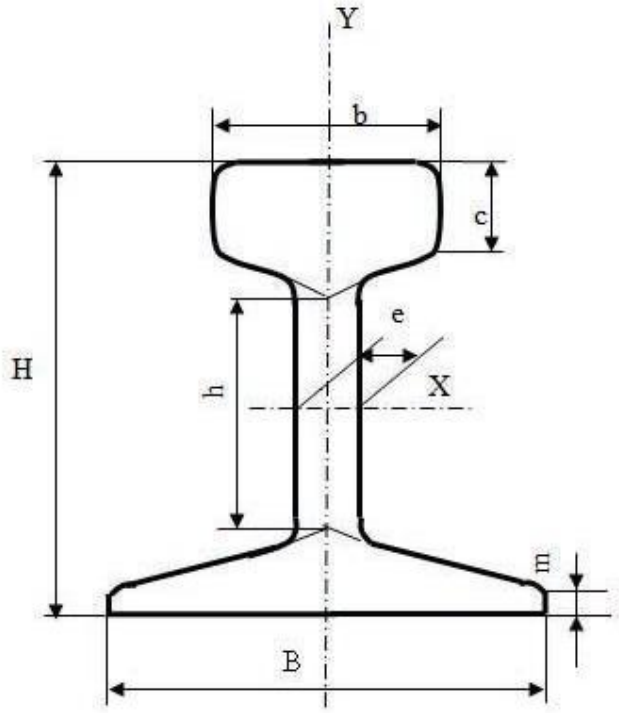
Bėgio sandūrai keliami tokie reikalavimai: ji turi būti stipri, ilgaamžiška, patikima eksploatuojant, t. y. atspari dilimui, kieta ir kartu netrapi, nes sandūra turi atlaikyti dideles dinamines vertikaliąsias, išilgines ir skersines apkrovas. Dilimo ir nuovargio defektų vystymosi greitis turi buti toks, kad geležinkelio kelių ir traukinių eksploatavimas būtų ekonomiškai pagrįstas. Ratų ir bėgių plienų elgsena jų dilimo ar pažeidimų metu priklauso nuo juose susidarančių įtempimų, medžiagos savybių ir aplinkos poveikio. Apkrovoms didėjant (krovinių pervežimo intensyvėjimas, ašinių apkrovų didėjimas) didėja įtempimai bėgių ir ratų medžiagoje. Auga išlaidos susidėvėjusių ratų ir bėgių priežiūrai ir atstatymui. Todėl bėgių ir jų jungčių, ratų pažeidimo ir jų dilimo mechanizmų tyrimas viena iš priemonių didinant ratų ir bėgių darbo laiką.

2. LITERATŪROS APŽVALGA

Geležinkelių bėgių jungčių suvirinimas atliekamas įvairiais būdais, dažniausiai yra naudojami elektrokontaktinis aplydomasis ir termitinis suvirinimo būdai. Dar yra kiti suvirinimo būdai, kurie taikomi rečiau: dujinis slėginis suvirinimas, elektrošlakinis suvirinimas. Bėgių remontui ir ilgalaikiam ruožų atnaujinimui taikomas: rankinis elektrolankinis suvirinimo būdas bei lydžiuoju elektrodu apsauginių dujų aplinkoje ir po fliusiu. Kiekvienas suvirinimo būdas turi trūkumų ir privalumų. Suvirinimas elektrokontaktiniu būdu dažniausiai atliekamas ceche, o šiuo būdu suvirinant bėgių tiesimo vietoje būtini autonominiai, mobilūs įrenginiai, o termitinio suvirinimo įranga nesudėtinga, todėl daugelyje šalių plačiai taikomas termitinis suvirinimo būdas. Rečiau taikomas ir dažniausiai bėgių remontiniams darbams naudojami elektrolankinis rankinis, elektrolankinis apsauginių dujų aplinkoje ir po fliusu suvirinimo būdai. Lietuvoje naudojamas termitinis ir elektrokontaktinis suvirinimo būdas. Termitinis suvirinimo būdas dažniau taikomas, tiesiant ilgabėgius ir remontuojant geležinkelio kelius, o elektrokontaktinis–tiesiant ilgabėgius. Kaimyninėje šalyje Latvijoje kaip ir Lietuvoje, labiau paplitęs yra termitinis suvirinimas. Japonijoje–dujinis slėginis, o Ukrainoje–elektrokontaktinis suvirinimo būdai. Termitinis suvirinimo būdas nereikalauja didelių išlaidų suvirinimo įrangai, tačiau ne visada gaunama pastovi, geros kokybės jungtis dažniausiai dėl prastai paruošto termito myšinio kokybės ar operatoriaus patirties trūkumo.

2.1 Bendrosios žinios apie geležinkelio bėgius

Pagrindiniai bėgių kelio elementai yra šie: bėgiai, pabėgiai, tvirtinamosios ir jungiamosios detalės, balastas, ir sankasa. Bėgiai – tai plieninės valcuotosios dvitėjo profilio sijos, kreipiančios ir laikančios ratus. Svarbiausia jų charakteristika, nusakanti tipą, yra 1 tiesinio metro masė. Lietuvoje naudojami bėgiai būna: trumpi – ilgis 12,5 m, standartiniai – 25 m, ilgabėgiai (besandūriuose bėgių keliuose) – 800–1200 m. Besandūriai geležinkelio keliai tiesiami klojant ilgabėgius, t. y. ištisinius bėgius be sandūrų. Tokie bėgiai suvirinami paprastai iš pavienių 25 m ilgio bėgių, kuriuose nėra skylių varžtams. Iki 800 m ilgio suvirinti bėgiai vadinami trumpaisiais ilgabėgiais. Skirtingų bėgių tipų skerspjūvio charakteristikos pavaizduotos 3 pav. ir 1 lentelėje. (Sakalauskas, Laurinavičius, Podagėlis 2000).



3 pav. Pagrindiniai bėgio skerspjūvio matmenys

1 lentelė. Bėgių tipų skerspjūvio charakteristikos

Charakteristika	Bėgių tipai			
	R75	R65	UIC60	R50
Bėgio aukštis H, mm	192,0	180,0	172,0	152,0
Galvutės aukštis c,mm	55,3	45,0	51,0	42,0
Kakliuko aukštis h, mm	104	105	83	83
Pado plotis B, mm	150,0	150,0	150,0	132,0
Galvutės plotis b, mm: viršutinės apatinės	 71,8 75,0	 73,0 75,0	 72,0 74,3	 70,0 72,0
Kaklelio storis e, mm	20,0	18,0	16,5	16,0
Pado sparno aukštis m,mm	13,5	11,2	11,2	10,5
Galvutės ir kaklelio sujungimo spinduliai, mm	7/17	7/15	7/35	5/12
Kiaurymių skersmuo, mm	36,0	36,0	30,0	34,0
Vieno metro bėgio masė, kg	74,41	64,72	60,34,	51,67

Labai svarbu žinoti ir bėgių kokybines charakteristikas. Jos pažymėtos ant pačio bėgio. Bėgio gale yra charakteristikos, kokybės inspekcijos įspaudai, bėgio kokybinės charakteristikos, gamybiniai šifrai ir metalo lydymo šifrai. Kaklelyje žymimas gamyklos indeksas, pagaminimo data ir bėgio tipas.

Dažniausiai naudojamų bėgių R65 techninės specifikacijos:

Bendrieji reikalavimai

Bėgiai turi atitikti LST EN 13674-1:2011 standarto reikalavimus bei žemiau pateiktas technines sąlygas.

Techninės sąlygos

Kokybės užtikrinimas ir apžiūra

Gamintojas turi nepriklausomai patvirtintą ir tikrinamą kokybės užtikrinimo sistemą, atitinkančią EN ISO 9001 as EN ISO 9002 reikalavimus ir turėti tai įrodantį sertifikatą.

Gamyba

Bėgiai turi būti gaminami iš ištisinio liejimo luitų vadovaujantis LST EN 13674-1:2011 standartu. Plieno gamybos procesas turi būti konverterinis arba gamyba vykdoma elektros krosnyse.

Informacija apie bėgius

Bėgių profilis

Bėgių profilis R65.

Plieno markė

Plieno markė ne mažesnė kaip R 350 HT pagal LST EN 13674-1:2011 standarto reikalavimus.

Profilio klasė ir leistinos paklaidos

Bėgiai turi būti pagaminti, kad jie atitiktų leistinas paklaidas, taikomas pagal LST EN 13674-1:2011 standarto reikalavimus.

Tiesumo klasė

Bėgių tiesumas turi atitikti klasei B, laikantis leistinų paklaidų pagal LST EN 13674-1:2011 standarto reikalavimus.

Bėgių ilgis

Bėgių ilgis 25 metrai, laikantis leistinų paklaidų pagal LST EN 13674-1:2011 standarto reikalavimus.

Bėgių gręžimas

Bėgiai turi būti tiekiami be kiaurymių, išskyrus tuos, kurie naudojami transportavimo, saugumo tikslais.

Bėgių žymėjimo dažais kodas

Bėgių klasė turi būti pažymėta bėgio galuose žalia žyme pagal LST EN 13674-1:2011 standarto reikalavimus, arba šalies gamintojos standarto reikalavimus.

Papildomi trumpi bėgiai turi būti pažymėti balta linija abiejuose bėgio galuose, panašiai pažymint ir bėgio ilgį.

Žymėjimas

Gamintojo markiruotė

Gamintojas turi markiruoti kiekvieną bėgį. Bėgis markiruojamas ant kakliuko iškiliuoju būdu pagal LST EN 13674-1:2011 standarto reikalavimus arba šalies gamintojos standarto reikalavimus. Markiruotėje turi būti nurodyta: gamyklos – gamintojo pavadinimas, užgrūdinimo tipas, valcavimo metai, bėgio tipas.

Karštas štampavimas turi būti atliktas pagal LST EN 13674-1:2011 standarto reikalavimus arba šalies gamintojos nacionalinio standarto reikalavimus.

Kokybės testai

Turi būti įtraukti tokie kokybės patikrinimo testai, atlikti akredituotoje laboratorijoje, naudojančioje nepriklausomą ir tikrinamą kokybės užtikrinimo sistemą:

Laboratoriniai bandymai

Laboratoriniai bandymai turi būti atliekami remiantis LST EN 13674-1:2011 standarto reikalavimais.

Cheminė sudėtis

Turi būti atliekama cheminė analizė su kieto būvio mėginiais.

Vandenilis

Skysto vandenilio turi būti ne daugiau kaip 2,5 ppm.

Bendro deguonies kiekio nustatymas

Bendras deguonies kiekis turi būti ne daugiau kaip 20 ppm.

Mikrostruktūra

Bandymų dažnumas, nustatant mikrostruktūra, turi būti atliekamas remiantis LST EN 13674-1:2011 standarto reikalavimais. R 350 HT mikrostruktūra turi būti perlitinė, be martensito, beinito ar grūdėto paviršiaus cementito.

Dekarbonizacija

Dekarbonizacijos ribos yra nurodytos LST EN 13674-1:2011 standarto reikalavimuose.

Kietumas

Bėgio kietumas turi atitikti LST EN 13674-1:2011 standarto reikalavimus.

Tempimo bandymai

Tempimo bandymai turi atitikti LST EN 13674-1:2011 standarto reikalavimus.

Tiesumas, paviršiaus lygumas ir persisukimas

Tiesumas, paviršiaus lygumas ir persisukimas turi atitikti LST EN 13674-1:2011 standarto reikalvimus.

Paviršiaus kokybė

Bėgių paviršiai turi būti be jokių defektų, kaip pavyzdžiui kiaurymių, plyšių, karšto metalo nutekėjimų, ištekėjimų, šaltų užvartų, suvirinimų, lyginimų ir bet kokių karšto ar šalto apdorojimo, slepiant defektų, pedsakų. (LST EN 13674-1:2011).

Pagrindiniai bėgių plieno gamybos būdai yra:

- marteninis – metalas lydomas marteno mūrinio skliauto krosnyse (luitinis liejimas);
- konverterio – metalas lydomas konverterio nerūdijančio plieno krosnyse (ištisinis liejimas);
- elektrinis lankinis – metalas lydomas elektrinėse lankinėse krosnyse (ištisinis liejimas).

2.2 Reikalavimai bėgių medžiagai

Bėgiams, skirtiems geležinkeliams, kuriais dideliu greičiu važiuoja sunkiasvoriai traukiniai, keliami ypatingi reikalavimai. Pagrindinis skirtumas tarp besandūrio kelio ir sandūrinio kelio tas, kad besandūriame kelyje ilgabėgius veikia didesnė išilginė jėga, atsirandanti dėl temperatūros pokyčių. Vasara, kai oro temperatūra aukštesnė, ilgababėgiuose atsiranda išilginės spaudimo jėgos; kai tarkim žiemą, temperatūra žema, atsiranda tempimo jėgos, dėl kurių susidaro dideli bėgio pado įtempiai ir dėl jų, gali trūkti bėgių sandūros. Todėl, bėgiui taikomos didelio stiprumo medžiagos, kad atlaikytų vertikaliąsias ir šonines statines apkrovas bei dinaminį judančio traukinio vertikaliojo ir horizontaliojo pagreičių poveikį. Pagrindiniai reikalavimai bėgių medžiagai: bėgių plienas turi būti stiprus ir atsparus dilimui, su minimaliu žalingų priemaišų kiekiu, pakankamai plastiškas, kad būtų galima mechaniškai apdirbti, taip pat būti pakankamai atsparus nuovargiui, kad nesusidarytų vidinių defektų ir paviršinių įtrūkių. Kad nevyktų netolygus ir banguotas dėvėjimasis, bėgiai turi turėti tolygų kietumą ir atsparumą dilimui visame ilgyje, gerai virintis tiesiant besandūrius kelius ir grūdintis visu tūriu. Būdas padidinti atsparumą nuovargiui – gaminti plieną, turintį nedidelį kiekį nemetalinių intarpų. Naudojamas bėgiams plienas turi būti be vidinių įtrūkimų. Vidiniai įtrūkimai (flokenai) gali gautis įsiskverbusiam į išlydytą metalą vandeniliui kaupiantis aušinimo metu. Vandenilis iš plieno gali būti pašalintas prieš išliejant išlydytą plieną vakuminiu dujų šalinimo procesu arba labai lėtai aušinant karštus bėgius. Be viso to, gaminant bėgius turi būti gauti numatyti bėgių matmenys ir patenkinti reikalavimai paviršiaus kokybei (Višniakas, Rudzinskas. 2012).

2.3 Bėgių cheminė sudėtis ir mechaninės savybės

Bėgių plienai gaminami iš anglingų plienų, kurių sudėtyje yra 0,6–0,82% anglies. Didėjant anglies kiekiui pliene didėja trapumas, mažėja plastiškumas, didėja jautrumas įtempimų koncentratoriams, blogėja suvirinamumas, tačiau atsparumas dilimui didėja, o tai ilgina naudojimo trukmę. Anglingojo plieno legiravimas didina stiprumą ir atsparumą dilimui. Kai anglies kiekis pasiekia didžiausią ribą 0,82%, o manganas 1,79%, gaunamas aukšto stiprumo ir atsparus dilimui plienas, kuris naudojamas sunkiųjų bėgių gamybai. Daryti tyrimai parodė, kad plieno takumo ribai didžiausią įtaką daro anglis, manganas, silicis ir vanadis.

Bėgių plienu savybių gerinimui naudojami ir šie legiravimo elementai: chromas ir nikelis. Beinitinės struktūros plienai gaminami legiruojant įprastiniais legiravimo elementais: molibdenas ir boras skatina beinito susidarymą, anglis, chromas ir manganas suteikia stiprumą, o silicis stabdo karbidų susidarymo procesą, skatinantį atsparumą dilimui.

Lietuvos geležinkelyje tiesiami sunkieji bėgiai iš anglingojo plieno, mikrolegiruoto vanadžiu. Didesnis anglingų (0,7–0,82%) su vanadžiu plienu atsparumas dilimui (10–40%) didesnis, nei be vanadžio aiškinamas ne tik kiek aukštesniu kietumu, bet ir dispersinio kietėjimo metu išsiskiriančiais vanadžio karbidais. Vanadžiu legiruotų plienų atsparumas dilimui priklauso ir nuo grūdinimo bei atleidimo temperatūrų. Jei lygintume identiškos sudėties plieno be vanadžio ir plieno su vanadžiu atsparumą dilimui po atleidimo 580–650 °C temperatūrų intervale, tai plieno su vanadžiu atsparumas dilimui bus 1,8–2,0 kartus aukštesnis nei be vanadžio. Tačiau virš 700 °C atleidimas suvienodina minėtų plienų atsparumą dilimui. Lyginamų plienų pavyzdžių kietumas apytikriai vienodas, optiniu mikroskopu stebima mikrostruktūra praktiškai identiška, o dilimas ženkliai skiriasi. Didžiausias mechaninių savybių didinimo efektas legiruojant vanadžiu gaunamas po atleidimo 550 °C ir aiškinamas dispersinių karbidų buvimu. Vanadis su karbidus sudarančiais elementais sudaro karbidus, kurių dydis keičiasi terminio apdirbimo metu. Vanadžio tirpumas austenite priklauso nuo anglies kiekio pliene ir nuo kaitinimo temperatūros. Šis procesas yra pagrindinis grūdo dydžio ir α - kietojo tirpalo persotinimo ataušinus veiksnys. Todėl austenito aušinimo būdas ir atleidimo laipsnis atleidimo metu reguliuoja vanadžio karbidų išsiskyrimą. Taigi, vanadinio plieno padidintas atsparumas atleidimui sąlygojamas ne absoliučiu vanadžio kiekiu, o jo kiekiu, ištirpusiu austenite. Karbidų sudėtis, dispersiškumas ir pasiskirstymas priklauso nuo plieno cheminės sudėties, kaitinimo ir aušinimo procesų. Efektyvus santykinis atsparumas dilimui gaunamas legiruojant kompleksiškai ir optimalus jų kiekis: mangano 1,0–1,4%, silicio 0,3–0,5%, chromo 0,3–0,6% ir vanadžio 0,06–0,15%

Vidutinio anglingumo plienu tempimo stiprumas apie 430 N/mm² (tai reiškia, kad 1,4 mm viela gali išlaikyti 70 kg svorį). Anglingojo plieno tempimo stiprumas sudaro nuo 900 N/mm² iki 1200 N/mm². (1,4 mm vielą pakeistų 0,8 mm viela) (Višniakas, Rudzinskas. 2012).

2 lentelė. Kai kurių bėgių plienų cheminė sudėtis

Elementas	Leidžiamasis intervalas, %		Darbinis intervalas	Bėgio markė EN 13674-1
	mažiausiais	didžiausias		
Anglis	0,30 0,35 0,40 0,50	0,55 0,70 0,75 0,85	± 0,12 ± 0,12 ± 0,12 ± 0,12	R200 R220 R260, R260Mn R320Cr, R350HT,R350LHT
Silicis	0,0002	1,20	± 0,25	Visos
Manganas	0,40 0,45 0,50 0,50	1,00 1,20 1,40 1,60	± 0,20 ± 0,20 ± 0,20 ± 0,20	R200 R220 R260,R320Cr, R350HT, R350LHT R260Mn
Fosforas	0,00	0,035	-	Visos
Siera	0,00	0,035	-	Visos
Chromas	0,00 0,00	0,20 0,80	- ± 0,20	R200, R220, R260, R260Mn R320Cr, R350HT, R350LHT
Molibdenas	0,00	0,10	-	Visos
Nikelis	0,00	0,10	-	Visos
Aliuminis	0,02	0,60	± 0,20	Visos
Varis	0,00	0,20	-	Visos
Alavas	0,00	0,02	-	Visos
Stibis	0,00	0,02	-	Visos
Titanas	0,00	0,05	-	Visos
Niobis	0,00	0,01	-	Visos

2.4 Bėgių terminis apdirbimas

Apdirbant metalus termiškai, - įkaitinant metalų lydinius iki tam tikrų temperatūrų, išlaikant jose ir aušinant nustatytu greičiu, pakeičiama metalų sandara ir jų savybės

Didėjant anglies kiekiui pliene didėja bėgių atsparumas dilimui. Dilimo intensyvumą galima sumažinti taikant tūrinį ar dalinį, bėgio galvutės terminį apdirbimą, o taip pat pasirenkant legiruotus bėgių plienus.

Šiuo metu gaminant bėgius taikomi įvairūs terminio apdirbimo būdai: atkaitinimas, normalizacija, grūdinimas, atleidimas. Bėgių gamybos technologijoje nuosekliai taikomi šie terminio apdirbimo būdai:

- Izoterminis atkaitinimas. Po karšto valcavimo lėtai aušinama 550-150 °C intervale 4 val. specialiose dėžėse, paskui izotermiškai išlaikoma 525-575 °C temperatūroje 2 val. Šis terminis apdirbimas užtikrina perlitinę sandarą, tačiau didina grūdelių dydį.
- Normalizacija atliekama nepertraukiamo veikimo krosnyse. Į krosnį, įkaitusią iki 850 – 870 ^{o}C paduodami 550 – 600 ^{o}C bėgiai. Kol pereina pro krosnį (tai trunka apie 30min.), bėgiai įkaista iki normalizavimo temperatūros. Aušinama ore. Gaunami smulkūs perlito arba perlito su nedideliu ferito kiekiu grūdai.
- Terminio apdirbimo operacija sorbitinei struktūrai gauti. Normalizacijos aušinimo ore metu 820 – 740 ^{o}C temperatūroje purškiamas vanduo 12 – 15 s, kas 3 sekundes darant pertrauką (kai bėgio ilgis apie 20 m.). 3 – 5 mm gilyje gaunama sorbitinė struktūra, o pereinama sritis 4 – 6 mm. Paviršiaus kietumas gaunamas 300 HB. Sorbitinė struktūra reikalinga tam, kad po to atlikus grūdinimą užgrūdinta struktūra būtų tolygi t. y. martensitas būtų lygiaašis, kad nebūtų ferito intarpų.
- Bėgio važiuojamojo paviršiaus grūdinimas. Grūdinimas atliekamas aukšto dažnumo srovėmis su savaiminiu atsileidimu, grūdinimo gylis 5 – 8 mm. Savaiminis atleidimas gaunasi dėl greito kaitinimo grūdinimui šilumos nuvedimo į bėgio metalo masę, o temperatūrai išsilyginus, lėto aušimo. Gaunamas kietumas 360 – 400 HB. Grūdinimo temperatūra 860 ^{o}C. Susidaro trostitinė mikrostruktūra, kuri suteikia bėgio važiuojamajam paviršiui atsparumą dilimui ir pakankamą smūginį tasumą, kad atlaikytų dideles apkrovas (Višniakas, Rudzinskas 2012).

2.5 Termitinis bėgių suvirinimo procesas

Termitinis bėgių suvirinimas, tai procesas, kurio metu vyksta egzoterminė reakcija tarp termito mišinio ir geležies oksido miltelių. Termitų mišinys užsiliepsnoja nuo specialaus degiklio. Mišinyje vyksta reakcijos, kurių metu išsiskiria didelis kiekis šilumos, temperatūra pakyla virš 3000 °C, kad net išsilydo pagrindinis metalas.

3 lentelė. Cheminės reakcijos formulė

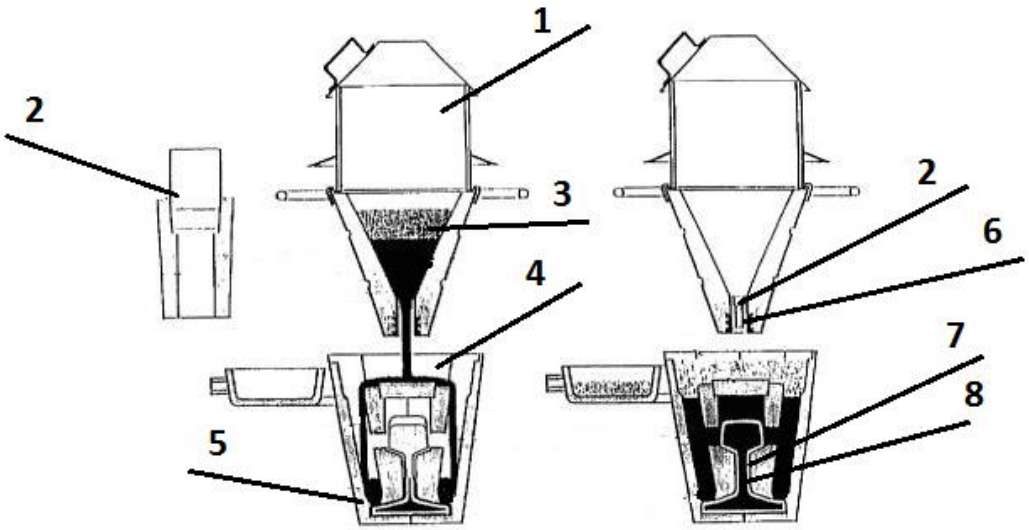
Geležies oksidas	+	Aliuminis	>	Aliuminio oksidas	+	Geležis	+	Šiluma
3FeO	+	2Al	>	Al_2O_3	+	3Fe	+	880 kJ
Fe_2O_3	+	2Al	>	Al_2O_3	+	2Fe	+	850 kJ

Aliuminio termitas sudarytas iš 20 – 23 % aliuminio ir 77 – 80 % geležies nuodegų. Pakaitinus tokį mišinį termodegtukais arba elektros lanku iki ~ 1250 °C temperatūros, vyksta egzoterminė reakcija, kurios metu išsikiria šiluma ~ 850 – 880 kJ (Sladojevic 2008).

Dažniausiai yra naudojami du termitinio suvirinimo būdai: lydymu, spaudimu.

Bėgių suvirinimui dažniausiai naudojamas suvirinimas lydant, jis atliekamas specialiose formose, į kurias statomi suviranamieji bėgių galai. Degant termitui susidaro lydalas, kuris aplydo jungiamuosius bėgių galus, šalia jų sudarydamas skysto metalo vonią, padengtą šlako sluoksniu. Šlakas apsaugo metalą nuo oksidacijos ir greito aušimo, taip užtikrindama gerą jungties suvirinimo kokybę.

Kaip ir buvo minėta termitinis suvirinimas atliekamas panaudojant sulydymo liejant technologiją. Suvirinant naudojami pagrindiniai komponentai: tiglis, termitinis mišinys, siūlės formavimo forma.



4 pav. Bėgių termitinio suvirinimo schema:

1 – tiglis; 2 – tiglio kamštis; 3 – suvirinimo mišinys; 4 – latakas; 5 – ugniai atspari forma; 6 – metalo išleidomo vamzdis; 7 – suvirintas bėgis; 8 – suvirinimo kamera

Termitiniu būdu suvirintos jungties kokybė, kaip ir virinant visais kitais suvirinimo būdais, priklauso nuo suvirinimo technologijos. Termitinio suvirinimo procedūros veiksmai:

- jungiamosios vietos paruošimas bei suvirinamojo tarpo nustatymas;

  Ruošiant bėgių galus suvirinti, svarbu pamatuoti bėgių paviršių iš visų bėgio galvutės pusių, bei bėgių pagrindą iš visų bėgio pusių.

5 pav**.** Jungiamosios vietos paruošimas bei suvirinamojo tarpo nustatymas

- jungties centravimas, suvirinimo formos surinkimas, padengimas glaistymo smėliu;

6 pav. Jungties centravimas, suvirinimo formos surinkimas, padengimas glaistymo smėliu

- išankstinis pakaitinimas;

Išankstiniam pakaitinimui naudojama oro ir propano, deguonies ir propano, deguonies ir acetileno mišiniai su tam pritaikytais degikliais. Išankstinio pakaitinimo laikas priklauso nuo bėgių tipo ir gali trukti nuo 2 min iki 7 min.

7 pav. Išankstinis pakaitinimas

- tiglio įstatymas ant liejimo formos, degiklio paruošimas, termito uždegimas;

Kai tiglyje uždegamas termitas, prasideda egzoterminė reakcija, trunkanti 15 – 20 s, kurios metu išsiskiria didelis kiekis šilumos. Skytasis metalas užpildo formą pagal visą bėgio profilį. Keraminės formos nuimamos po 3 – 4 min, visiškai susikristalizavus metalui po suvirinimo.

8 pav. Tiglio įstatymas ant liejimo formos, degiklio paruošimas, termito uždegimas, termito lydimasis

- jungties šlifavimas po suvirinimo;

Nuemus formas, dar neatšalus sandūrai, nuo bėgio galvutės važiavimo paviršiaus ir jos šonų mechaniniu būdu pašalinamos susidarusios metalo užlajos ir šlakas.

9 pav. Jungties šlifavimas po suvirinimo

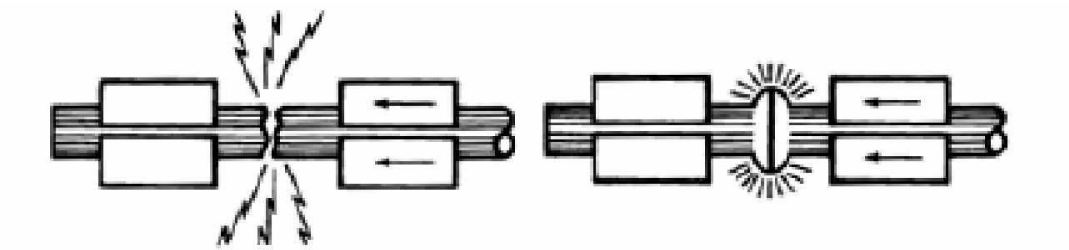
Termitiniu būdu suvirinami ir termiškai sustiprinti, ir termiškai nesustiprinti, vienodo arba skirtingų tipų bėgiai, taip pat termiškai sustiprinti (tūriniu arba paviršiniu būdu) bėgiai su termiškai nesustiprintais bėgiais. Visos termitinio suvirinimo procedūros turi būti atliekamos visiškai išvengiant drėgmės prasiskverbimo į suvirinimo vietą, nes minimali drėgmė gali sudaryti sąlygas atsirasti defektams siūlės metale (THERMIT...2013); (Ilic *et al*.1999).

10 pav. Termitu suvirinto bėgio jungtis

2.6 Kontaktinis sandūrinis aplydomasis bėgių suvirinimas

Kontaktinis sandūrinis bėgių suvirinimas labai populiarus Japonijoje, Indijoje bei daugelyje kitų pasaulio šalių, kuriose naudojama stacionari bėgių suvirinimo įranga.

Kontaktinis sandūrinis metodas – vienas iš kontaktinio suvirinimo būdų, kuris apibudinamas kaip technologinis procesas kai pratekanti elektros srovė įkaitina suspaustų detalių salyčio zona iki plastinės būsenos arba iki tol, kol apsilydo. Išjungus maitinimą ir papildomai suspaudus, detalės susivirina. Šilumos kiekis suvirinimo zonoje priklauso nuo srovės stiprumo, jos tekėjimo trukmės ir nuo varžos detalių sąlyčių vietoje.

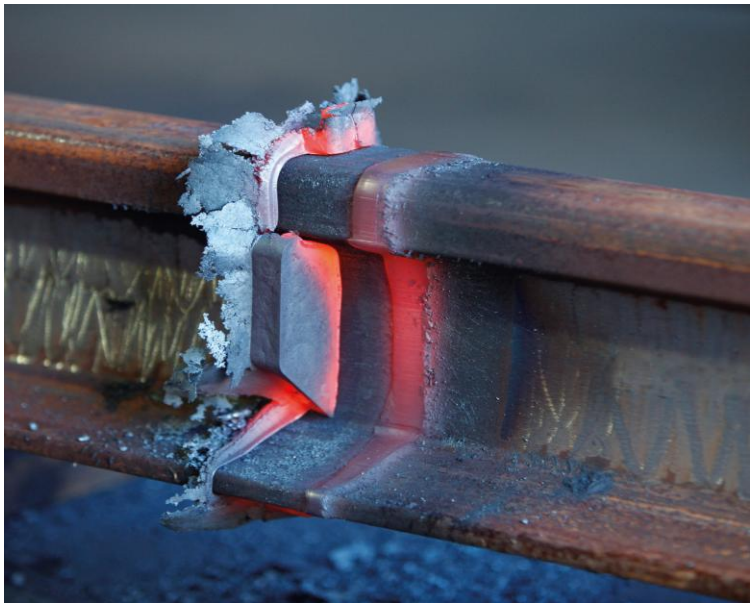


11 pav. Aplydomojo sudurtinio suvirinimo schema

Kontaktinio suvirinimo būdai: pagal sujungimo metodą (esant kietajai arba skystajai fazei), pagal naudojamą aplinką (ore ar apsauginėje aplinkoje), pagal srovės tiekimą ir rūšį (kontaktinis, indukcinis, kintamąja srove, nuolatine srove), pagal suvirinimo technologiją (taškinis, reljefinis, siūlinis, sandūrinis).

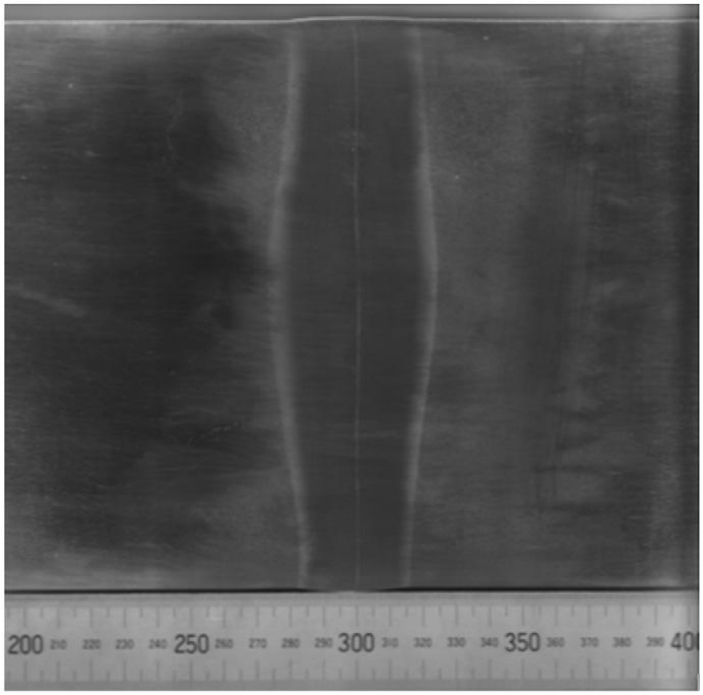
Suvirinant aplydomuoju būdu, detalės suartinamos įjungus transformatorių. Tuo metu detalės spaudžiamos nedidele jėga, o detalių kontakto varža yra didelė. Susilietimo vietose teka labai didelė srovė, dėl to jos labai įkaista ir greitai apsilydo. Procesui kartojantis, detalių galai pasidengia skysto metalo sluoksniu. Detalių galuose susidarius skysto metalo plėvelei, srovė išjungiama ir detalės suspaudžiamos tam tikra jėga. Išsilydęs metalas išstumiamas iš sandūros ir sudaro suvirintą sujungimą. Šiuo būdu suvirinami netik bėgiai, bet ir juostos, vamzdžiai, profiliai. Kontaktiniu sandūriniu būdu galima suvirinti iki 10000 mm^2 skerspjūvio detales (Farhangi, Mostafa. 2007).

Kontaktinis suvirinimas – vienas iš našiausių suvirinimo būdų; lengvai mechanizuojamas ir automatizuojamas, naudojamas įvairiose technikos srityse.



12 pav. Kontaktiniu būdu suvirinta jungtis

Kontaktiniu sandūriniu būdu suvirintos jungties stiprumas yra ženkliai geresnis negu jungčių, kurios suvirintos kitais bėgių suvirinimo būdais, nes suvirinimo siūlė yra žymiai siauresne, o kuo siauresne siūlė tuo mažiau tikimybės atsirasti defektams veikiant vertikaliai apkrovai. Australijos universitete tyrimo metu gauta sulydymo zona kontaktiniu sandūriniu būdu, pavaizduota 13 paveiksle. (Farhangi, Mostafa 2007); (Tawfik *et al* .2006).

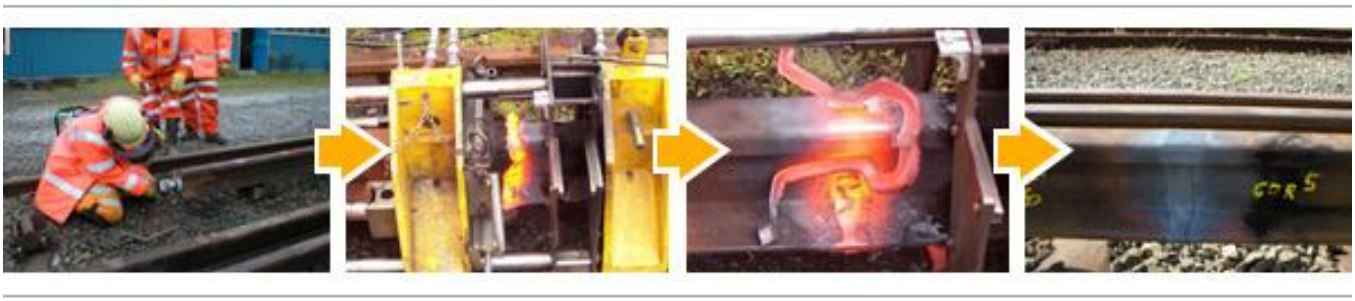


13 pav. Australijos universitete tyrimo metu gauta sulydymo zona kontaktiniu sandūriniu būdu. Bėgio markė AS 60

2.7 Dujinis suvirinimas slegiant (GPW – Gas pressure welding)

Dujinis suvirinimas slegiant labai paplitęs Indijoje, juo suvirinama civilinės paskirties konstrukcijos, o Japonijoje papalitęs kaip geležinkelio bėgių suvirinimo būdas. 1966 m. šis metodas pradėtas naudoti plačiai rytuose. Tuo metu šis būdas bandytas pritaikyti ir vakarų europoje, tačiau nesekmingai. Jo buvo atsisakyta ir pradėta virinti kontaktiniu sandūriniu ir termitiniu suvirinimo būdais, tad Europoje šis būdas iki šiol nėra populiarus, o Japonijoje jis taikomas iki dabar.

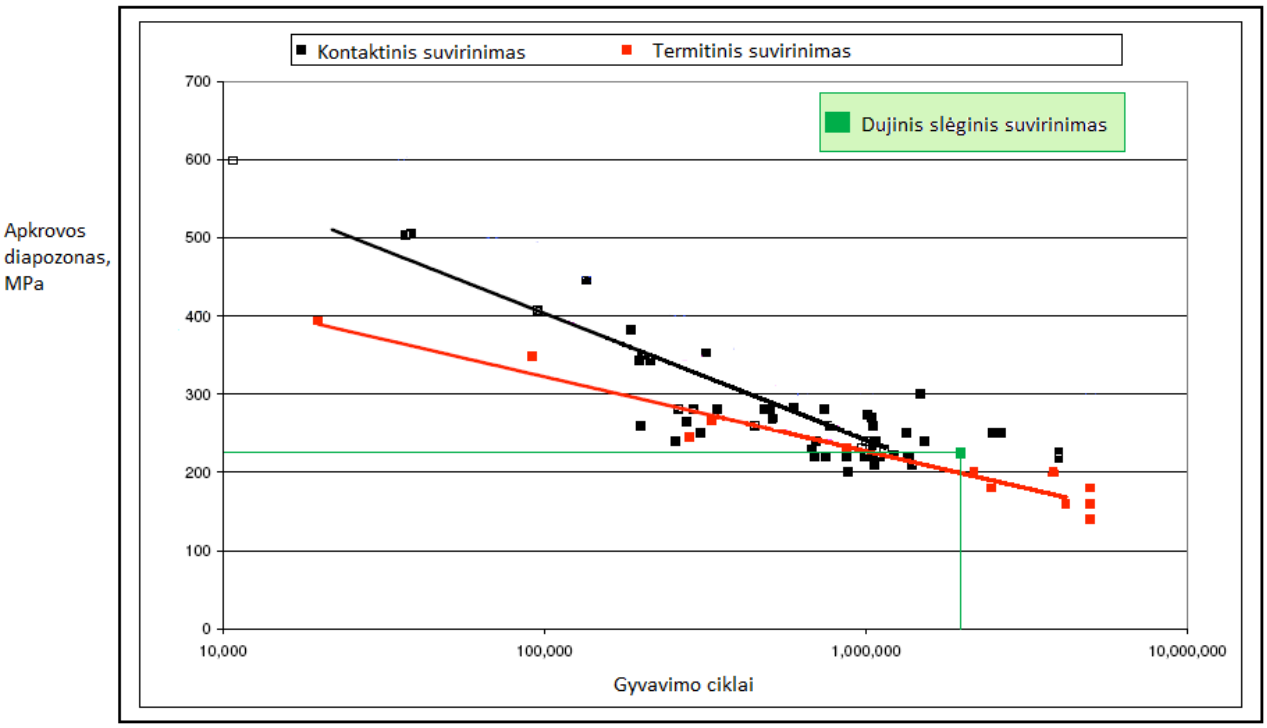
Suvirinimo technologija yra tokia: prieš suvirinima mechaniniu būdu nuvalomi bėgių galai. Naudojama deguonies ir acetileno liepsna, kuri įkaitina bėgiu galus iki 1250 °C – 1300 °C, po to mechaniniu būdu slegiami, po slėgimo pašalinamas ištryškęs metalas.



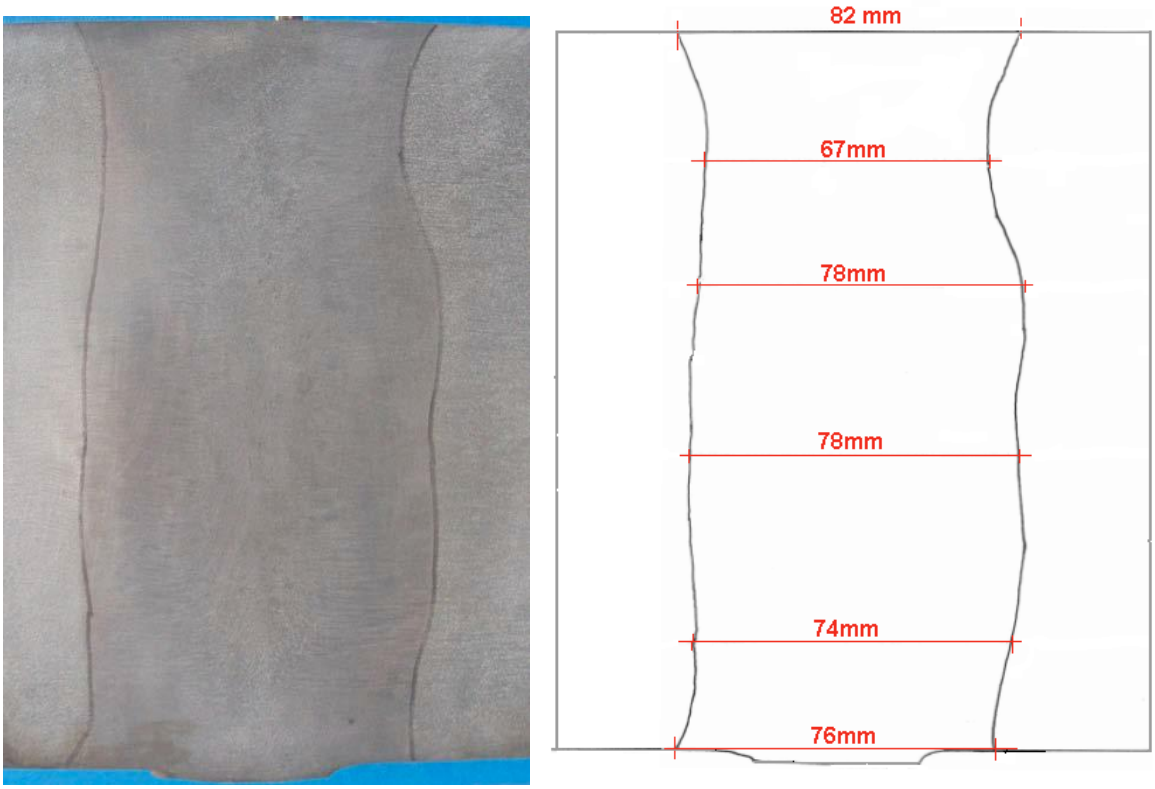
14 pav. Dujinio slėginio būdo suvirinimo etapai

Šis suvirinimo būdas reikalauja aukštos suvirintojų kvalifikacijos, tačiau pagrindinis privalumas yra tas jog įranga yra pigi ir mobili.

Kinijos universitete buvo atliktas tyrimas su 60E1 (UIC 60) markės bėgiu, kuris buvo suvirintas dujiniu slėginiu suvirinimo būdu pagal „Goldschmidt Thermit China Company“ technologija. Buvo nustatyta, kad suvirinant šiuo būdu, eksploatacijos gyvavimo cyklų kiekis priklauso nuo apkrovos diapozono (15 pav.). Gauti sulydimo zonos matavimai pavaizduoti 16 paveiksle. Matavimai parodė, kad siūlės sulydymo zona yra panaši į termitinio suvirinimo siūlės sulydymo zona. (Yamamoto *et al*. 1998); (Goldschmidt...2006).



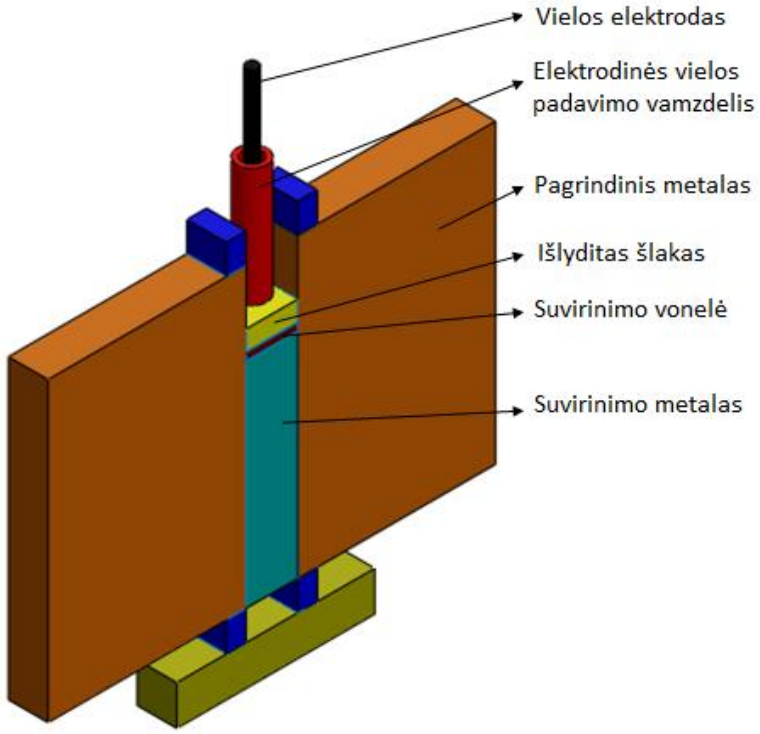
15 pav. Eksploatacijos gyvavimo ciklai nuo apkrovos



16 pav. Dujiniu slėginiu būdu suvirinto sujungimo sulydymo zonos matavimai 60E1 markės bėgyje

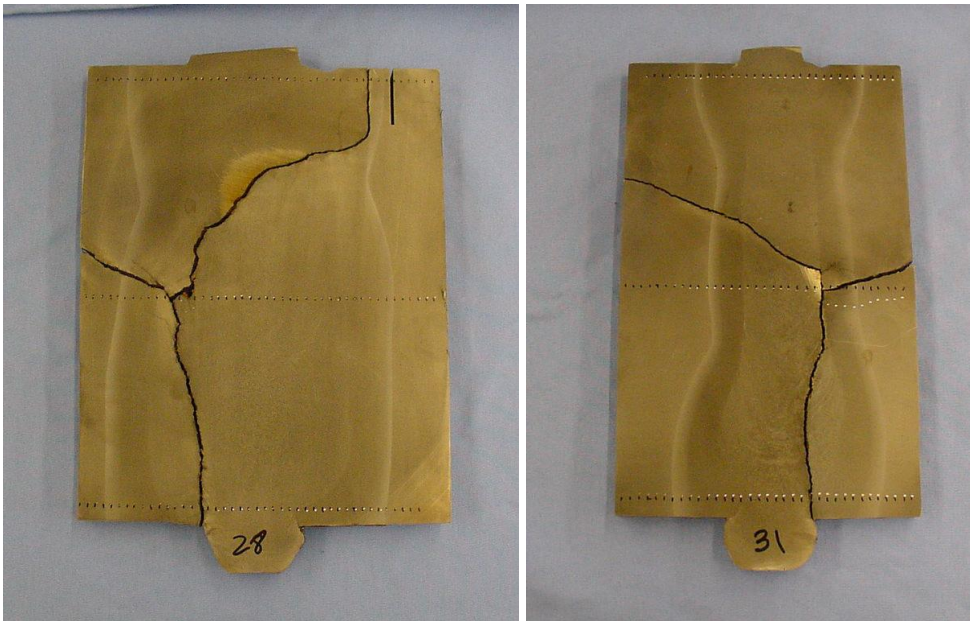
2.8 Elektrošlakinis bėgių suvirinimas

Suvirinimo proceso pradžioje tarp elektrodo ir detalių uždegamas suvirinimo lankas. Kai sujungime esantis fliusas pradeda lydytis, susidaro skysto šlako vonelė. Pakilus skysto šlako temperatūrai ir elektriniam laidumui, suvirinimo lankas yra nutraukiamas, o suvirinimo srovė perduodama per skystą šlaką.



17 pav. Elektrošlakinio suvirinimo schema

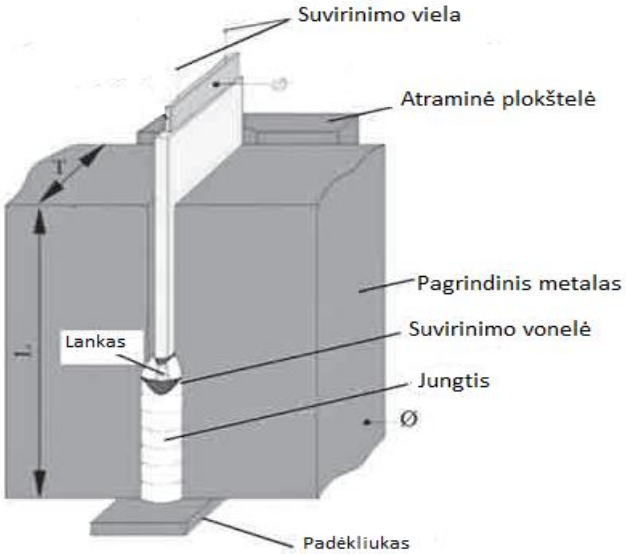
Elektrošlakinis suvirinimas atliekamas tarp fiksuotų arba perstumiamų, vandeniu aušinamų varinių plokštelių. Suvirinimo proceso metu suvirinimo galvutė juda aukštyn. Priklausomai nuo suvirinamų detalių storio naudojama viena arba kelios suvirinimo vielos. Jei detalės labai storos, suvirinimas atliekamas elektrodus vedžiojant skersai suvirinamo sujungimo. Šio suvirinimo būdo privalumai: didelis našumas; nedidelės detalių paruošimo sąnaudos; sujungimas užvirinamas vienu ėjimu, nepriklausomai nuo detalių storio; suvirintas sujungimas po suvirinimo mažai deformuojasi; maži skersiniai įtempiai; maža tikimybė atsirasti vandenilio įtrūkiams. Šio suvirinimo būdo pagrindinis trūkumas – dėl didelio įvedamo energijos kiekio, aušinimas vyksta lėtai, todėl grūdeliai išauga terminio poveikio zonoje. Sumažėjęs pagrindinio metalo smūginis tąsumas terminio poveikio zonoje apriboja konstrukcijų, suvirintų šiuo procesu, naudojimą žemose temperatūrose (Turpin, Danks. 2003); (About...2013); (Danks, Turpin. 2013).



18 pav. Elektrošlakiniu būdu suvirintų bėgių lūžiai po lėtojo lenkimo bandymo ir sulydymo zonos nustatymas

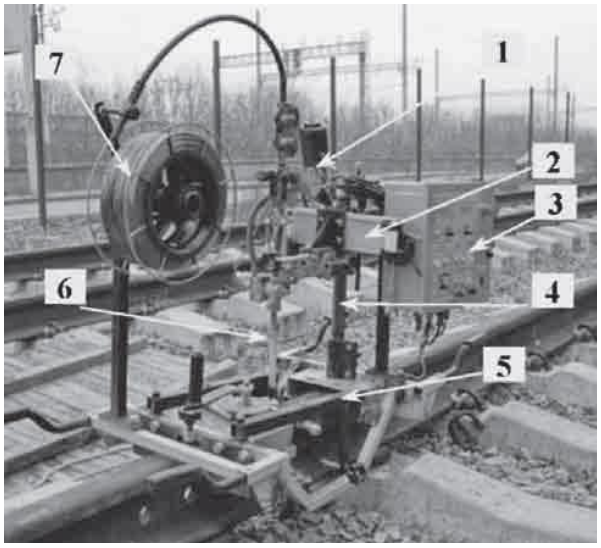
2.9 Bėgių suvirinimas naudojant naują automatizuotą elektrolankinę suvirinimo technologija.

CGEAW – „Consumable Guide Enclosed Arc Weldding“. Šis suvirinimo metodas pirma karta ekspirementavimo būdu sukurtas ir išbandytas E.O. Patono elektrolankinio suvirinimo institute, Ukrainoje. Naudojama savisaugė miltelinė viela, kur yra tiekiama per išilginę angą, kuri specialiai paruošta uždengti sudegusį elektrodą, pusiau automatiniu būdu. (19 pav.)

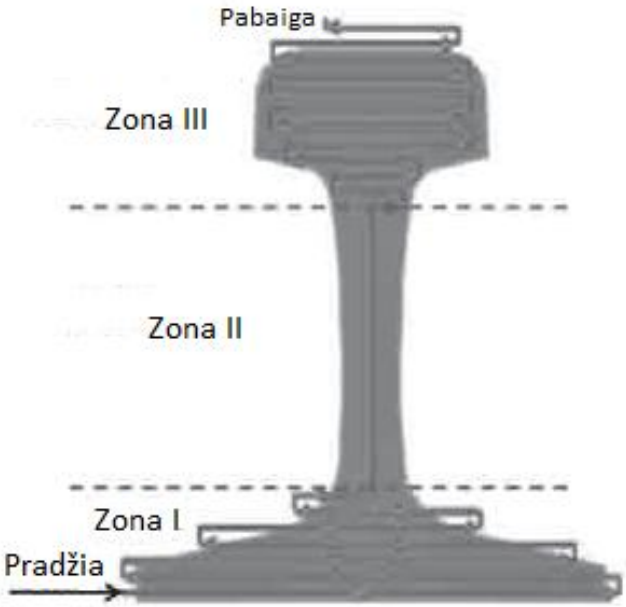


19 pav. „CGEAW“ suvirinimo būdo schema

Japonijoje „Nippon Steel Corporation“ šį metodą pritaikė bėgių suvirinimui, jį automatizuodami (20 pav.)



20 pav. Bėgių suvirinimo CGEAW būdu aparatas: 1 – vielos tiekimo mechanizmas; 2 – elektrodo horizantolios padėties reguliatorius; 3 – valdymo plokštė; 4 – elektrodo aukščio pozicionavimo laikiklis; 5 – rankinis mechanizmas padengtas varine danga; 6 – uždaroje angoje esanti elektrodinė viela; 7 – suvirinimo viela.



21 pav. Elektrodo judėjimo schema naudojant CGEAW metodą

Ukrainoje buvo suvirintas R65 tipo markės bėgis, kurio mechaninės jungties savybės pateiktos 4 lentelėje.

4 lentelė. Mechaninės R65 bėgio jungties savybės suvirintos CGEAW metodu.

Siūlės metalo kietumas	280 – 320 HB
Siūlės metalo atsparumas tempimui	800 – 900 MPa
Lėtojo lenkimo bandymo rezultatai Lenkimo apkrova Deformacija lenkimo bandymo metu	 1500 – 1650 kN 16 – 22 mm

Per 2009 – 2011 laikotarpį Ukrainoje, buvo suvirinta daugiau kaip 1200 suvirinimo jungčių. Pagrindiniai šio suvirinimo metodo pranašumai yra šie:

- didelis našumas 2 – 3 siūlės per valandą;
- nereikia papildomų apsauginių dujų;
- geresnė ir stabilesnė suvirinimo kokybė negu rankinio elektrolankinio, ar termitinio suvirinimo būdų;
- nereikia pakaitinti ar termiškai apdirbti siūlių;
- mažas energijos suvartojimas, būtina galia iki 15 kW (Bajic, Kusmenko, Samardzic 2013).

2.10 Skirtingais suvirinimo būdais suvirintų jungčių mechaninės savybės

- **Termitinio suvirinimo jungties mechaninės savybės.**

2004m., Vilniaus Gedimino technikos universitete atliktas termitiniu būdu suvirinto bėgio jungties savybių tyrimas.

Tyrimui buvo paimtas eksploatuotas bėgis suvirintas aliuminio termitu SKV-F jungtimi, kai netoli jungties ultragarsu buvo surastas nuovargio įtrūkimas. Sujungti bėgiai buvo pagaminti iš anglingo, turinčio 0,71 % C ir 0,8 % Mn, 0,027 – 0,03 % V, plieno, o siūlės metalas legiruotas dar ir chromu 0,6 %.

Jungtų bėgių galvutėse kietumas 380 – 390 HB, o link pado žemėjo iki 311 – 321 HB. Tai parodė, jog bėgiai yra termiškai sustiprinti. Siūlės kietumas 380 – 400 HB. O terminio poveikio srities kietumas sumažėjo iki 280 – 320 HB. Atlikus mikrostruktūros tyrimus buvo gauta trostitinė sandūra su oksidų intarpais. Trostitas – tai smulkiagrūdė mikrostruktūra, didinanti atparumą nuovargiui ir smūginėms apkrovoms. Padarius išvadas, nustatyta, jog termitu suvirintos jungties, terminio poveikio sritis, nedidelė: siekia 30 mm, abiejose siūlės pusėse po 15 mm, o kietumas 15 % mažesnis negu siūlės (7-osios...2004).

Kitas termitinio suvirinimo tyrimas buvo atliktas Rygos universitete.

Tyrimui atlikti buvo panaudoti dviejų tipų bėgiai: 1- R65 markės bėgis suvirintas Nizhniy Tagil (Rusija) plieno liejykloje, 2 - UIC 60 markės bėgis suvirintas Donovecko (Austrija) plieno liejykloje.

R65 bėgio jungties metalo kietumo sumažėjimas esantis 50 mm atstumu nuo suvirinto sujungimo iki centro 210 – 320 HB, kuris yra mažesnis nei minimalus 350 HB, pagal GOST P 51685-2000 ir EN-13674 standartą. UIC 60 kietumo sumažėjimas 220 – 245 HB. Siūlių kietumai buvo 300 – 330 HB. pagal EN-13674 standartą. Metalo, siūlės bei terminio poveikio zonos struktūra atitiko perlitinę-feritinę su mažu stiprumu ir tamprumu. Tempimo stiprumo riba metale, siūlėje bei terminio poveikio zonoje sudarė 892-1081 N/mm^2, kuri yra 10-24 % mažesnė nei įprasta stiprumo riba kituose bėgiuose (1173-1204 N/mm^2) (Mihailovs 2009).

Dar vienas termitinio suvirinimo tyrimas buvo atliktas Jugoslavijos universitete. Tyrimui panaudotas UIC 860 S49 markės bėgis, kurio suvirinimas atliktas Ukrainoje su „VarVin“ suvirinimo technologija.

Atlikus tyrimą buvo gautos tokios mechaninės savybės: Kietumas bėgyje 290 – 320 HB, o suvirinimo jungtyje 290 – 330 HB. Mikrostruktūra feritine – perlitinė (Ilic *et.el* 1999).

- **Kontaktinės sandūrinės aplydomosios jungties mechaninės savybės.**

Kauno technologijos universitete atliktas kietumo palyginimo tyrimas su UIC 60 ir R65 markės bėgiais.

Tyrimui naudotas grūdintas BRITISH STEEL UIC 60 ir AZOVSTAL R65 markės bėgiai. Abu bėgiai, buvo suvirinti Kauno geležinkelių detalių gamykloje elektrokontaktiniu būdu.

Grūdinti bėgiai yra pakankamai atsparūs dilimui, tačiau suvirinimo vietoje bėgiai turi pagrindinį trūkumą – žymų kietumo sumažėjimą 20 – 26 mm atstumu nuo suvirinimo siūlės centro. Tyrimo metu kietumas buvo matuojamas 5 mm atstumu nuo riedėjimo paviršiaus. Atlikus tyrimą gauti tokie rezultatai:

- UIC 60 bėgių kietumas apie 270 HB, o standarto ribos siekia 380 HB (UIC 900A reikalavimai).
- R65 bėgių kietumas 320 HB t.y mažiau negu leidžia CEN standartai (341 HB).
- Atlikus kietumo matavimus išilgai vertikalios R65 bėgio galvutės centro linijos, gauta, kad kietumas bėgio galvutės paviršiuje sumažėja iki 283 -330 HB.

Atlikus tyrimą R65 bėgio struktūroje aptikta beinito, kuris sumažina mechanines savybes ir padidina dilimo proceso tikimybę. Dėl žemo užgrūdinimo susiformavo bloga metalurginė struktūra (Tarptautinės...1999).

- **Mechaninės jungties savybės, suvirintos dujiniu slegiamuoju suvirinimo būdu.**

Didžiosios Britanijos universitete buvo atliktas tyrimas jungties, kuri buvo suvirinta dujiniu slegiamuoju suvirinimo būdu. Buvo naudojamas UIC 60 bėgis. Atlikus tyrimą kietumas pagrindiniame metale siekė

260 – 295 HB, terminio poveikio zonoje 230 – 280 HB, o siūlėje 275 – 310 HB. Gauti rezultatai parodė, jog pagrindinio metalo, terminio poveikio zonos ir siūlės struktūra yra sorbitinė (Goldschmidt...2006).

- **Elektrošlakiniu būdu suvirintos jungties mechaninės savybės.**

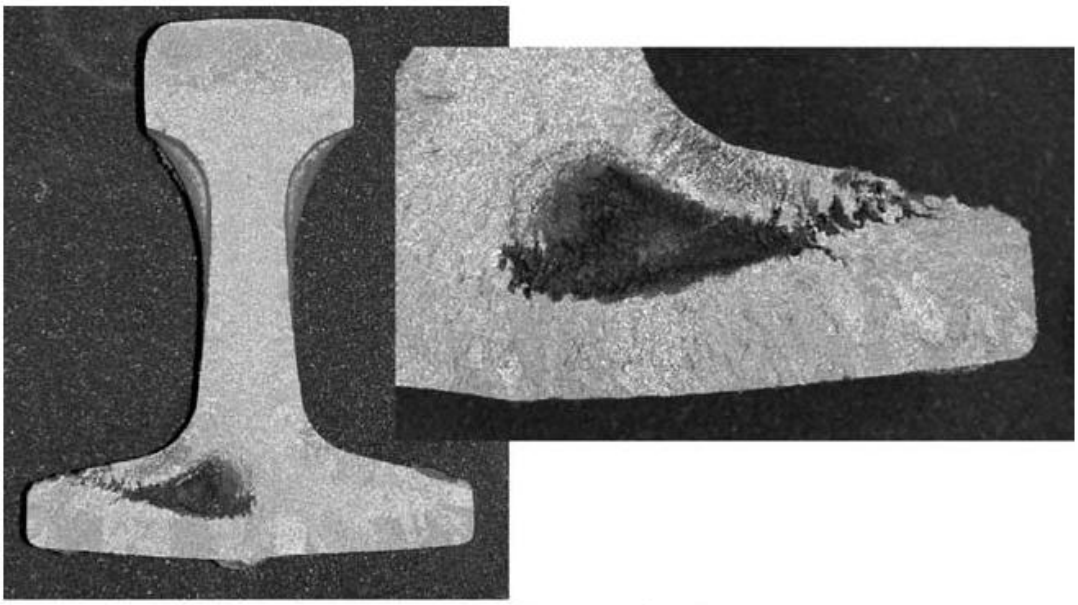
Amerikoje, Vašingtono universitete atliktas jungties tyrimas, kuri buvo suvirinta elektrošlakiniu būdu. Atlikus tyrimą, galvutėje nustatytas kietumas:terminio poveikio zonoje 277 – 375 HB, siūlės metale 280 – 300 HB. Pado kietumas terminio poveikio zonoje 270 – 341 HB, siūlės metale 285 – 340 HB. Rezultatai parodė, kad siūlės ir terminio poveikio zonos struktūra yra sorbitinė – trostitinė (Turpin, Danks. 2003).

2.11 Termitiniu būdu suvirintų bėgių defektų analizė

Defektai termitinio suvirinimo jungtyse dažniausiai atsiranda dėl neteisingai parinktos suvirinimo technologijos. Dažniausiai termitinis suvirinimas būna nekokybiškas dėl savo mikrostruktūros ir makrostruktūros, pavyzdžiui dėl intarpuose atsiradusių geležies oksidų (FeO, Fe_2O_3 ir Fe_3O_4) ir nedidelių porų, bei kitų defektų, dėl kurių atsiranda įtempiai. Remiantis literatūra pagrindiniai defektai pagal defektų klasifikaciją LST EN ISO 6520-1 „Suvirinimas ir panašūs procesai. Metalų suvirinimo defektų klasifikavimas. 1 dalis. Lydomasis suvirinimas“ yra šie:

- dujų pora, LST EN 6520-1-201;
- siūlės metalo susitraukimas arba plyšio susidarymas, LST EN 6520-1-100;
- nesulydymas ir neįvirinimas, LST EN 6520-1-400;
- nesulydymas (nevisiškas sulydymas), LST EN 6520-1-401;
- nepakankamas šaknies įvirinimas, LST EN 6520-1-4021;
- šlako liekanos, LST EN 6520-1-615;
- kiti defektai (LST EN ISO 6520-1:2007).

Vakarų Australijos universitete tyrimui panaudotas defektuotas lūžęs bėgis per suvirinimo siūlę, kuris suvirintas termitiniu suvirinimo būdu. Per metus buvo pravažiuota apie 75 mln. tonų, nominalus ašies apkrovimas buvo iki 37,5 tonų. Atlikus vizualinę apžiūrą buvo rastas defektas - kirmeliškoji (vermikulirinė) pora (22 pav.)



22 pav. Termitinės suvirintos jungties defektas – kirmeliškoji (vermikulirinė) pora

Buvo nustatyta, kad šio defekto atsiradimo priežastys buvo tokios:

- nepakankamas išankstinis pakaitinimas (nesilaikyta procedūros rekomendacijų);
- suvirinimo rėžimų ir technologijos nesilaikymas;
- nekokybiškai paruošti bėgių galai;
- per didelė ciklinė apkrova, kurios neatlaikė jungtis (Mutton, Alvarez 2003).

3. TYRIMO METODIKA

Naudojantis numatytais standartais buvo atlikti bėgių:

- vizualiniai, fraktografiniai tyrimai;
- sulydymo zonos nustatymas. Forma ir matmenys. Ėsdinimo procedūra;
- termiškai suminkštintos zonos kiečio matavimas;
- lūžusio bėgio važiuojamojo paviršiaus deformacijos matavimai;
- mikrostruktūros tyrimas (siūlių matomosios terminio poveikio zonos ir sulydimo zonos mikroskopinis tyrimas). Mikrokietumo matavimas;
- smūginio tąsumo bandymas;
- cheminė analizė.

3.1 Vizualinė suvirintos jungties apžiūra

Po viršutinio sluoksnio nuvalymo ir galutinio šlifavimo suvirintos siūlės rumbelės paviršiaus vientisumas turi būti patikrintas ją apžiūrint:

- neturi būti jokių įtrūkių, kurių ilgis 2 mm ar didesnis. Sandūros tarp siūlės rumbelės ir bėgio bei tarp išlajos ir bėgio nelaikomos įtrūkiais;
- bandinyje, neskaitant išlajos turi nebūti jokių didesnių kaip 3 mm porų, ir neturi būti daugiau kaip trijų porų, kurių dydis nuo 2 mm iki 3 mm;
- šlako ar smėlio intarpai neturi viršyti 5 lentelėje pateiktų ribų. Joks defektas neturi patekti į bėgio skerspjūvį ar siekti siūlės rumbelės ir bėgio susikirtimo briauną.

5 lentelė. Didžiausi šlako ir smėlio defektų matmenys

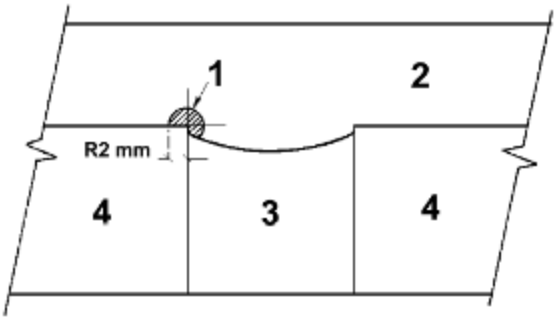
Paviršiaus matmuo (maks.)	Storis (maks.)
10 mm	3 mm
15 mm	2 mm
20 mm	1 mm

Bėgio galvutė ir nušlifuotas siūlės rumbelės paviršius abiejose bėgio galvutės pusėse turi atitikti šiuos reikalavimus:

– neturi būti jokių įtrūkių. Sandūros tarp siūlės rumbelės ir bėgio bei tarp išlajos ir bėgio nelaikomos įtrūkiais;

– turi nebūti jokių defektų (porų, šlako ir smėlio intarpų, metalo purslų), kurių matmenys didesni kaip 1 mm;

– daugiausiai ne didesnio kaip 2 mm matmens defektas turi būti priimtinas 23 paveikslo užbrūkšniuotoje 1 zonoje ne daugiau kaip 10 % bandomųjų siūlių arba vienoje siūlėje, jeigu iš viso yra mažiau kaip 10 siūlių (LST EN ISO 14730-1:2008).

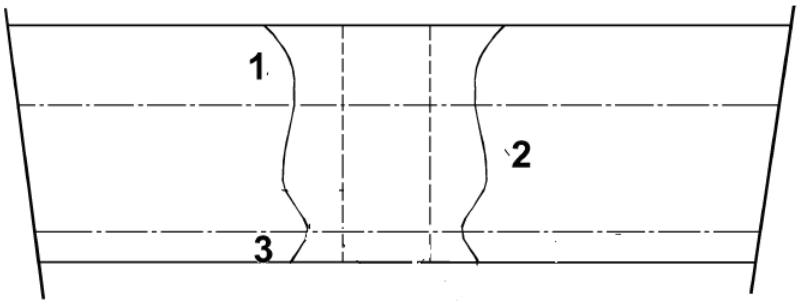


23 pav. Nušlifuotas rumbelės paviršius: 1 – 2 mm spindulio zona; 2 – bėgio galvutė; 3 – siūlės rumbelė, 4 – bėgio kakliukas.

Fraktografinio tyrimo metu nustatomas lūžio pobūdis. Tai gali būti atliekama be didinimo ar didinant. Lūžio paviršiai turi būti ištirti juos apžiūrint ir pagal standartą LST EN 14730-1 turi būti nustatyti didžiausi visų porų, šlako intarpai, smėlio intarpų ar metalo purslai.

3.2 Sulydymo zonos nustatymas. Forma ir matmenys. Ėsdinimo procedūra

Po ėsdinimo turi būti atliktas sulydymo zonos matavimas 24 paveiksle pavaizduotuose pjūviuose. Išmatuoti terminio poveikio zonos plotį ir siūlės plotį, bėgio viršutinėje dalyje, kakliuke ir pade.



24 pav. Sulydymo zonos forma išėsdintame išilginiame vertikaliame pjūvyje: 1 – matuojamas sulydimo zonos ir siūlės plotis viršutinėje bėgio dalyje; 2 – matuojamas sulydimo zonos ir siūlės plotis kakliuke 3 - matuojamas sulydimo zonos ir siūlės plotis pade

3.2.1 Ėsdinimo procedūra

Daugelis makrostruktūros charakteristikų yra nustatomos po ėsdinimo, kuris atliekamas pagal toliau aprašytą metodą: padaromas 4 % nitalio ėsdiklis iš azoto rūgšties ir distiliuoto vandens, po to bėgio paviršius tolygiai įmerkiamas į tirpalą ir palaikomas 5 – 6 s, tada bėgis nuplaunamas distiliuotu vandeniu, nudžiovinamas ir nuriebalinamas paviršius techniniu spiritu. Reikia labai atsakingai atlikti visą procedūrą, nes pagaminus per stiprų ar per silpną nitalio tirpalą, ar per ilgai, ar per trumpai laikant įmerktą bėgį galima jį perėsdinti arba nedaėsdinti iki galo.

3.2.2 Termiškai suminkštintos zonos plotis

Termiškai suminkštinta zona abiejose suvirintos siūlės pusėse turi turėti vieną iš toliau pateiktų pločių (6 lentelė), kuris turi atitikti geležinkelio administracijos pateiktą informaciją (LST EN ISO 14730-1:2008).

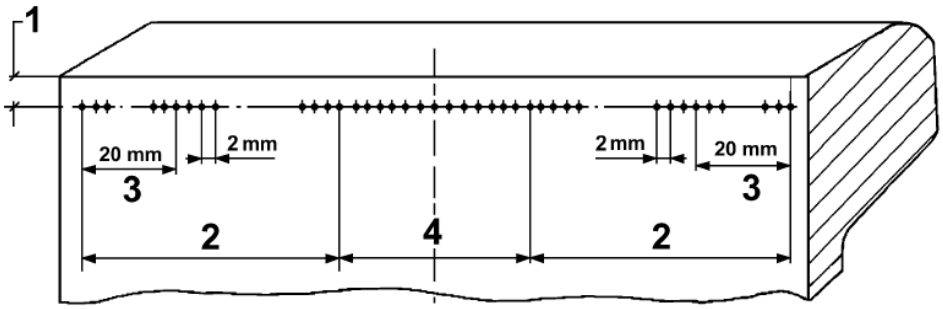
6 lentelė. Termiškai suminkštintos zonos intervalai

Ne daugiau kaip	Termiškai apdorotas bėgis	Termiškai neapdorotas bėgis
20 mm	✓	✓
30 mm	✓	✓
40 mm	✓	✓
50 mm	✓	-
60 mm	✓	-

3.3 Termiškai suminkštintos zonos kiečio matavimo procedūra

Kiečio matavimas. Turi būti išmatuotas kiečio pasiskirstymas termiškai suminkštintoje zonoje, atliekant Vikerso kiečio bandymą pagal EN ISO 6507-1. Įspaudai turi būti linijoje, esančioje nuo 3 mm iki 5 mm žemiau bėgio važiuojamojo paviršiaus bėgio išilginėje ašyje.

Kiečio matavimo zona turi tęstis skersai siūlės ir į abi puses, kol bus pasiekta 20 mm nepaveikto pirminio bėgio kiečio. Matavimai turi būti atliekami kas 2 mm žingsniu, viršutinėje bėgio dalyje, kaip parodyta 25 paveiksle.

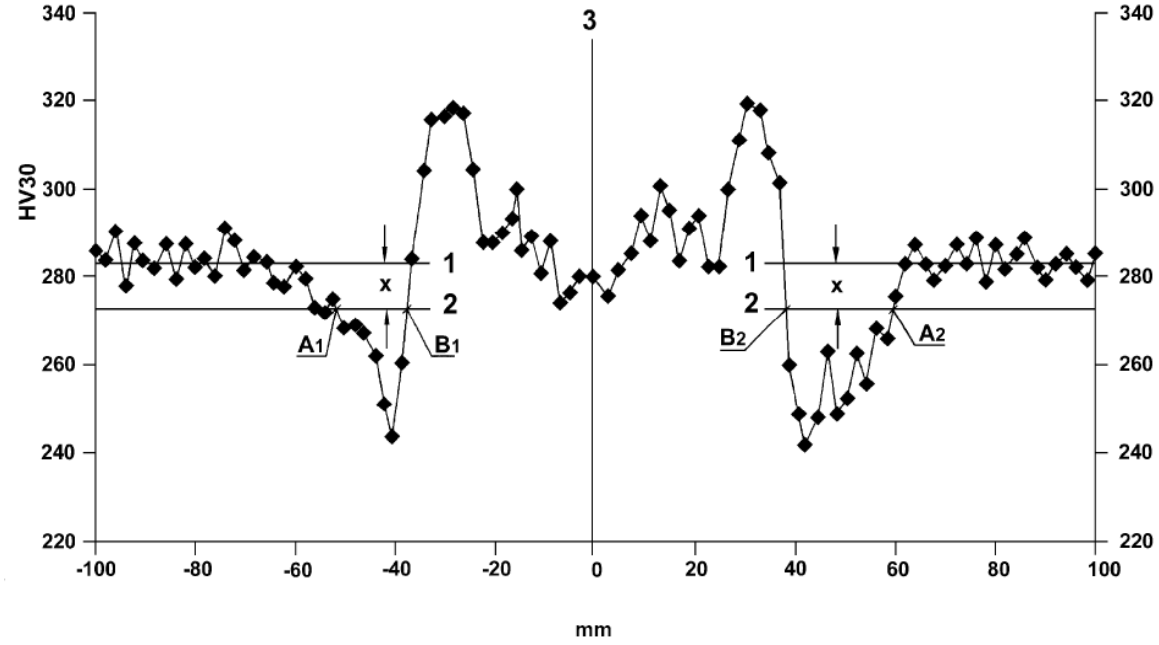


25 pav. Išilginis kiečio matavimas: 1 – storis nuo 3 mm iki 5 mm; 2 – pirminis bėgis; 3 – nepaveiktas pirminis bėgis; 4 – sulydymo zona

Gauti kiečio matavimo rezultatai turi būti užrašyti skaitinėmis vertėmis ir užrašyti grafiškai. Kiečio duomenų vertinimas

Bendrieji dalykai

Kiečio matavimo rezultatai turi būti užrašyti grafiškai taip, kaip pavaizduota 26 paveiksle.



26 pav. Tipinis kiečio profilis: 1 – 1 linija; 2 – 2 linija; 3 – siūlės centrinė linija

Pirminio bėgio vidutinis kietis

Pirminio bėgio vidutinis kietis abiejose siūlės pusėse yra skaičiuojamas iš bent dešimties kiečio matavimų, atliktų kas 2 mm nepaveiktame pirminiame bėgyje. Vidutinį kietį atitinkanti linija kiečio grafike nubrėžiama abiejose siūlės pusėse, kaip pavaizduota 26 paveiksle (1 linija).

Matavimo kiečio linija

Matavimo kiečio linija (2 linija) nubrėžiama lygiagrečiai su vidutinio kiečio linija atstumu X kiečio vienetų žemiau vidutinio kiečio linijos. X vertė priklauso nuo bėgio markės:

– X = 10, kai markės yra: R200, R220, R260, R260Mn, R320Cr;

– X = 25, kai markės yra: R350HT, R350LHT.

Termiškai suminkštintos zonos pločio matavimas

Termiškai suminkštintos zonos plotis nustatomas kaip atstumas tarp taškų A ir B anksčiau pateiktame 26 paveiksle.

Pirminio bėgio kiečio kitimas

Kai kuriais atvejais nepaveikto pirminio bėgio kietis gali turėti didelį standartinį kiečio nuokrypį vidurkio atžvilgiu. Dėl to kai kurie atskiri matavimo taškai nepaveiktame bėgyje gali atsidurti žemiau matavimo kiečio linijos (2 linijos). Termiškai suminkštintos zonos pločio matavimo tikslams, atskirus žemiau matavimo kiečio linijos esančių taškų galima nepaisyti, jeigu taikytinos a) ir b) sąlygos:

a) žemiau 2 linijos yra ne daugiau kaip vienas kiečio taškas iš tų, kurie naudoti pirminio bėgio vidutiniam kietumui gauti;

b) žemiau 2 linijos esantis taškas yra toliau kaip 4 mm nuo A taško 26 paveiksle (LST EN ISO 14730-1:2008).

3.4 Lūžusio bėgio važiuojamojo paviršiaus deformacijos matavimai

Tyrimo tikslas nustatyti bėgis po lūžio dar buvo eksploatuoajamas ir ar fraktografinio tyrimo metu nustatytos plastinės deformacijos sritys atsirado dėl tolimesnės bėgio eksploatacijos.

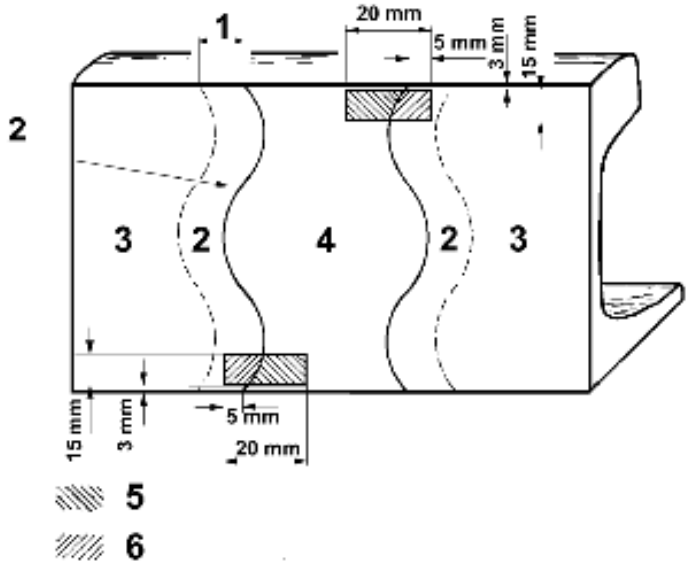
27 pav. Bėgio vaizdas iš viršaus. Bėgio galvutės (važiuojamosios dalies) nelygumo kintamumo matavimo metodika. 1 – mėlyna spalva: bėgio šoninė (dešinioji) dalis; 2 – raudona spalva: bėgio centrinė dalis; 3 – žalia spalva: bėgio šoninė (kairioji) dalis

3.5 Mikrostruktūros tyrimas (siūlių matomosios terminio poveikio zonos ir sulydymo zonos mikroskopinis tyrimas). Mikrokietumo matavaimas

Mikrostruktūros tyrimas – tai ėsdinto arba neėsdinto mikrošlifo tyrimas mikroskopu, paprastai padidinus nuo 50 iki 500 kartų. Mikroskopiniu tyrimu nustatomi karštieji, šaltieji ir plokščiasis plyšiai, tuštumos, intarpai, terminio poveikio sritis, ėjimai ir sluoksniai, grūdų ribos, kristalinė sandara, pirminė sandara, pluoštinės struktūros kryptis, likvacija, dalelių išsiskyrimas, taisymas ir neatitikimas, mechaninis ir terminis poveikiai.

Mikrostruktūrai tirti bandiniai specialiai paruošiami ir vadinami mikrošlifais. Pirmiausia išpjaunami bandiniai taip, kad tiriamoji vieta būtų plokštumos pavidalo, ši plokštuma nušlifuojama glotniai, po to poliruojama abrazyvines priemones paskleidžiant ant tinkamo poliruojamai medžiagai audeklo. Mikrostruktūros tyrimui skirtas bandinys (mikrošlifas) nuo makrostruktūros tyrimui skirto bandinio skiriasi paviršiaus glotnumu ir dažnai ėsdiklio sudėtimi. Tiriamasis paviršius šlifuojamas abrazyviniu popieriumi, kurių abrazyvų dydžių seka 320, 600, 900, 1500 ir poliruojamas poliravimo pasta arba emulsija su abrazyviniais milteliais. Ruošiant bandinį laikomasi visų saugos priemonių kaip ir ruošiant bandinius makroskopiniam tyrimui (makrošlifus). Visos bandinio mechaninio apdirbimo operacijos turi būti atliekamos taip, kad bandinys neįkaistų daugiau kaip 100 ^{o}C.

Bandiniai mikroskopiniam tyrimui turi būti paimti pagal 28 paveikslą. Bandiniai turi būti paruošti ir ėsdinti 3-5% Nitalio (HNO_3) tirpalu (LST EN ISO 14730-1:2008).



28 pav. Bandinių ėmimo schema

Paaiškinimas:

1 – matomosios terminio poveikio zonos plotis, kuris turi būti matuojamas siūlės išilginėje centrinėje linijoje ant važiuojamojo paviršiaus;

2 – matoma terminio poveikio zona;

3 – pagrindinis bėgio metalas;

4 – siūlės metalas;

5 – siūlės metalo plotas, kuris turi būti ištirtas mikroskopiškai;

6 – matomosios terminio poveikio zonos plotas, kuris turi būti ištirtas mikroskopiškai.

Pagal LST EN 14730-1 standartą, matomojoje terminio poveikio zonoje neturi būti jokio beinito ar martensito, tiriant padidinus 100 kartų, sulydymo zonos struktūra turi atitikti tiekėjo apibrėžtą struktūrą, kurioje neturi būti martensito ar beinito, tiriant padidinus 100 kartų. Specialiais atvejais geležinkelio administracija gali leisti ištisai beinitinę struktūrą. Struktūra turi būti užregistruota (LST EN ISO 14730-1:2008).

Mikrokietumo matavimas

Mikrokietumas – medžiagos struktūros komponentų (atskirų fazių kristalų), smulkių detalių, plonų medžiagų kietumas. Mikrokietumas matuojamas Vikerso metodu. Šis mikrokietumo matavimo būdas nuo įprastinių matavimo būdų skiriasi tuo, kad naudojama labai maža jėga (iki 10N) ir inventorius (deimantinė piramidė). Matuojant mikrokietuma šiuo būdu, į metalą įspaudžiama keturkampio pagrindo deimantinė piramidė, kurios viršūnės kampas 136°. Matuojamas paviršius turi būti tinkamai paruoštas, kad būtų atliktas kuo tikslesnis matavimas įvairiose suvirinto sujungimo vietose. Visi gauti duomenys matomi bei analizuojami skaitmeniniame displėjuje arba naudojant programinę įrangą.

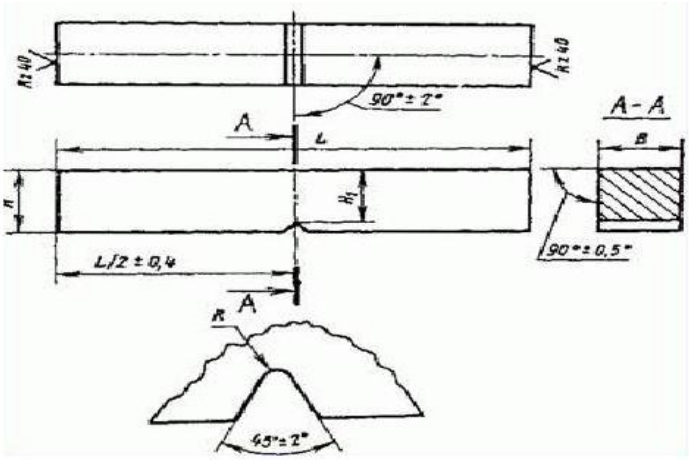
3.6 Smūginio tąsumo bandymas

Smūginis tąsumas – mechaninė metalų charakteristika, apibūdinama santykiniu darbu ploto vienetui, lenkiant smūgiu standartinį bandinį lūžio (įpjovos) vietoje. (a_k = W/A).

Čia W – atitinkamos skerspjūvio formos bandinio smūginio lenkimo darbas J;

A – bandinio skerspjūvio formos smūginio lenkimo darbas J.

Ši charakteristika yra sudėtinė, nes priklauso ne tik nuo bandinio medžiagos savybių (struktūros, plastiškumo, stiprumo), bet ir nuo išorinių darbo sąlygų ir netgi nuo smogiančiosios muštuvo dalies (smogės) formos. Todėl bandymas atliekamas laikantis standartų reikalavimų (LST EN ISO 9016:2011).

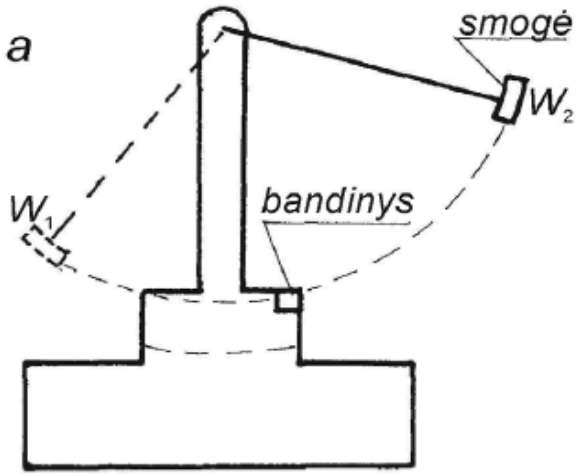


29 pav. Smūginio tąsumo bandinio forma

Smūginius bandymus galima atlikti įvairiai: tempaint, gniuždant, sukant ir t.t., tačiau praktikoje reikalingi duomenys gaunami tik smūginio lenkimo bandymo metu. Tuomet išryškėja medžiagos trapumas.

Darbas W (J), sunaudojamas bandiniui suardyti jį smūgiuojant, apibūdina tos medžiagos atsparumą smūginiam apkrovimui. Kuo medžiaga plastiškesnė, tuo didesnis darbo kiekis reikalingas bandiniui suardyti.

Smūginio lenkimo metu nustatoma savita medžiagų mechaninė savybė – smūginis tąsumas a_k.



30 pav. Smūginio tąsmo muštuvo schema

3.7 Cheminė analizė

Tiekėjas turi nurodyti kiekvieno elemento pagal 7 lentelę vidutines koncentracijos vertes. Faktinės vertės turi nesiskirti daugiau negu darbinis intervalas, ir šis intervalas turi neviršyti leidžiamo verčių intervalo.

Cheminė analizė turi būti atlikta bėgio siūlės važiuojamojo paviršiaus sulydymo zonoje bent 5 mm atstumu nuo siūlės skersinės ašies ir bent 5 mm atstumu nuo sulydymo zonos ribos. Analizės rezultatai turi neviršyti suvirinimo darbų atlikėjo nurodytų intervalų ribų (LST EN ISO 14730-1:2008).

7 lentelė. Cheminė sudėtis

Elementas	**Leidžiamas intervalas %**		**Darbinis intervalas**	**Bėgio markė EN 13674-1**
	Mažiausias	Didžiausias		
Anglis	0,30 0,35 0,40 0,50	0,55 0,70 0,75 0,85	± 0,12 ± 0,12 ± 0,12 ± 0,12	R200 R220 R260, R260Mn R320Cr, R350HT, R350LHT
Silicis	0,00	1,20	± 0,25	Visos
Manganas	0,40 0,45 0,50 0,50	1,00 1,20 1,40 1,60	± 0,20 ± 0,20 ± 0,20 ± 0,20	R200 R220 R260, R320 Cr, R350HT, R350LHT R260Mn
Fosforas	0,00	0,035	-	Visos
Siera	0,00	0,035	-	Visos
Chromas	0,00 0,00	0,20 0,80	– ± 0,20	R200, R220, R260, R260Mn R320Cr, R350HT, R350LHT
Molibdenas	0,00	0,10	–	Visos
Nikelis	0,00	0,10	–	Visos
Aliuminis	0,02	0,60	± 0,20	Visos
Varis	0,00	0,20	–	Visos
Alavas	0,00	0,02	–	Visos
Stibis	0,00	0,02	–	Visos
Titanas	0,00	0,05	–	Visos
Niobis	0,00	0,01	–	Visos
Vanadis	0,00 0,00 0,00	0,25 0,45 0,65	– – –	R200, R220, R260, R260Mn R320Cr R350HT, R350LHT

4. TYRIMŲ REZULTATAI

4.1 Vizualinės suvirintos jungties apžiūros rezultatai. Fraktografiniai tyrimai

Po viršutinio sluoksnio nuvalymo ir galutinio šlifavimo suvirintos siūlės rumbelės paviršiaus vientisumas buvo patikrintas ją apžiūrint: nebuvo jokių įtrūkių, kurių ilgis 2 mm ar didesnis. Sandūros tarp siūlės rumbelės ir bėgio bei tarp išlajos ir bėgio nelaikomi įtrūkiais; bandinyje, neskaitant išlajos, nebuvo jokių didesnių kaip 3 mm porų, ir nebuvo daugiau, kaip trijų porų, kurių dydis nuo 2 mm iki 3 mm; šlako ar smėlio intarpai neviršijo 8 lentelėje pateiktų ribų. Joks defektas nebuvo patekęs į bėgio skerspjūvį ar siekė siūlės rumbelės ir bėgio susikirtimo briauną.

8 lentelė. Didžiausi šlako ir smėlio defektų matmenys

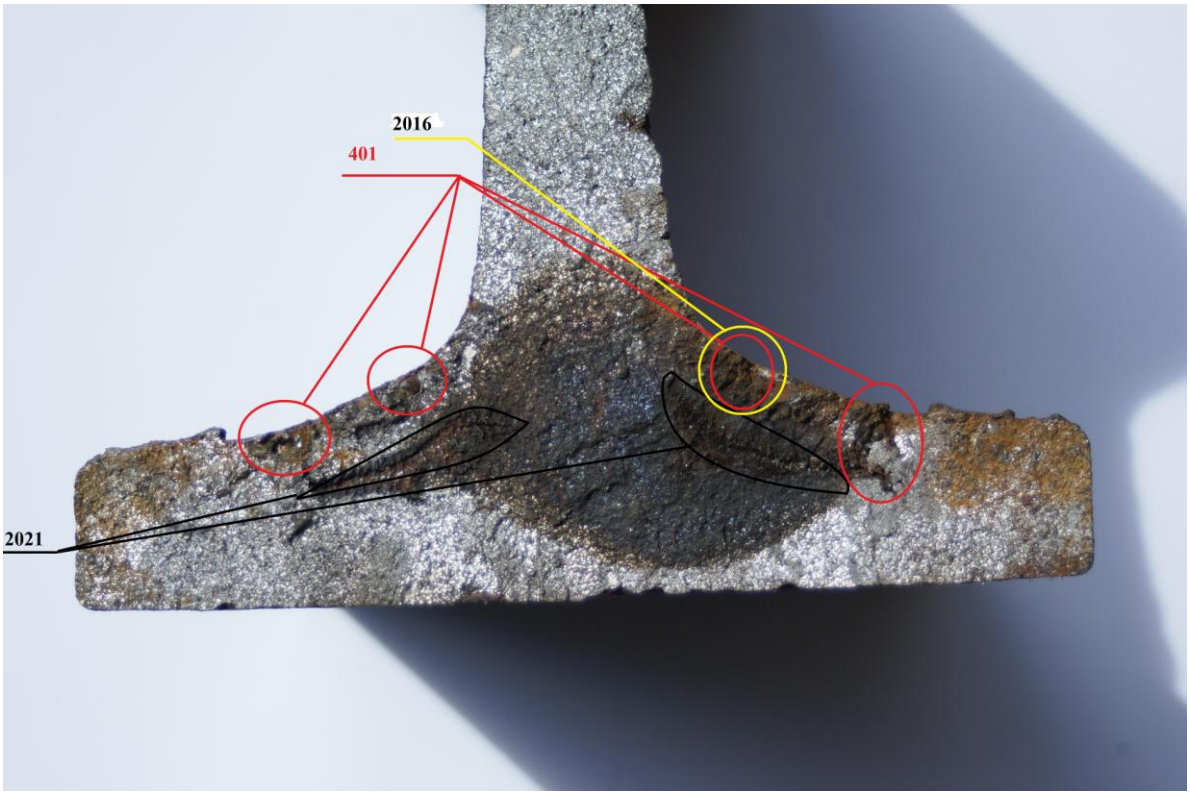
Paviršiaus matmuo (maks.)	Storis (maks.)
10 mm	3 mm
15 mm	2 mm
20 mm	1 mm

Apžiūrėjus R65 markės begio jungtį, suvirintą kontaktiniu sandūriniu būdu, nustatėme, kad bėgio galvutė ir nušlifuotas siūlės paviršius abiejose bėgio galvutės pusėse atitiko šiuos reikalavimus: nebuvo jokių įtrūkių. Sandūros tarp siūlės rumbelės ir bėgio bei tarp išlajos ir bėgio nelaikomos įtrūkiais; nebuvo jokių defektų (porų, šlako ir smėlio intarpų, metalo purslų), kurių matmenys didesni kaip 1 mm; daugiausiai ne didesnio kaip 2 mm matmens defektas, ne daugiau kaip 10 % bandomųjų siūlių arba vienoje siūlėje, jeigu iš viso yra mažiau kaip 10 siūlių.

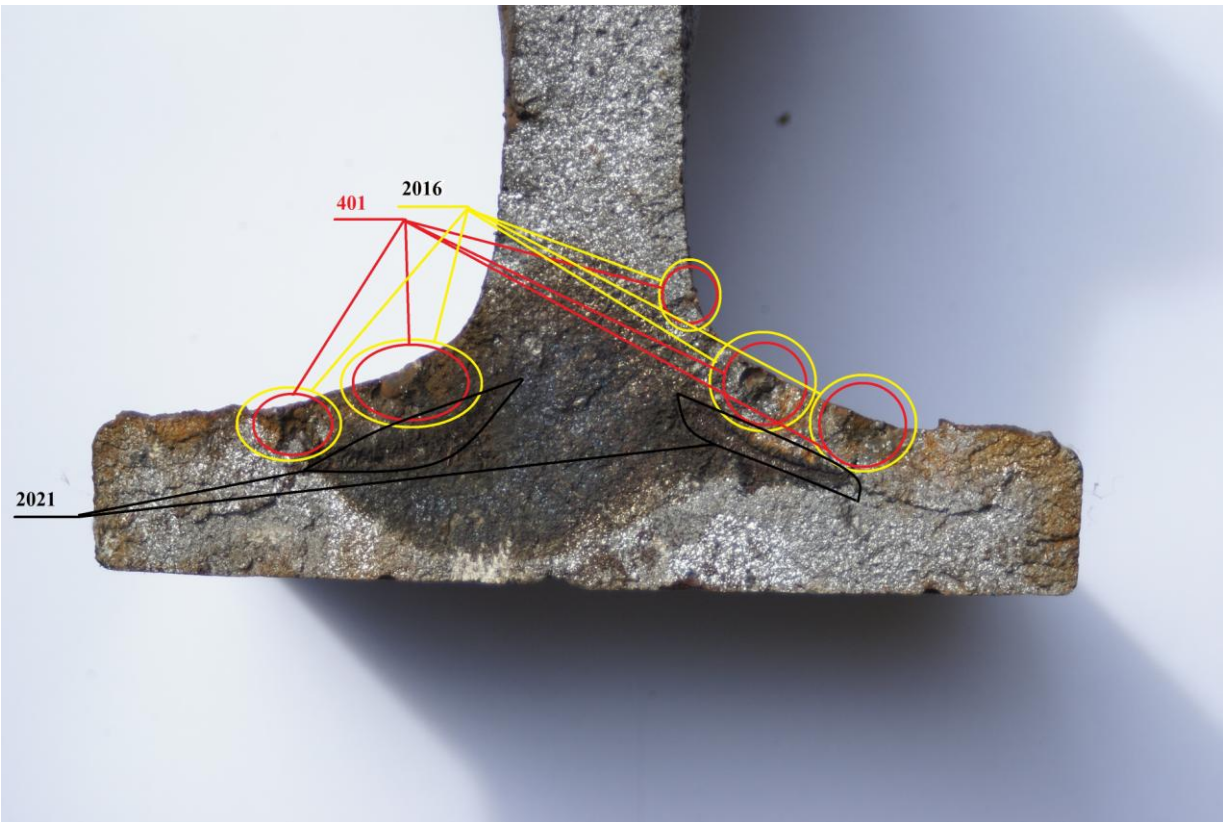
Apžiūrėjus UIC 60 markės begį, kuris suvirintas termitiniu būdu ir lūžęs per siūlę buvo rasta defektų.

Defektai buvo klasifikuojami pagal LST EN ISO 6520-1 „Suvirinimas ir panašūs procesai. Metalų suvirinimo defektų klasifikavimas. 1 dalis. Lydomasis suvirinimas“.

Atlikus vizualinius, fraktografinius suvirintojo sujungimo tyrimus, sujungimo lūžyje (31 pav. a pusė, 32 pav. b pusė) buvo aptikti šie defektai: 2016 – kirmeliškoji (vermikulirinė) pora, 401 – nesulydymas (nevisiškas sulydymas), 2021 – subėgimo tuštuma (tarpdendritinis subėgimas).

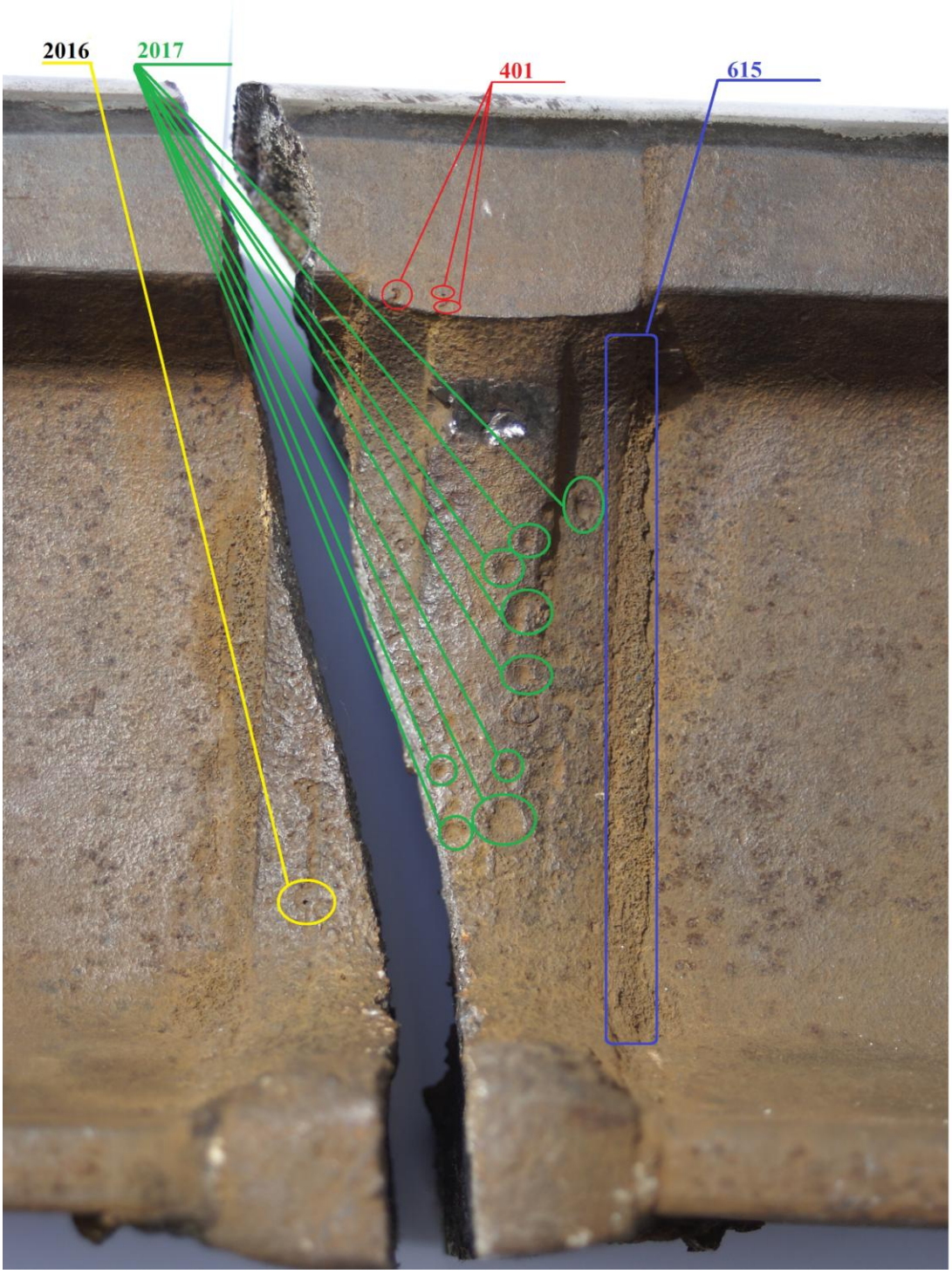


31 pav. Suvirintojo sujungimo lūžio paviršius – a pusė

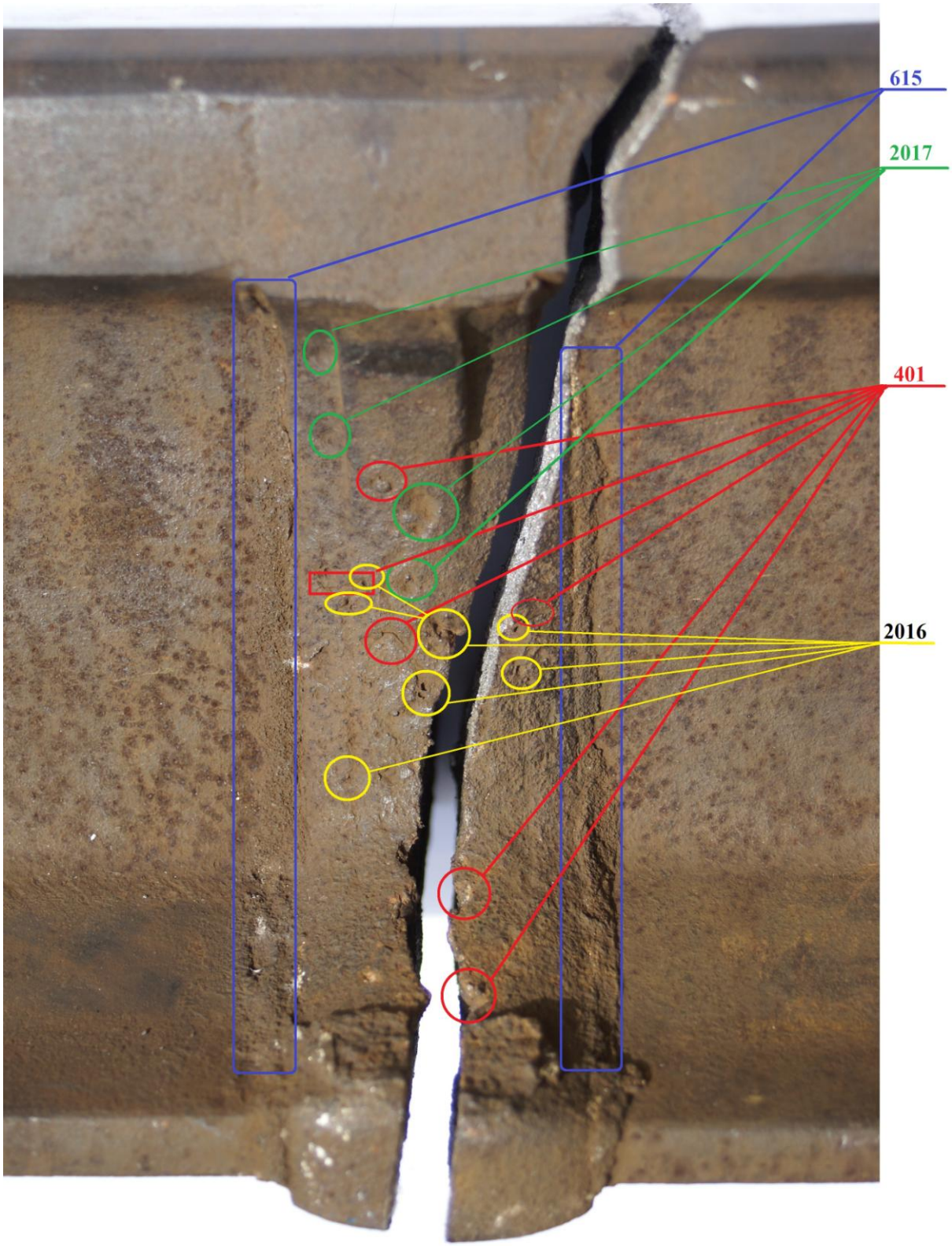


32 pav. Suvirintojo sujungimo lūžio paviršius – b pusė

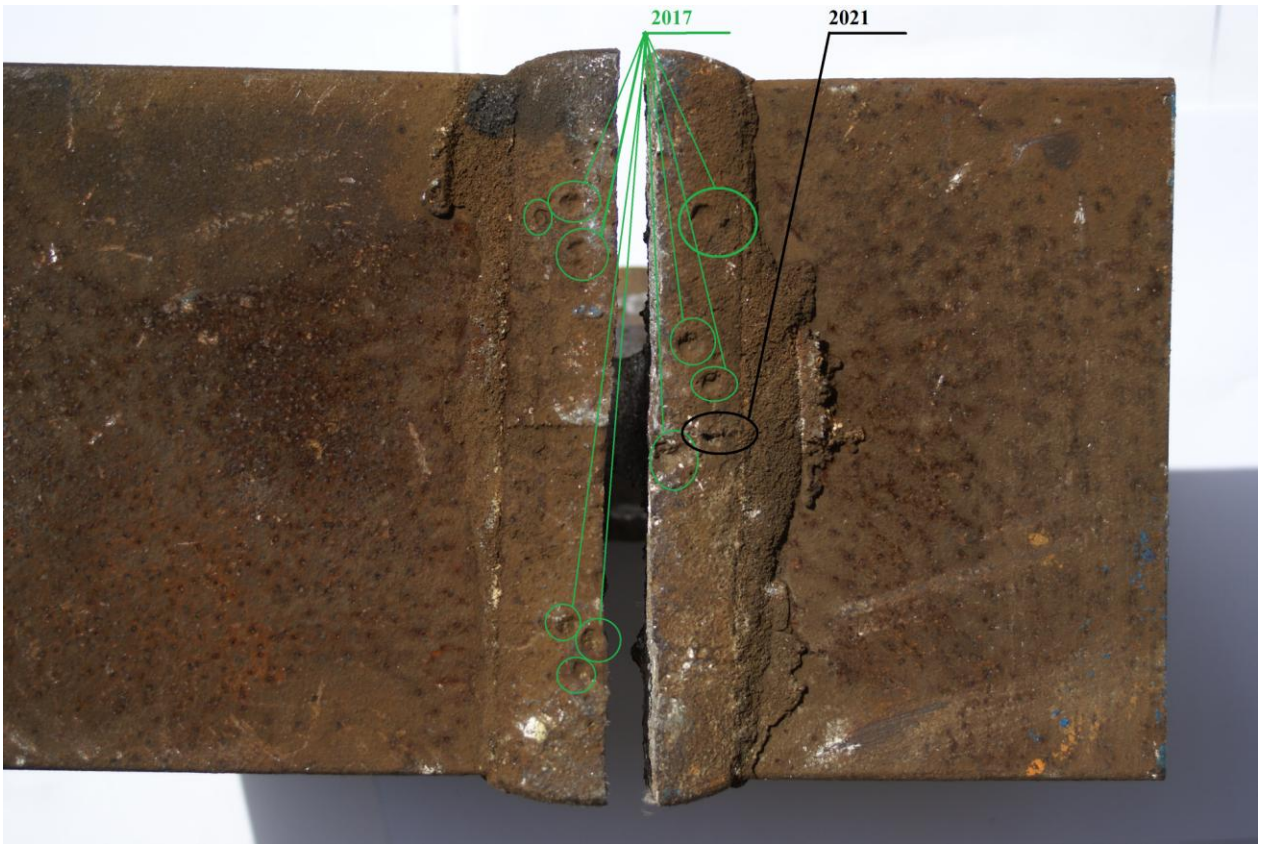
Bėgio suvirintojo sujungimo šoninio ir apatinio paviršiaus (33 pav. a pusė, 34 pav. b pusė, 35 pav.) tyrimu metu buvo aptikti šie defektai: 2016 – kirmeliškoji (vermikulirinė) pora, 2017 – paviršinė pora, 401 – nesulydymas (nevisiškas sulydymas), 615 – šlako liekanos, 2021 – subėgimo tuštuma (tarpdendritinis subėgimas).



33 pav. Suvirintojo sujungimo šoninis paviršius – a pusė



34 pav. Suvirintojo sujungimo šoninis paviršius – b pusė



35 pav. Suvirintojo sujungimo apatinis paviršius

Aptiktų defektų atsiradimo analizė ir priežastys

Defektas:

- **615** – šlako liekanos rodo, kad metalo kristalizacijos metu susidarė palankios sąlygos intarpų atsiradimui;
- **2016** – kirmeliškoji (vermikulirinę) pora. Šis defektas yra pailgos formos suvirintame sujungime. Šio defekto forma ir padėtis priklauso nuo metalo sukietėjimo režimo ir dujų iš metalo išsiskirstymo. Tokie defektai kaip šis parodo, kad suvirintojo sujungimo kristalizacijos metu iš besiformuojančio sujungimo gilumos sklido dujos, dėl to susiformavo šis defektas;
- **401** – nesulydymas (nevisiškas sulydymas). Šis defektas atsiranda dėl metalo ryšio nebuvimo. Pastarasis defektas parodo, kad suvirintojo sujungimo kristalizacijos eiga vyksta neteisingai;
- **2021** – subėgimo tuštuma (tarpdendritinis subėgimas). Tai tuštuma, atsiradusi dėl stingstančio metalo susitraukimo. Auštant metalui tarp dendritų atsirado pailga subėgimo tuštuma. Pastarasis defektas parodo, kad suvirintojo sujungimo kristalizacijos metu susidarė sąlygos korėtumui susidaryti.

Aptiktų defektų atsiradimo priežastys:

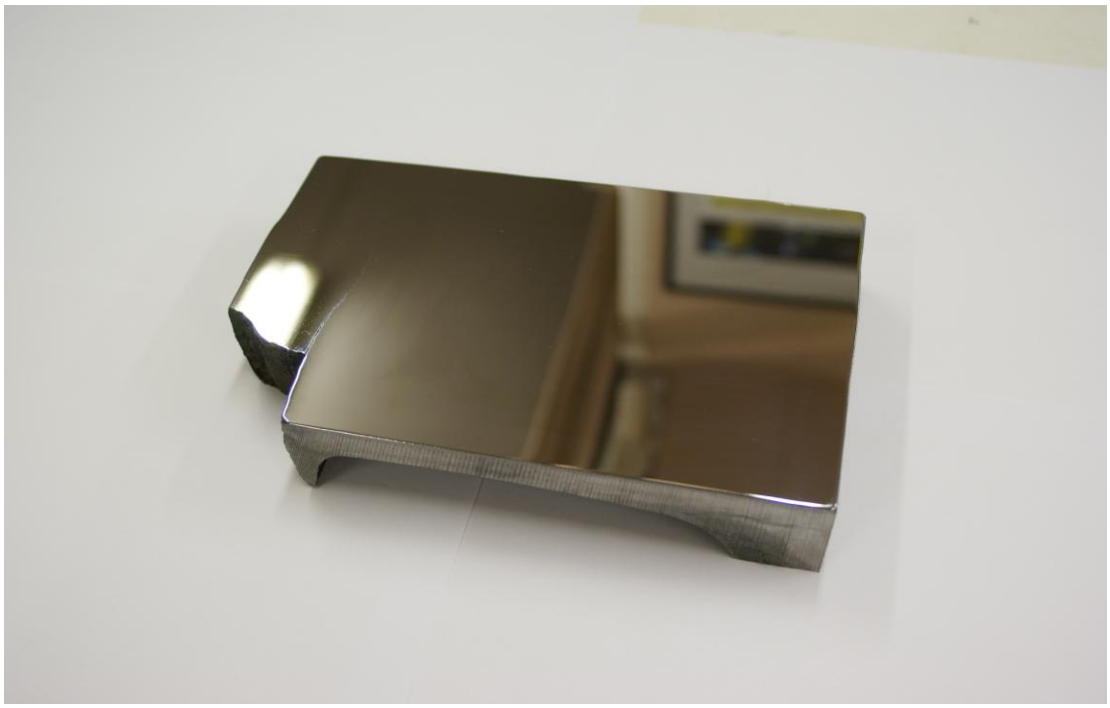
- nekokybiškas suvirinimo bėgių galų paruošimas;
- nepakankamas bėgių suvirinimo pakaitinimas;
- drėgnas termito mišinys;
- nekokybiškas (drėgnas) glaistymo mišinys;
- suvirinimo režimų ir technologijos nesilaikymas.

Nors termitinis suvirinimas yra taikomas daugiau nei šimtą metų, tačiau trūkumų suvirintose jungtyse vis dar pasitaiko dažniausiai dėl netinkamai parinktos suvirinimo technologijos. Labai dažnai termitinis suvirinimas būna nekokybiškas dėl savo makrostruktūros ir mikrostruktūros, kuria pakeičia išsiskyrusi siera, bei dėl cheminės jungties sudėties, kuri skiriasi nuo bėgių cheminės sudėties tuo, kad anglies kiekis dažniausiai būna mažesnis, o Si ir Mn didesnis. Suvirinimo briaunos gali būti kietesnės ar minkštesnės už pačius bėgius ir tame plote didėja tikimybė atsirasti nelygumams, dėl kurių susidaro įtempiai.

4.2 Sulydymo zonos nustatymas. Forma ir matmenys. Ėsdinimo procedūra

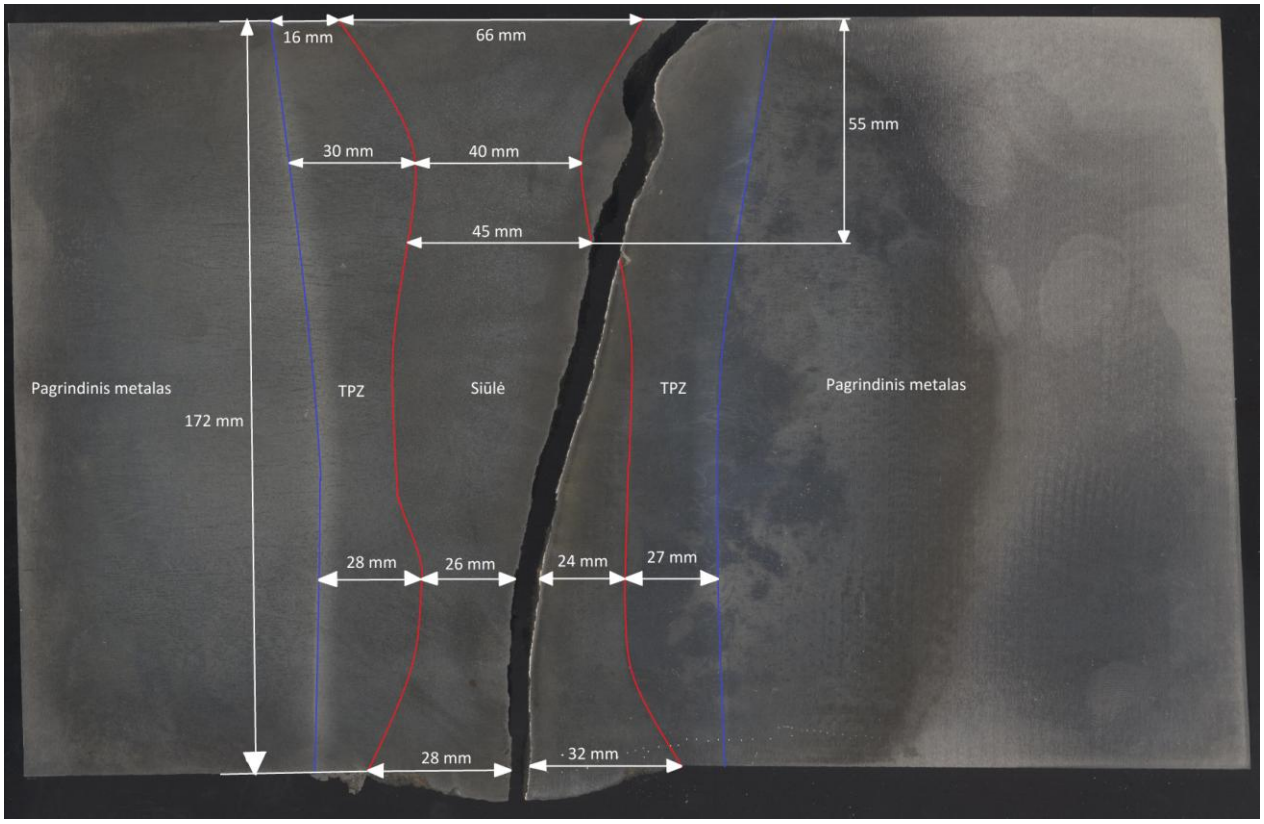
Norint gauti sulydymo zonos matmenis visų pirmiausia reikia perpjauti bėgį išilgai (36 pav.), tada jį nušlifuoti ir nupoliruoti (37 pav.) ir išėsdinti 5 % nitalio tirpale.

36 pav. Bėgio pjaustymas išilgai juostiniu pjūklu

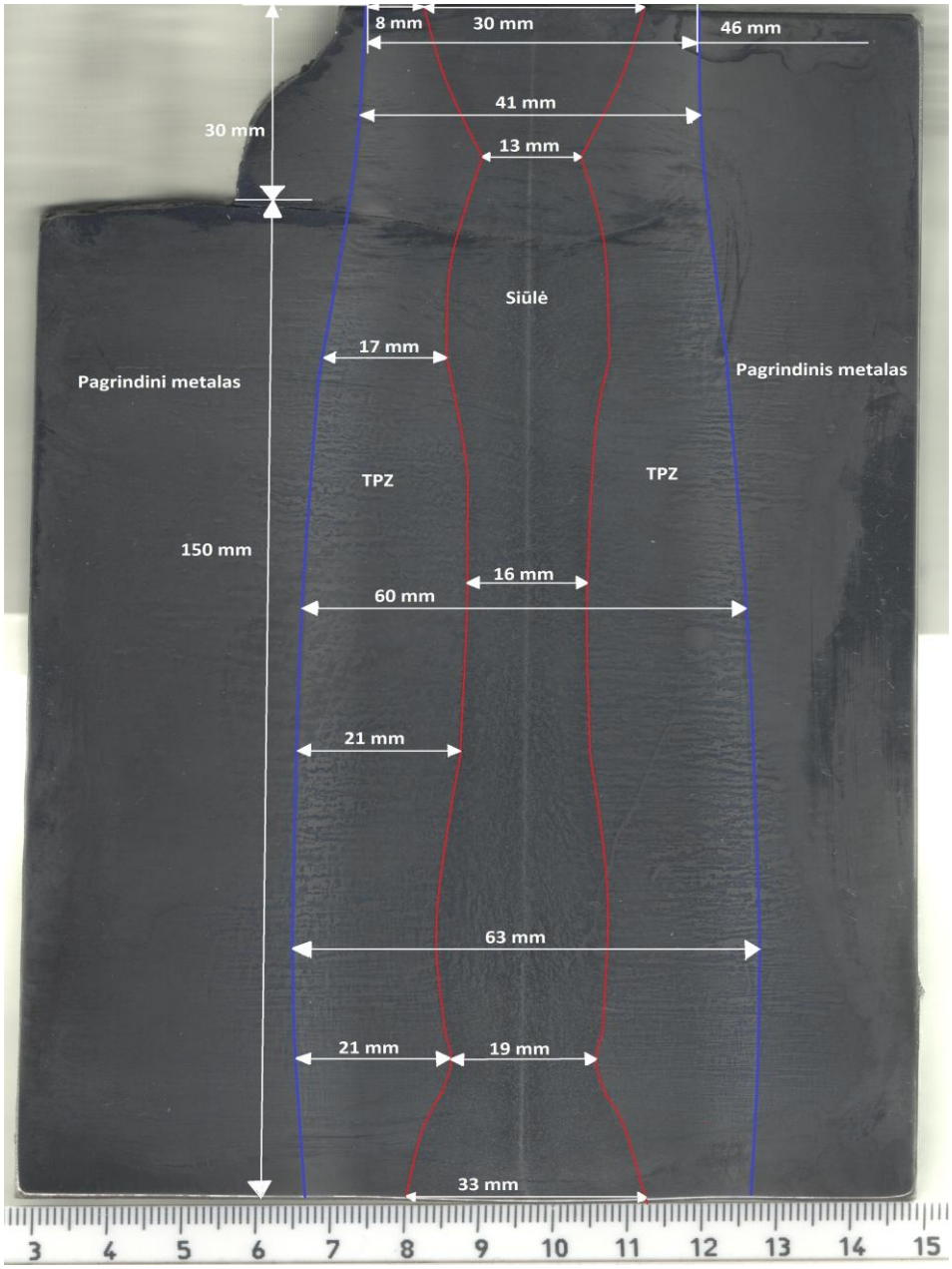


37 pav. Nupoliruotas bėgis – makrošlifas, paruoštas ėsdinimui

Išėsdintųjų bėgių perpjautose pusėse buvo nustatytos sulydymo ir terminio poveikio zonos. Rezultatai pateikti (38 pav. ir 39 pav.).



38 pav. Sulydymo zonos geometrija (TPZ – terminio poveikio zona). UIC 60 bėgio markės makrošlifas

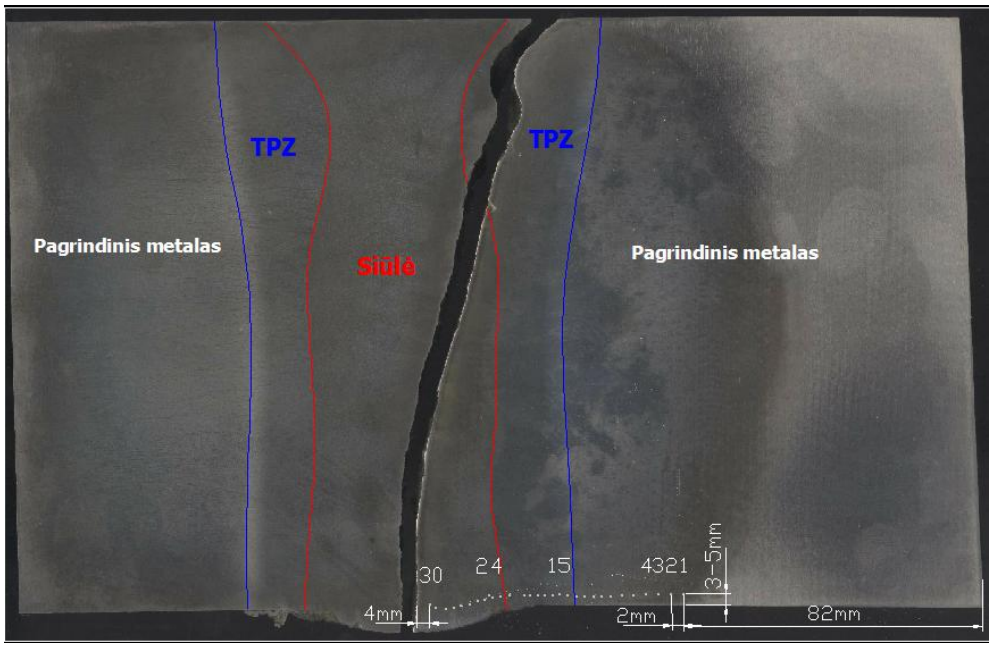


39 pav. Sulydymo zonos geometrija (TPZ – terminio poveikio zona). R65 bėgio markės makrošlifas

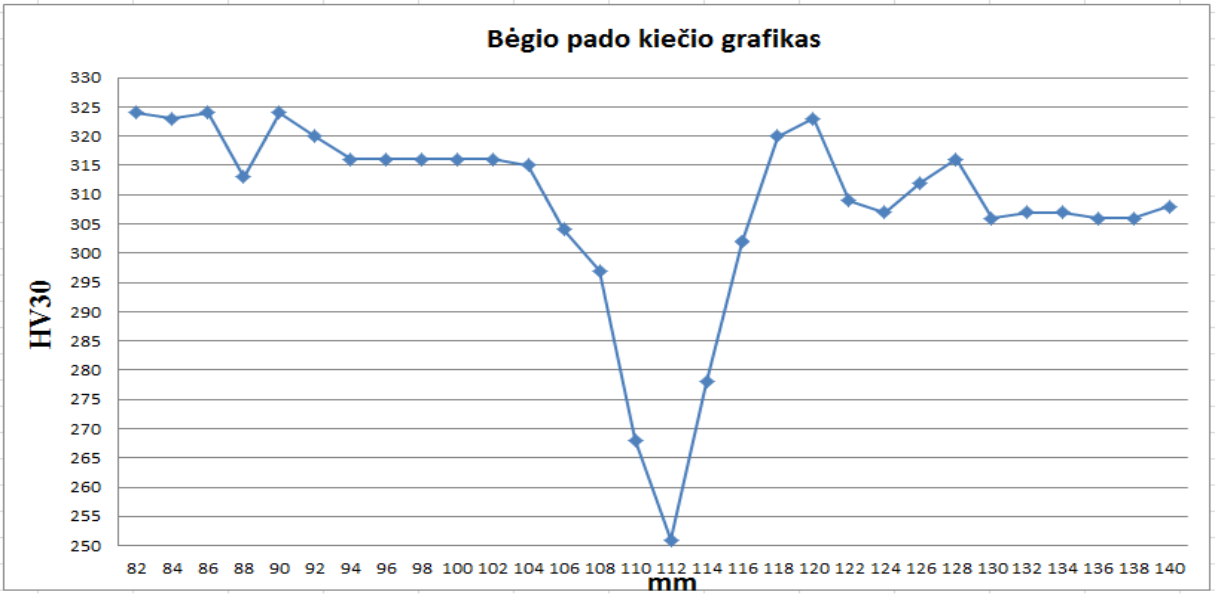
Iš sulydymo zonų matyti, jog kontaktiniu sandūriniu būdu suvirintos jungties terminė poveikio zona bėgio galvutėje yra siauresnė už termitiniu būdu suvirintos jungties zoną, o pati siūlė kontaktinės jungites yra žymiai siauresnė, nei termitinės jungties. Esant kuo platesnei terminio poveikio zonai, iškyla didesnė tikimybė atsirasti defektams eksploatacijos metu, begio ir rato kontakto vietoje.

4.3 Termiškai suminkštintos zonos kiečio matavimas

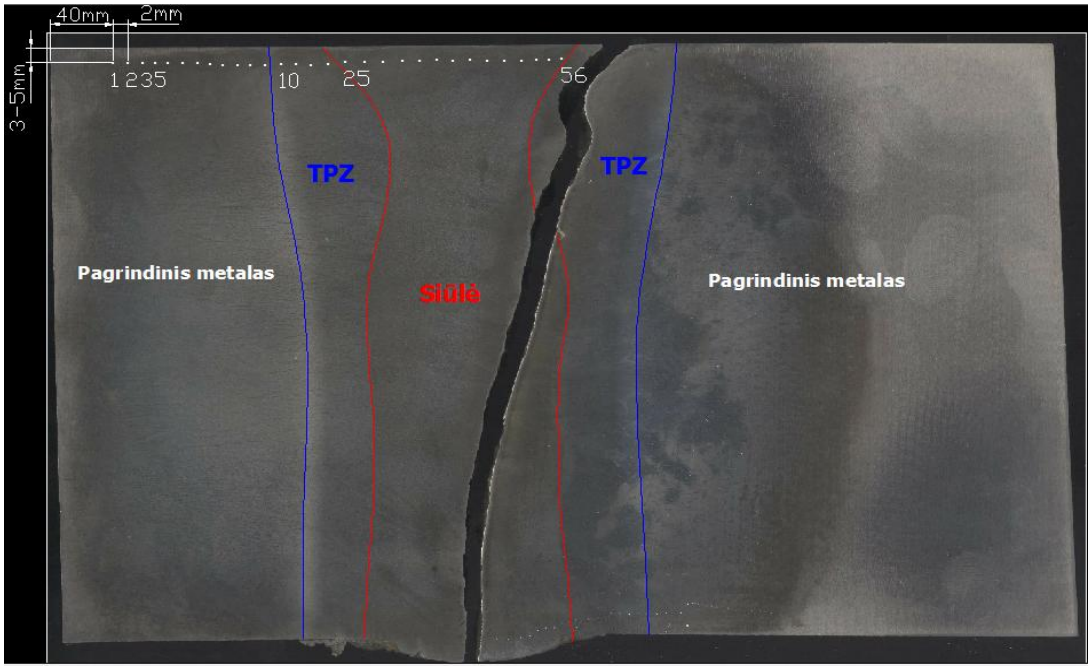
Turi būti išmatuotas kiečio pasiskirstymas termiškai suminkštintoje zonoje, naudojant Vikerso kiečio bandymą pagal EN ISO 6507-1 standartą. Įspaudai turi būti linijoje, esančioje nuo 3 mm iki 5 mm žemiau bėgio važiuojamojo paviršiaus išilginėje bėgio ašyje. Matavimai turi būti atliekami kas 2 mm žingsniu. Matavimo metodika (40 pav. – bėgio pade, 41 pav. – bėgio galvutėje), o rezultatai grafiškai pateikti (42 pav., 43 pav.)



40 pav. UIC 60 bėgio pado kiečio matavimo metodika. 1,2,3,4.....15..24..30 – kiečio matavimo taškai. Pagrindinis metalas, TPZ – terminio poveikio zona, siūlė.



42 pav. Bėgio pado kiečio grafikas



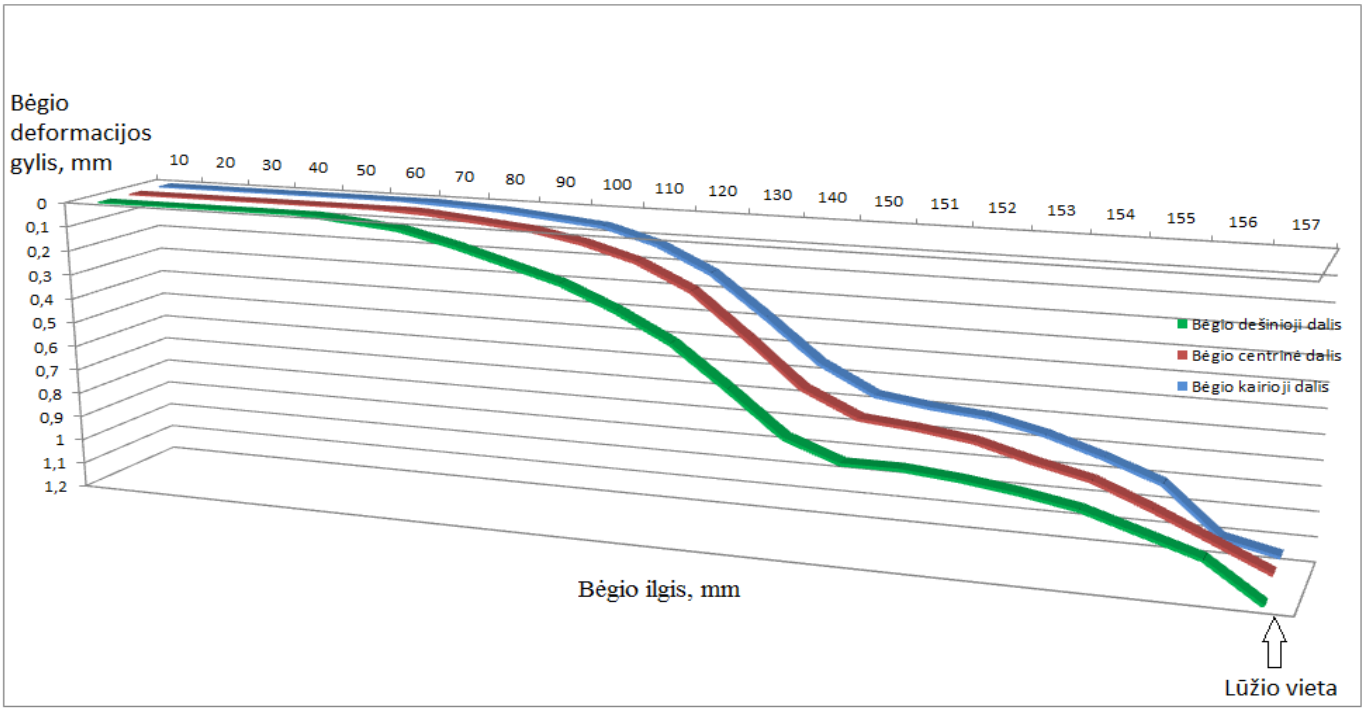
41 pav. UIC 60 bėgio galvutės kiečio matavimo metodika. 1,2,3,5...10..25...56 – kiečio matavimo taškai. Pagrindinis metalas, TPZ – terminio poveikio zona, siūlė.

43 pav. Bėgio galvutės kiečio grafikas

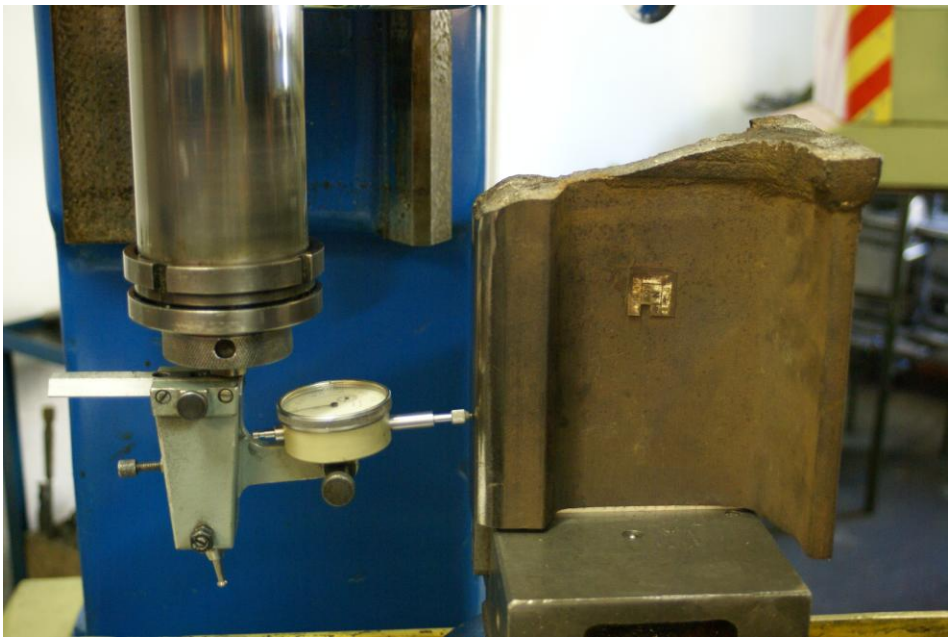
Išmatavus termiškai suminkštintų zonų kietį, termitiniu būdu suvirintoje jungtyje, Vikerso metodu. Iš gautų kiečio rezultatų galima teigti, kad mažiausias kietumas tiek pade, tiek galvutėje buvo terminio poveikio zonoje, atitinkamai 250 HV ir 255 HV.

4.4 Lūžusio bėgio važiuojamojo paviršiaus deformacijos matavimai

Termitiniu būdu suvirinto UIC 60 markės bėgio važiuojamajame paviršiuje ties lūžio vieta aptiktas deformuotas paviršius. Todėl nutarta išmatuoti deformuoto paviršiaus dydžio kintamumą, išilgai viso bėgio važiuojamajame paviršiuje. Gauti rezultatai pateikti grafiškai 44 paveiksle.



44 pav. Bėgio važiuojamosios dalies deformacijos kintamumo grafikas

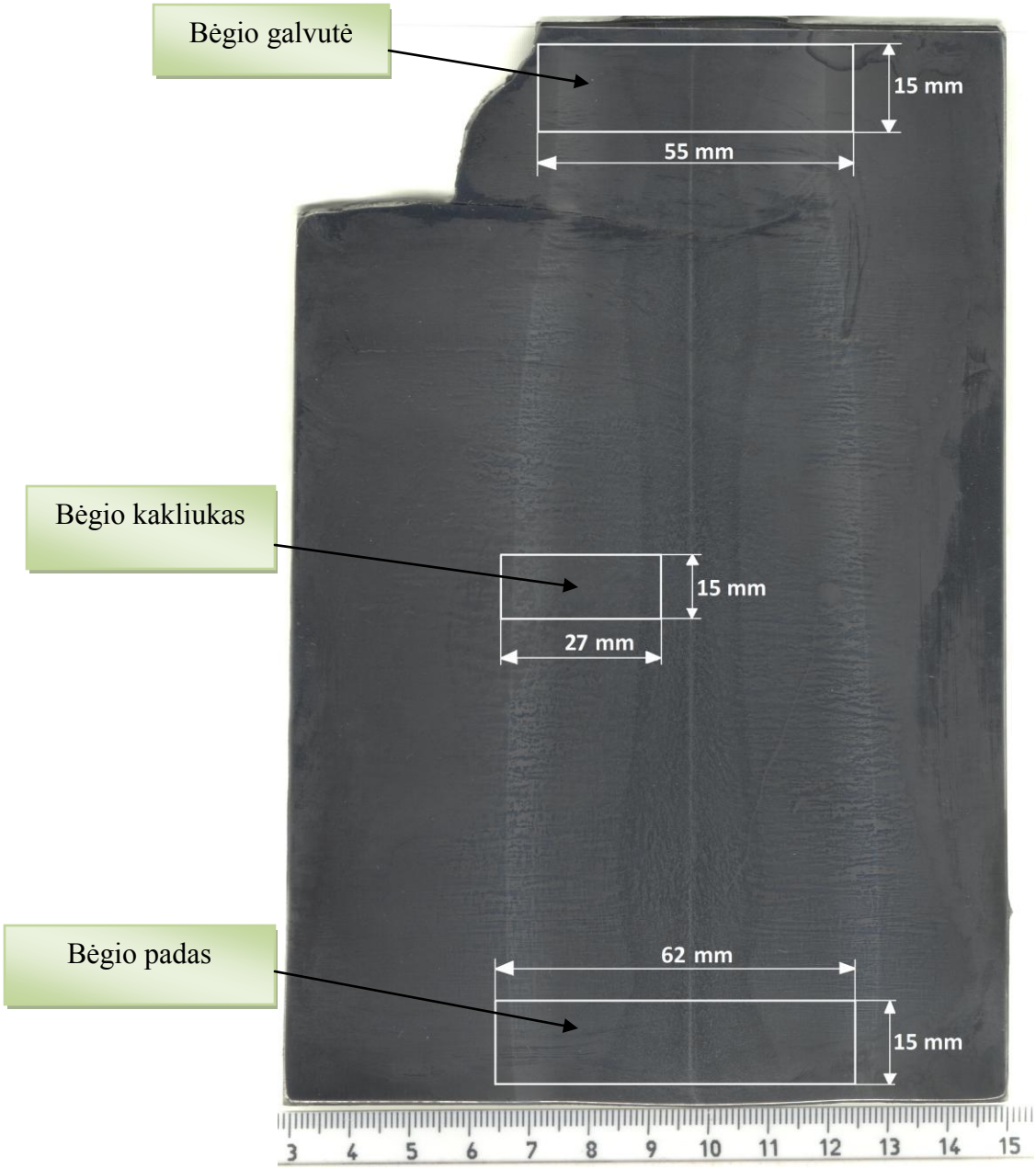


45 pav. Lūžusio UIC 60 markės bėgio važiuojamojo paviršiaus deformacijos matavimai

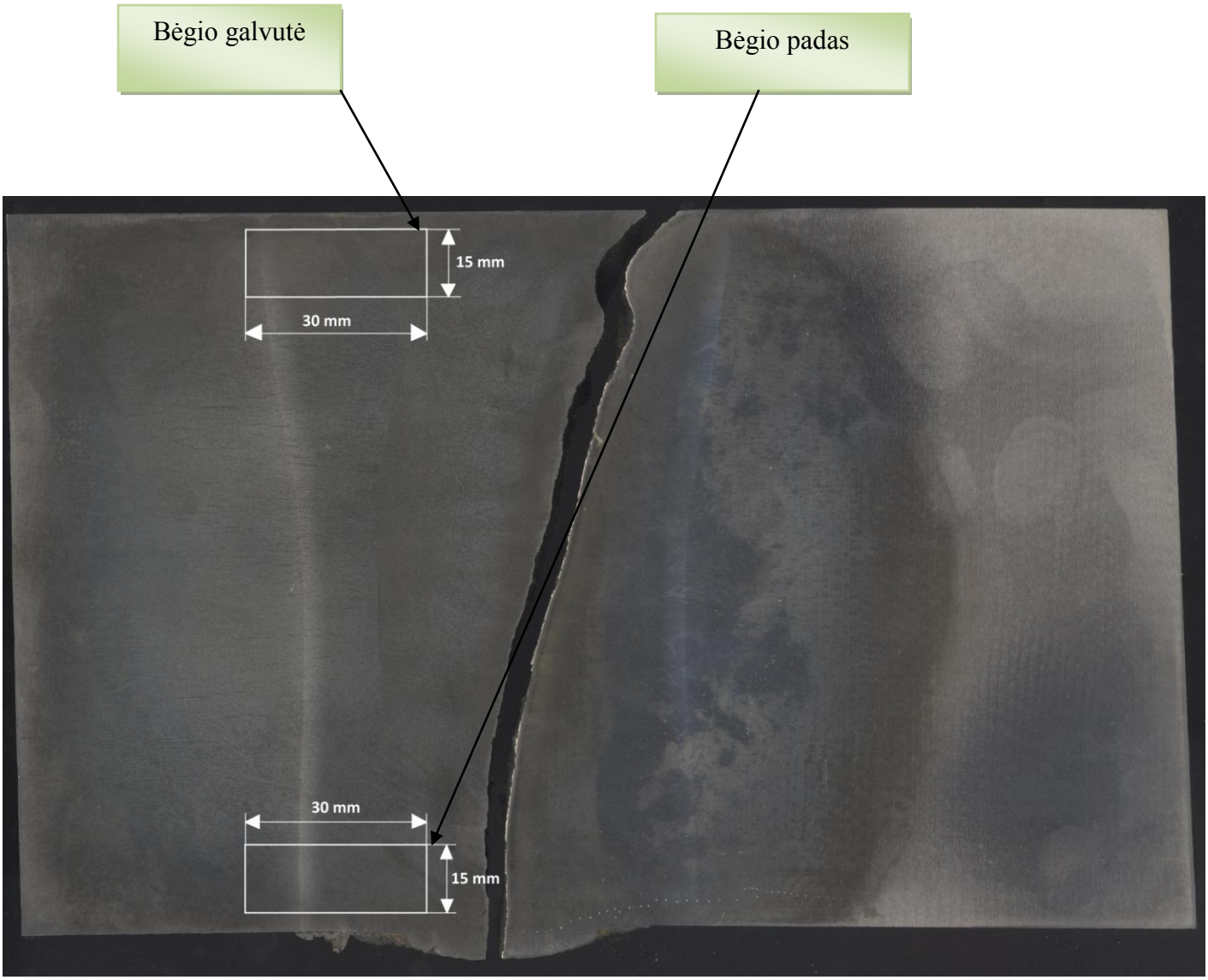
Išmatavus deformacijos gylį bėgio paviršiuje, gauta, jog išdilimo reikšmės didėja link lūžio paviršiaus. Tai rodo, kad bėgis buvo eksploatuojamas po lūžio.

4.5 Mikrostruktūros tyrimas (siūlių matomosios terminio poveikio zonos ir sulydymo zonos mikroskopinis tyrimas). Mikrokietumo matavimo rezultatai

Mikroskopiniam tyrimui buvo išpjauti bandinukai iš bėgių (46 pav. – R65, 47 pav. – UIC 60).



46 pav. R65 markės bėgio bandinukų išpjovimo vietos



47 pav. UIC 60 markės bėgio bandinukų išpjovimo vietos

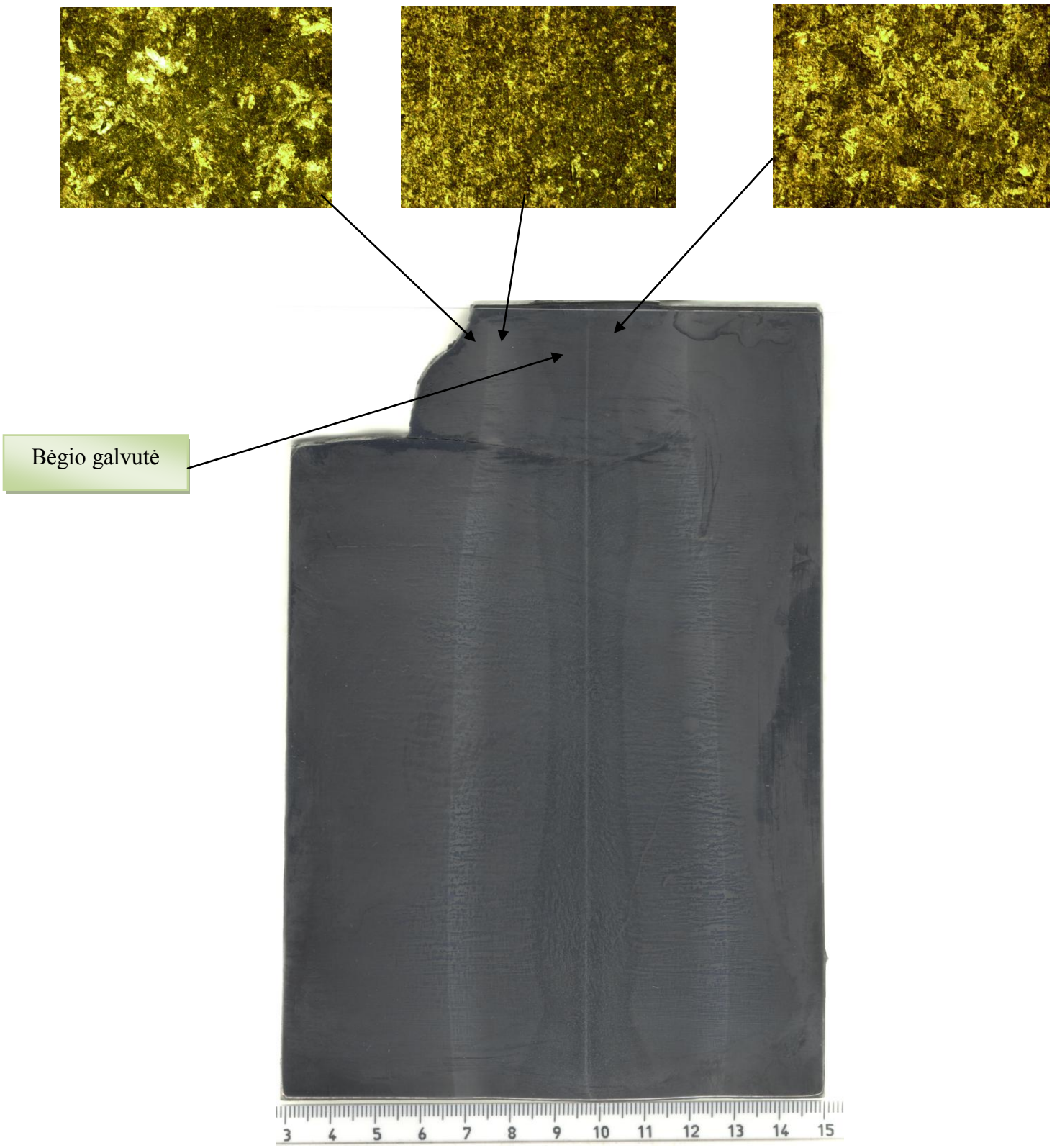
Tyrimas yra atliktas siekiant nustatyti bėgių struktūros pakitimus. Pagal LST EN 13674-1 standartą, tiriamo plieno matomojoje terminio poveikio zonoje neturi būti jokio beinito ar martensito.

Mikrostruktūros tyrimas atliktas mikroskopu, esant 100 kartų didinimui. 48-50 pav. parodyta R65 markės bėgio, suvirinto kontaktiniu sandūriniu būdu, galvutės, kakliuko ir pado mikrostruktūros, o 51–52 pav. parodyta UIC 60 markės bėgio, suvirinto termitiniu būdu, galvutės ir pado mikrostruktūros.

pagrindinis metalas – mikrokietumas 39 HRC (trostitas)

terminio poveikio zona – mikrokietumas 32 HRC (sorbitas)

siūlė – mikrokietumas 39 HRC (trostitas)



48 pav. R65 markės bėgio, suvirinto kontaktiniu sandūriniu būdu, galvutės mikrostruktūra, padidinta 100 kartų

pagrindinis metalas – mikrokietumas 33 HRC (sorbitas)

terminio poveikio zona – mikrokietumas 34 HRC (sorbitas)

siūlė – mikrokietumas 34 HRC (sorbitas)

49 pav. R65 markės bėgio, suvirinto kontaktiniu sandūriniu būdu, kakliuko mikrostruktūra, padidinta 100 kartų

pagrindinis metalas – mikrokietumas 32 HRC (sorbitas)

terminio poveikio zona – mikrokietumas 34 HRC (sorbitas)

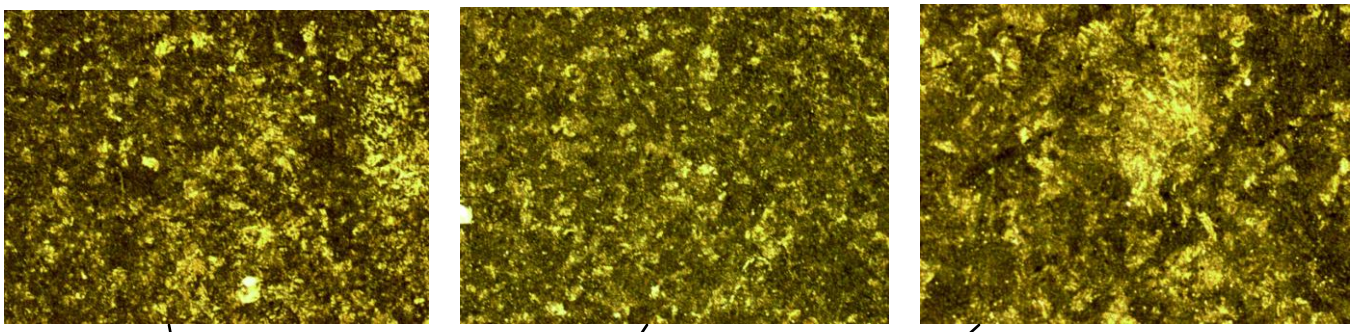
siūlė – mikrokietumas 32 HRC (sorbitas)

50 pav. R65 markės bėgio, suvirinto kontaktiniu sandūriniu būdu, pado mikrostruktūra, padidinta 100 kartų

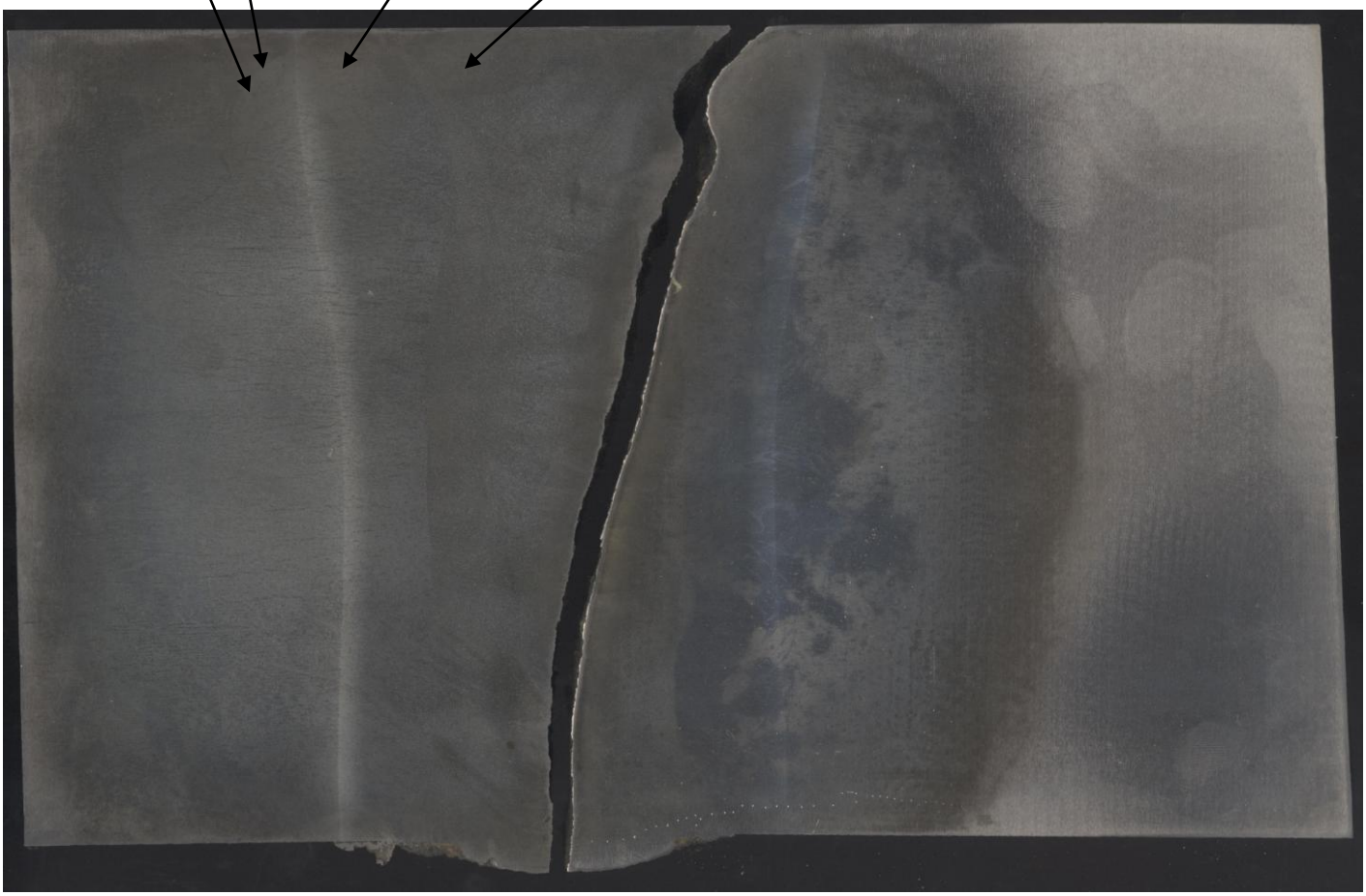
pagrindinis metalas – mikrokietumas 35 HRC (sorbitas)

terminio poveikio zona – mikrokietumas 29 HRC (sorbitas)

siūlė – mikrokietumas 38 HRC (trostitas)



Bėgio galvutė

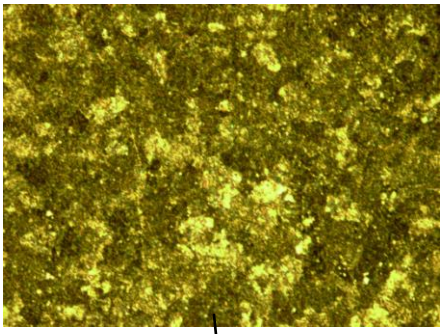


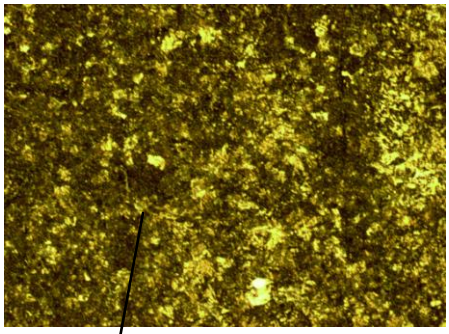
51 pav. UIC 60 markės bėgio, suvirinto termitiniu būdu, galvutės mikrostruktūra, padidinta 100 kartų

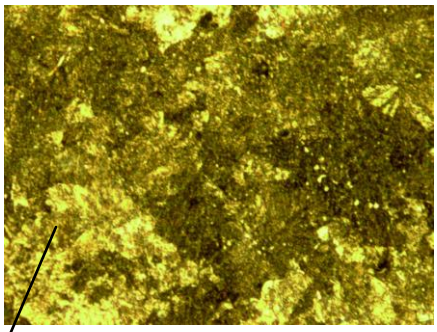
pagrindinis metalas –
mikrokietumas 33 HRC (sorbitas)

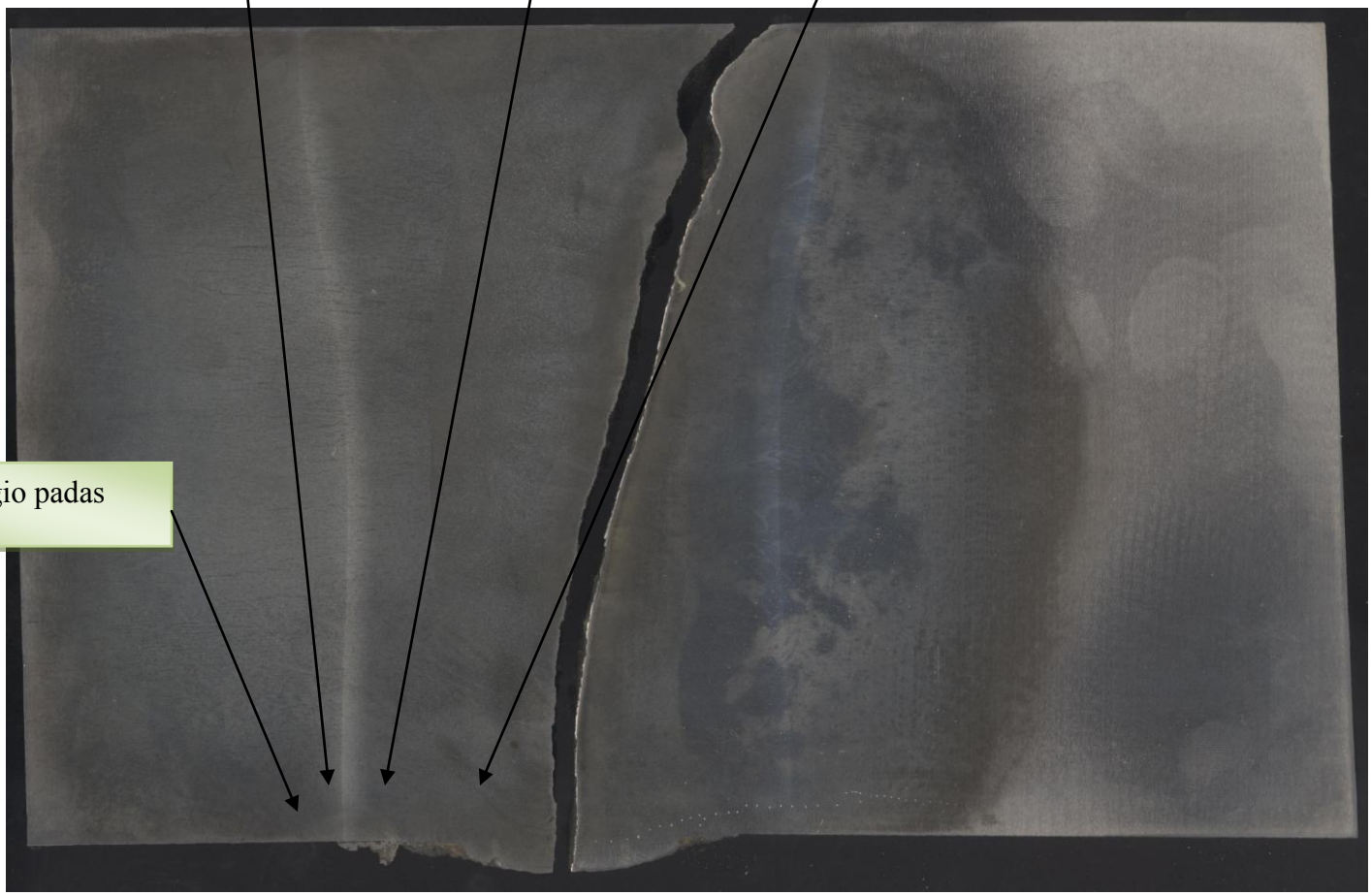
terminio poveikio zona –
mikrokietumas 28 HRC (sorbitas)

siūlė – mikrokietumas
38 HRC (trostitas)





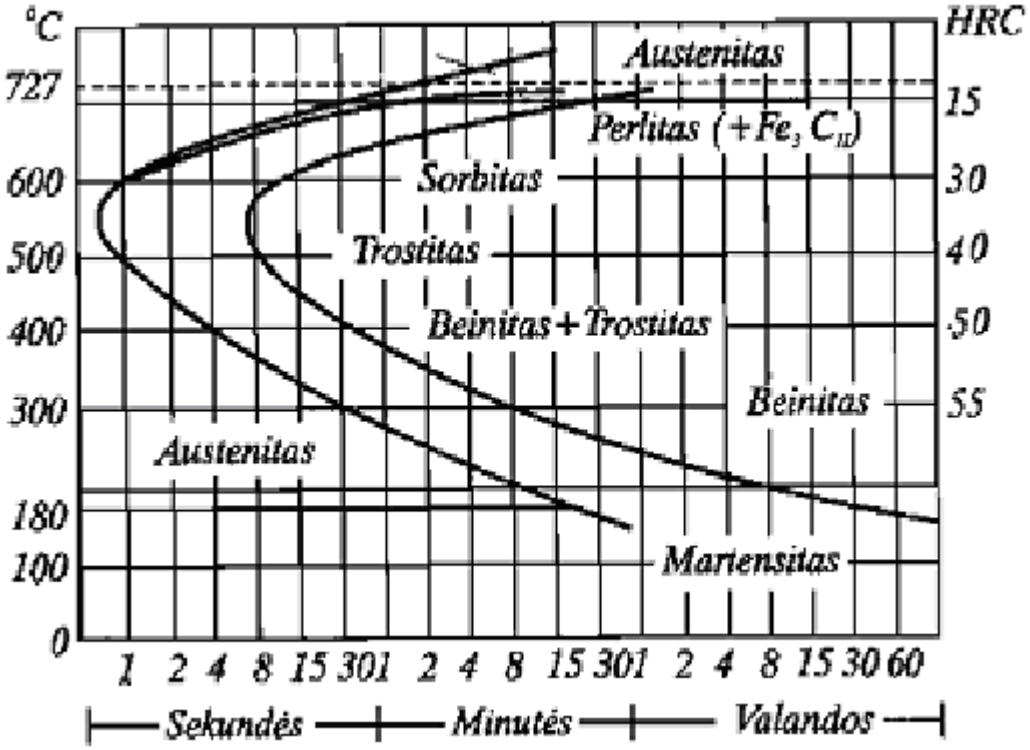




52 pav. UIC 60 markės bėgio, suvirinto termitiniu būdu, galvutės mikrostruktūra, padidinta 100 kartų

Atlikus mikrostruktūros tyrimą nustatyta, kad tiek kontaktiniu, tiek termitiniu būdu suvirintų sujungimų struktūras sudaro perlito atmainos t.y sorbitas – trostitas.

Skirtingos sudėties plienų peraušintas austenitas pradeda ir baigia skilti esant skirtingoms temperatūroms. Šio skilimo eigą, esant įvairiai temperatūrai, rodo peraušintojo austenito izoterminio skilimo diagrama. Anglinio poeutektoidienio plieno peraušintojo austenito izoterminio skilimo diagrama pavaizduota 53 pav.



53 pav. Anglinio eutektoidinio plieno peraušintojo austenito izoterminio skilimo diagrama ir austenito skilimo produktų temperatūrinės sritys bei kietumas

Izotermiškai laikant nestipriai peraušintą austenitą žemesnėje temperatūroje, dėl didesnio peraušinimo ir lėtesnės difuzijos susidaro smulkesnis bei kietesnis ir stipresnės struktūros plienas. Todėl 660 ºC temperatūroje ferito ir cementito plokštelių poros storis siekia tik 0,25 mikrometro, o kietumas padidėja iki 30 HRC. Tokia struktūra tradiciškai vadinama sorbitu, nors tiksliau ji vadintina smulkiu perlitu. Dar žemesnėje laikymo temperatūroje – 550 ºC ferito ir cementito plokštelės optiniu mikroskopu jau neįžiūrimos. Jų poros storis yra apie 0,1 mikrometro. Tokia struktūra vadinama trostitu, jos kietumas – apie 40 HRC. Griežtų ribų tarp šių įvairaus smulkumo perlitinės grupės struktūrų nėra, todėl paprastai nurodomas jų kietumas. Trostitas susidaro didžiausio austenito nestabilumo srityje (Kulikauskas. 2000).

4.5.1 Mikrokietumo matavimo rezultatai

Mikrokietumo matavimui Vikersui buvo išpjauti bandinukai iš abiejų jungčių. Matavimui naudotas ZWICK/ROELL ZHU įrenginys. Mikrokietumas buvo atliktas laikantis LST EN ISO 4516:2002 standarto. Gauti Vikerso kietumo matavimo vienetai buvo paversti į Rokvelo matavimo vienetus.

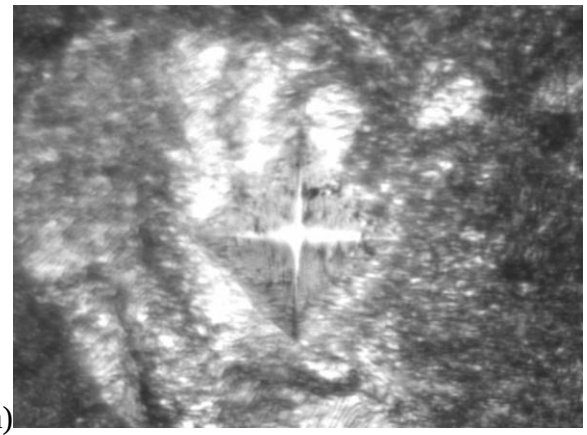
Naudojama apkrova buvo 200 g, išlaikymas 10 s. Kietumo matavimo nuotraukos parodytos 54 paveiksle. Kontaktiniu sandūriniu būdu suvirintos jungties tyrimo rezultatai pateikti 9 lentelėje, o termitiniu būdu suvirintos jungties rezultatai pateikti 10 lentelėje.

9 lentelė. Kontaktinės sandūrinės jungties mikrokietumo rezultatai

	Pagrindinis metalas	Terminio poveikio zona	Siūlė
Galvutė	39 HRC (trostitas)	32 HRC (sorbitas)	39 HRC (trostitas)
Kakliukas	33 HRC (sorbitas)	34 HRC (trostitas)	33 HRC (sorbitas)
Padas	32 HRC (sorbitas)	34 HRC (sorbitas)	32 HRC (sorbitas)

10 lentelė. Termitinės jungties mikrokietumo rezultatai

	Pagrindinis metalas	Terminio poveikio zona	Siūlė
Galvutė	35 HRC (sorbitas)	29 HRC (sorbitas)	38 HRC (trostitas)
Padas	33 HRC (sorbitas)	28 HRC (sorbitas)	38 HRC (trostitas)

a)  b)

54 pav. a, b – mikrokietumo matavimo nuotraukos, padidintos 50 kartų

4.6 Smūginio tąsumo bandymo rezultatai

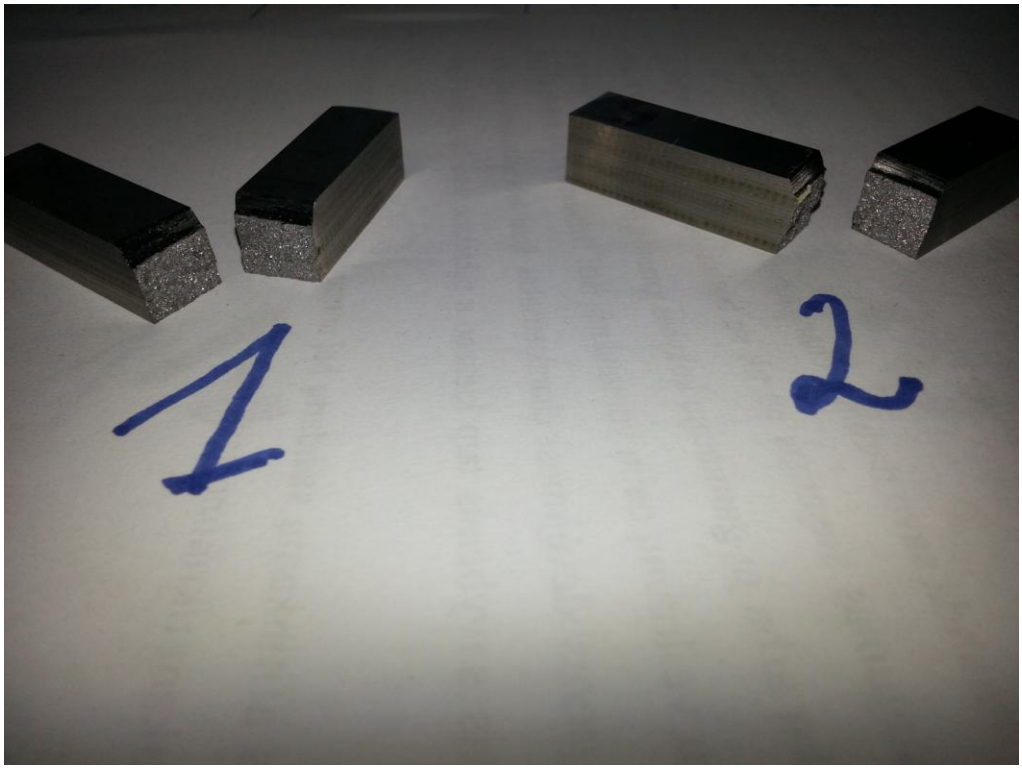
Smūginio tąsumo bandymas atliktas su kontaktiniu sandūriniu būdu suvirinta jungtimi. Buvo išpjauti 2 bandinukai iš bėgio galvutės ir pado (42 pav.). Išpjautiems bandinukams padaryta V formos įpjova (50 pav.), kad būtų sukelta įtempių koncentracija (lūžio vietai).

Bandymas buvo atliekamas laikantis EN ISO 9016:2012 standarto reikalavimų.

55 pav. Smūginio tąsumo bandinukai. 1 – bandinukas iš bėgio pado; 2 – bandinukas iš bėgio galvutės

11 lentelė. Smūginio tąsumo bandymo rezultatai

Bandino Nr.	Pavadinimas	Tipas ir matmenys, mm	Bandymo temperatūra ,°C	Smūginis tąsumas, J/cm^2	Smūgio absorbuota energija, J	Įražos gylis, m	Pastabos		
							Lūžio vieta	Suirimo tipas	Defekto tipas ir dydis
1	Padas	Stačiakampis 55x9,3x9,5	19	31,0	-	0,019	Siūlės centras	Trapus	-
2	Galvutė	Stačiakampis 55x9,4x9,5	19	31,2	6,0	0,019	Siūlės centras	Trapus	-



56 pav. Smūginio tąsumo bandiniai po atlikto bandymo: 1 – bandinukas iš bėgio pado; 2 – bandinukas iš bėgio galvutės

Smūginis tąsumas atliktas norint sužinoti kontaktinio sandūrinio suvirinimo būdo, siūlės tąsumą bėgio galvutėje ir pade. Iš gautų rezultatų matyti, kad smūginis tąsumas bėgio galvutėje pačioje siūlėje yra labai mažas, o bėgio pade toks mažas, kad įrenginys neužfiksavo rezultato, todėl galima teigti, kad siūlės metalas yra ypač trapus.

4.7 Cheminės analizės rezultatai

Cheminės sudėties tyrimas buvo atliktas šių sričių abiejose suvirinimo jungtyse:

- pagrindinio metalo;
- terminio poveikio zonos;
- siūlės.

Gauti cheminės analizės rezultatai pateikti 12 ir 13 lentelėse.

12 lentelė. UIC 60 markės bėgio jungtiės cheminė analizė

Bėgis UIC 60	% elemento masėje														
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Nb	Co	W
pagrindinis metalas	0,75	0,25	0,87	0,029	0,019	0,01	0,001	0,03	< 0,01	0,01	0,01	< 0,001	< 0,002	0,01	0,03
Galvutės siūlė	0,63	0,52	0,86	0,046	0,014	0,05	0,301	0,09	< 0,03	0,05	0,01	< 0,001	< 0,007	0,02	0,04
Galvutės terminio poveikio zona	0,66	0,56	0,86	0,047	0,016	0,05	0,307	0,09	< 0,03	0,05	0,01	< 0,001	< 0,009	0,02	0,04
Pado siūlė	0,67	0,52	0,93	0,044	0,016	0,05	0,410	0,09	< 0,03	0,04	0,01	< 0,001	< 0,010	0,02	0,04
Pado terminio poveikio zona	0,66	0,55	0,86	0,045	0,015	0,05	0,312	0,09	< 0,03	0,05	0,01	< 0,001	< 0,009	0,02	0,04

13 lentelė. R65 markės bėgio jungtiės cheminė analizė

Bėgis R65	% elemento masėje														
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Cr	Mo	Ni	V	Ti	Nb	Co	W
pagrindinis metalas	0,73	0,37	1,00	0,026	0,027	0,01	0,003	0,03	< 0,01	0,05	0,04	< 0,001	< 0,008	0,04	0,06
Galvutės siūlė	0,70	0,35	0,97	0,019	0,025	0,01	0,002	0,04	< 0,01	0,04	0,04	< 0,001	< 0,001	0,03	0,03
Galvutės terminio poveikio zona	0,74	0,36	0,94	0,023	0,023	0,01	0,002	0,05	< 0,01	0,04	0,05	< 0,001	< 0,006	0,04	0,06
Pado siūlė	0,73	0,32	0.97	0,015	0,019	0,01	0,001	0,03	< 0,01	0,04	0,04	< 0,001	< 0,001	0,03	0,03
Pado terminio poveikio zona	0,74	0,32	0.99	0,020	0,018	0,01	0,001	0,03	< 0,01	0,04	0,04	< 0,001	< 0,001	0,03	0,03

Ištyrus abiejų bėgių cheminę sudėti matyti, kad bėgiai pagaminti iš anglingo plieno, turinčio atitinkamai 0,75 % ir 0,73 % C ir 0,87 % ir 1,00 % Mn, mikrolegiruoto vanadžiu 0,01 % ir 0,04 %. Matyti, kad abejos jungtys neviršija reikiamo kiekio, taip pat nėra ir trūkumo. Esant panašiai cheminei sudėčiai galima teigti, kad suvirinta jungtis bus kokybiškesnė ir tarnavimo laikas bus ilgesnis, negu jungties su skirtinga chemine sudėtimi.

IŠVADOS

1. Vizualinės apžiūros metu aptiktų defektų galimos atsiradimo priežastys yra tokios: nepakankamas išankstinis pakaitinimas, suvirinimo režimų ir technologijų nesilaikymas, drėgnas termito mišinys. Bėgių pakaitinimo režimai prieš suvirinimą, įtakoją gerą siūlės kokybę.
2. Atlikus sulydymo zonos matavimus, galima daryti išvadas, kad kontaktiniu sandūriniu būdu suvirinta jungtis kokybiškesnė nei termitiniu būdu suvirinta jungtis, nes kontaktinės jungties terminio poveikio zona bėgio galvutėje 50 % siauresnė, nei termitinės jungties, atitinkamai 8 mm ir 16 mm. Kontaktinės jungties siūlės plotis bėgio galvutėje 55 % siauresnis, nei termitinės jungties, atitinkamai 30 mm ir 66 mm.
3. Atlikti termiškai suminkštintos zonos kietumo matavimai parodė, kad termitiniu būdu suvirintos jungties mažiausias kietumas, terminio poveikio zonoje 252 HB, o standarto minimali riba 350 HB. Galima teigti, kad kontaktinio sandūrinio suvirinimo būdo siūlė yra kokibiškesnė negu termitinio, nes esant minkštesniai ir platesniai terminio poveikio zonai, didėja tikimybė atsirasti defektams eksploatacijos metu, bėgio ir rato kontakto vietoje.
4. Atlikus mikrostruktūros ir mikrokietumo tyrimus nustatyta, kad jungčių struktūra yra sorbitinė–trostitinė (artima pagrindinio metalo struktūrai - perlitiniai). Termitu suvirintoje jungtyje buvo aptikta oksidų intarpų, o kontaktinėje sandūrinėje jungtyje, rasta nebuvo. Oksidų intarpų kiekis turi neigiamą įtaką bėgio jungties kokybei. Remiantis tyrimais, galima teigti, kad siūlės sorbitinė–trostitinė struktūra, kuri yra dispersiškesnė ir nedidelė terminio poveikio sritis, sąlygoja suvirintos jungties pakankamą atsparumą dilimui ir cikliniam nuovargiui.
5. Smūginio tąsumo bandymo metu buvo nustatyta, kad kontaktiniu būdu suvirintos siūlės smūginis tąsumas bėgio galvutėje buvo labai mažas, o pade toks mažas, kad įrenginys neužfiksavo jokio rezultato. Galima daryti išvadas, kad metalas tiek galvutėje, tiek pade yra labai trapus. Norint gauti tikslesnius smūginio tąsumo rezultatus, reikia atlikti išsamesnius tyrimus.

LITERATŪRA

1. 7-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „LIETUVA BE MOKSLO - LIETUVA BE ATEITIES“ įvykusios Vilniuje 2004m. balandžio 20-21d., medžiaga. MECHANIKA, MEDŽIAGŲ INŽINERIJA, PRAMONĖS INŽINERIJA IR VADYBA. Vilnius „Technika“ 2004m. 101 psl.
2. About Welding Machine. Electro Slag Welding ESW. Narrow Gap Welding. [interaktyvus] [žiūrėta 2013 m. kovo 16 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.mechanicalengineeringblog.com/tag/electroslag-welding-rail/>.
3. Bajic D., Vladimirovich Kusmenko G., Samardzic I. Welding of rails with new technology of arc welding. [interaktyvus] [žiūrėta 2013 m. balandžio 16 d.]. Prieiga per internetą: <http://public.carnet.hr/metalurg/Metalurgija/2013_vol_52/No_3/MET_52_3_399-402_Bajic.pdf>.
4. Danks Dr. Dan, Turpin Mr. Bob. Recent advances in Field Electroslag Rail Welding. [interaktyvus] [žiūrėta 2013 m. kovo 16 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.arema.org/files/library/2005_Conference_Proceedings/00049.pdf>.
5. EN ISO 4516:2002. „Metalinės ir kitos neorganinės dangos. Vikerso ir Knupo mikrokietumo bandymai“. 2002.
6. FARHANGI Hassan and Mostafa MOUSAVIZADEH Seyed. School of Metallurgy and Materials Engineering, Faculty of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran. HORIZONTAL SPLIT-WEB FRACTURES OF FLASH BUTT WELDED RAILS. Prooceedings of 8th International Fracture Conference 7 – 9 November 2007 Istanbul/TURKEY.
7. Goldschmidt Thermit Group. Gas Pressure Welding – Quality of Test Welds . 1 September 2006 [interaktyvus] [žiūrėta 2013 m. balandžio 28 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.innotrack.net/IMG/pdf/d465-f3-gas_pressure_welding-quality_of_test_welds.pdf>.
8. Ilic Nenad, Jovanociččc Milan T., Misa Todorovic, Milan Trtanj, and Petar Saponjic. Microstructural and Mechanical Characterization of Postweld Heat-Treated Thermite Weld in Rails. The Welding Institute, Yugoslavia, 1999.
9. Yamamoto R., Fukuda Y., Ueyama K., M.atsumi and H. Oishibashi. Gas Pressure Welding Method for Steel Reinforcing Bars. 1998 May. [interkatyvus] [žiūrėta 2013 m. balandžio 15 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.aws.org/wj/supplement/WJ_1998_05_s188.pdf>.
10. Kulikauskas L. MEŽDIAGOTYRA. Konstrukcinės medžiagos. Vilnius, 1997. 164-170 psl.
11. LST EN ISO 13674-1:2011 Geležinkelio taikmenys. Geležinkelio kelias. Bėgiai. 1 dalis. 46 kg/m ir didesnės ilginės masės plačiapadžiai geležinkelio bėgiai.

12. LST EN ISO 6520-1:2007 „Suvirinimas ir panašūs procesai. Metalų suvirinimo defektų klasifikavimas. 1 dalis. Lydomasis suvirinimas“. 2007.
13. LST EN ISO 9016:2011 „Metalinės medžiagos. Ardomieji siūlių bandymai. Smūginio tąsumo bandymai. Bandinių vieta, įpjovos orientacija ir tyrimas“. 2011.
14. LST EN ISO 14730-1:2008. Geležinkelio taikmenys. Geležinkelio kelias. Termitinis bėgių suvirinimas. 1 dalis.Suvirinimo procedūros patvirtinimas P. 2008.
15. Mihailovs Sergejs. Doctor diploma summary. RESEARCHES OF RAILS WELDING CONNECTIONS, EXECUTED BY ALUMINOTHERMIT WELDING. Riga technical university, 2009.
16. Mutton P.J., Alvarez E.F. Failure modes in aluminothermic rail welds under high axle load conditions. 2003, Australia.
17. Sakalauskas K., Laurinavičius A., Podagėlis I. Geležinkelių inžinerija 2. Konstrukcija, priežiūra, technologija. V.: Technika, 2000.
18. Sladojevic Branislav. ULTRASONIC TESTING OF ALUMINOTHERMIC WELDED JOINTS OF RAIL TRACKS. INSTITUTE "KIRILO SAVIC", Belgrade, Serbia. 2008. [interaktyvus] [žiūrėta 2013 m. gegužės 3 d.] Prieiga per internetą http://www.ndt.net/article/ecndt2010/reports/1_10_15.pdf.
19. Tarptautinės konferencijos pranešimų medžiaga. TRANSPORTO PRIEMONĖS – 99. KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS. Kaunas, Technologija, 1999. 238 psl.
20. Tawfik David, Kirstein Oliver, Mutton Peter John, Kong Chiu Wing. Mechanical Engineering Department, Monash University, Melbourne, Australia. Verification of residual stresses in flash-butt-weld rails using neutron diffraction. Physica B 385–386 (2006) 894–896.
21. THERMIT WELDING PROCESS. [Interaktyvus] [žiūrėta 2013 m. gegužės 5 d.] Prieiga per internetą: <http://www.thermit-welding.com/thermit_welding_process.php>.
22. Turpin Bob, Danks Dan. Electroslag Field Welding of Railroad Rail. P. 2003.[interaktyvus] [žiūrėta 2013 m. kovo 16d.]. Prieiga per internetą: <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/studies/idea/finalreports/highspeedrail/hsr-final_report.pdf>.
23. Višniakas, Ivanas; Rudzinskas, Vitalijus. Suvirintinių jungčių kokybės kontrolė, valdymas ir optimizavimas : [mokomoji knyga] / Ivanas Višniakas, Vitalijus Rudzinskas ; Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Vilnius : Technika, 2012.

PRIEDAI