

Mechanics, material science, industrial engineering and management  
Mechanika, medžiagų inžinerija, pramonės inžinerija ir vadyba

**PADANGŲ SMULKINIMO PEILIO RESTAURAVIMO TECHNOLOGIJOS  
TYRIMAS**

Ramūnas RAZGUS, Valentinas VARNAUSKAS \*, Giedrius GARBINČIUS

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva*

Gauta 2020 m. gruodžio 8 d.; priimta 2021 m. sausio 20 d.

**Santrauka.** Straipsnyje tiriama padangų smulkinimo peilio plieno virintinės jungties kokybė. Analizuojami defektai, atsirandantys restauruojant. Tam, kad būtų nustatytos virintinės jungties mechaninės savybės, atlikti bandymai ir pritaikyti šie tyrimų metodai: apžiūrimoji kontrolė, bandymai magnetinėmis dalelėmis, metalo kietumo tyrimai bei cheminė pagrindinio ir prilydomojo metalo analizė.

**Reikšminiai žodžiai:** suvirinimas, aplydymas, įrankinis plienas.

## Įvadas

Kasmet Lietuvoje susidaro tūkstančiai tonų panaudotų padangų, kurias reikia perdirbti. Naudotos padangos nėra nei kenksmingos, nei pavojingos, jei tinkamai tvarkomos, transportuojamos ar saugomos. Padangos gali būti perdirbamos šimtu procentų, jų cheminės ir fizikinės savybės paverčia jas vertingu žaliavų šaltiniu.

Padangų smulkinimas – tai medžiagų saardymas iki reikiamo dydžio dalelių. Kietos medžiagos smulkinamos veikiant išorinėmis mechaninėmis jėgomis. Padangų smulkinimas yra tik pirminis tolesnio padangų antrinių žaliavų panaudojimo procesas. Mechaninio polimerų smulkinimo metu, kaip ir bet kurio mechaninio apdorojimo atveju, vyksta įvairūs fiziniai ir cheminiai pakitimai. Pirmoji mechaninio poveikio bet kuria smulkinimo įranga pasekmė yra disperguojamosios medžiagos geometrinų matmenų bei formų pokyčiai. Be išorinių fizinių pakitimų, atliekant mechaninį smulkinimą, vyksta gilūs struktūriniai elastomero pasikeitimai. Šiuos padangų ardymo procesus atlieka smulkinimo peiliai, kurie ir yra šio straipsnio tyrimų objektas.

**Tyrimo aktualumas.** Darbas šia tema pradėtas daryti bendradarbiaujant su UAB „Ekologistika“. Ši tema jiems aktuali todėl, kad restauruoti padangų smulkinimo peilį užima daug laiko ir darbuotojų darbo valandų bei priklauso nuo personalo kvalifikacijos. Restauruojant reikalingos šaltkalvystės, suvirinimo, tekinimo, terminio apdorojimo žinios ir įgūdžiai. Padangų smulkinimo peiliui keliami rei-

kalavimai: turi būti ilgaamžis, pasižymintis geromis mechaninėmis savybėmis, patikimas eksploatuojant ciklinių apkrovų metu, atsparus smūginėms apkrovoms, dilimui, kietas ir netrapus (Zknives, 2020). Tokio tipo peiliai po skersinio lūžio dažniausiai restauruojami iki dviejų kartų.

**Tyrimo problema.** Smulkinant padangas su metaliniu kordu, pirminio smulkinimo įrenginyje peilis dėl nuolatinių smūginių apkrovų greitai nusidėvi arba dėl tiksliai nenustatytų priežasčių lūžta. Todėl po lūžio ar pradinei peilio ašmenų formai atkurti reikia jį restauruoti arba keisti nauju (1 pav.).



1 paveikslas. Padangų smulkinimo peilis  
Figure 1. Tire shredding knife

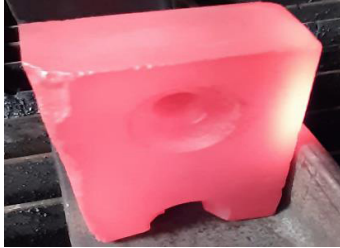
## 1. Bandymų metodika ir eiga

Eksperimento tyrimas atliktas Klaipėdos laivų statybos ir remonto mokykloje suvirinimo dirbtuvėse ir UAB „Vakarų laivų gamykla“ priklausančioje laboratorijoje, naudojant ten esančią įrangą ir medžiagas.

Tyrimo pradžioje išmatuotas peilio metalo kietumas. Kitame etape padangų smulkinimo peilis ruoštas suvirinimui: atliktas briaunų nusklembimas, terminis apdorojimas.

\*Autorius susirašinėti. El. paštas [valentinas.varnauskas@vilniustech.lt](mailto:valentinas.varnauskas@vilniustech.lt)

Prieš mechaniškai apdirbant peilį, jis buvo įkaitintas ir lėtai aušinamas. Terminio apdorojimo procesas atliktas acetileno ir deguonies degiųjų dujų liepsna (2 pav.). Temperatūra kontroliuota infraraudonųjų spindulių termometru TROTEC RP 05. Įkaitintas peilis šešias valandas palaipsniui aušintas terminio apdorojimo krosnelėje.



2 paveikslas. Peilio įkaitinimas iki 820 °C  
Figure 2. Knife heating up to 820 °C

Peilio briaunos suvirinimui paruoštos taikant X formos nusklembimą ir standžiai įtvirtintos, kad suvirinus atsirastų kuo mažesnių deformacijų (James ir Lincoln, 1994). Dvipusis X formos briaunų paruošimas pasirinktas tam, kad siūlės metalas gali būti prilydomas keliais ėjimais iš vienos ir kitos pusės. Norint gauti kuo mažesnes deformacijas, buvo laikomasi suvirinimo procedūrų aprašo rekomendacijų ir ypatingas dėmesys teiktas briaunų paruošimo ir surinkimo tikslumui. Siekiant apsaugoti peilio vidinę ertmę, pagaminta varinė įvorė. Po atliktų suvirinimo procesų varinė įvorė nebuvo pažeista.

X nuosklembos viena pusė (A pusė) suvirinta 135 procesu vadovaujantis suvirinimo procedūrų aprašu (SPA), o to paties peilio kita pusė (B pusė) suvirinta 111 procesu taip pat vadovaujantis SPA.

Suvirinus peilio A ir B puses, paviršiai apdirbti šlifavimo staklėmis „Metallcraft FSM 4080“.

Pirmajame tyrimų etape kietumo matavimai atlikti suvirinus.

Antrajame tyrimų etape kietumo matavimai atlikti po terminio apdorojimo – grūdinimo ir atleidimo.

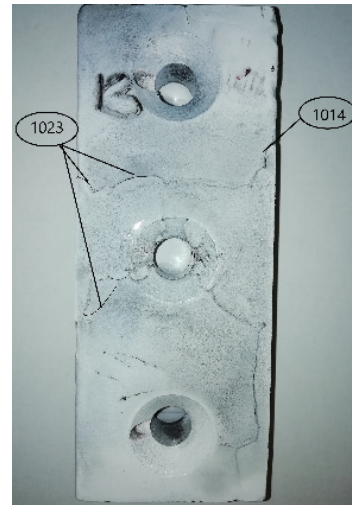
Suvirinto peilio A pusė, suvirinus 135 procesu ir apdirbus paviršių šlifavimo staklėmis, pateikta 3 pav. A. Suvirinto peilio B pusė, suvirinus 111 procesu ir apdirbus paviršių šlifavimo staklėmis, pateikta 3 pav. B.



3 paveikslas. Suvirinto peilio A (135 procesas) ir B (111 procesas) pusės  
Figure 3. The sides of welded knife A (135 process) and B (111 process)

## 2. Tyrimų rezultatai ir jų apibendrinimas

Atlikus patikrą magnetinėmis dalelėmis ir vizualinę virintinės jungties analizę identifikuoti defektai, kurie susisteminti ir pateikti 1 lentelėje ir 4 paveiksle.



4 paveikslas. Suvirinto peilio defektai po tyrimo magnetinėmis dalelėmis – A pusė

Figure 4. Defects of the welded knife after examination with magnetic particles – A side

### 2.1. Kietumo matavimo rezultatai

Atlikus kietumo matavimus pagal Vikerso metodą gauti rezultatai konvertuoti į kietumo matavimo vienetus pagal Rokvelą (HRC). Peilio, priklausiančio šalto apdorojimo įrankių plienų grupei X96 Cr Mo V12 (1.2376) (ISO/TR 15608:2017), kietumo rezultatai prieš suvirinimą ir terminį apdorojimą pateikti 5 pav. (išsistinė mėlyna linija). Iš rezultatų matoma, kad peilio metalo kietumas yra 60–62 HRC. Plieno kietumas pagal gamintojo techninę specifikaciją yra 60–63 HRC.

Išmatavus 135 procesu suvirintos peilio detalės A pusės kietumą, gauti rezultatai pateikti 5 pav. raudona punktyrinė linija. 135 procesu suvirintos siūlės kietumas – nuo 53 HRC iki 56 HRC. 111 procesu suvirintos siūlės (B pusė) kietumas – nuo 42 HRC iki 47 HRC.

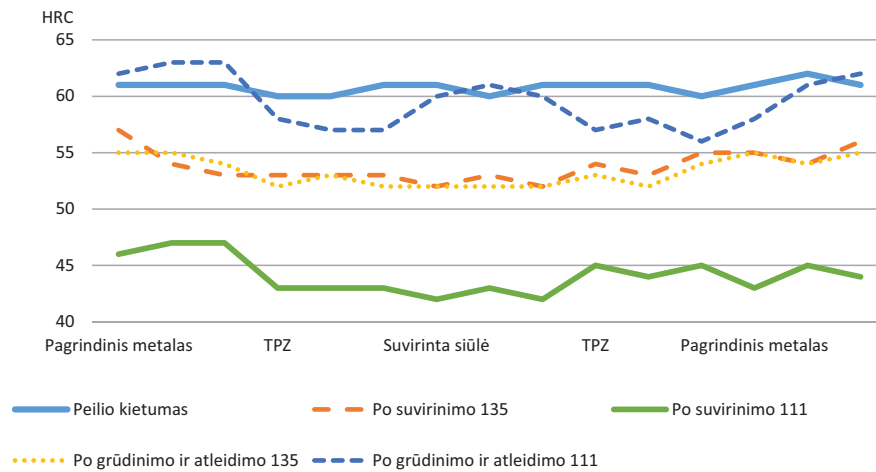
Papildomai atliktas peilio terminis apdorojimas (grūdinimas ir atleidimas) peilio A pusės 135 procesu suvirintos jungties (taškinė punktyrinė linija) kietumui įtakos nedaro, o suvirintai B pusės jungčiai atvirkščiai – įtaka akivaizdžiai matoma. Kietumo reikšmės padidėja ir prilygsta gamyklinėms reikšmėms.

### 2.2. Pagrindinio ir pridėtinių metalų cheminės sudėties analizės rezultatai

Cheminė analizė atlikta trijuose matavimų plotuose. Patikrinta pagrindinio metalo X96 Cr Mo V12 (1.2376) cheminė sudėtis bei ištirta A peilio pusė, kuri buvo suvirinta 135 procesu su pridėtine viela LNM 304 LSI ISO 14343-A-G 19 9 L Si, ir B peilio pusė, kuri suvirinta 111 procesu

1 lentelė. Virintinių jungčių defektai ir jų atsiradimo priežastys  
Table 1. Defects in welded joints and their causes

Defekto numeris	Pavadinimas	Atsiradimo priežastys
301	Šlako intarpai	Šlakas užbėga į suvirinimo vonelės priekį Nevisiškai nuvalytas šlakas, suvirinta siūlė atlikus ėjimą Netinkama užpildymo siūlių ėjimų išdėstymo seka
1014	Išilginis įtrūkis pagrindiniame metale apytikriai lygiagretus su siūlės ašimi	Pagrindinis metalas linkęs grūdinis (dėl didelio anglies ar kitų legiruojančiųjų elementų kiekio) Virintinė siūlė vėsta per greitai
1021	Įtrūkis siūlės zonoje apytikriai statmenai siūlės ašiai	
1023	Įtrūkis terminio poveikio zonoje apytikriai statmenai siūlės ašiai	
1063	Grupė susijungusių plyšių, atsišakančių nuo vieno bendro plyšio ir nepanašių į atskirų plyšių grupę	
2016	Vidinė pora	Drėgmė – dėl neteisingai sandėliuojamų suvirinimo medžiagų
2018	Paviršinė pora. Priežastys ir sprendimo būdai kaip 2016-ame defekte	Nekokybiškos apsauginės dujos Drėgmė, rūdys, riebalai ar dažai ant suvirinamų elementų briaunų Nepakankama dujinė apsauga nuo atmosferos poveikio



5 paveikslas. Bandinių kietumo reikšmės  
Figure 5. Hardness values of samples

2 lentelė. Cheminės analizės tyrimai, %  
Table 2. Chemical composition, %

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co	Kita
Pagrindinis metalas	84,0	0,96	0,46	0,4	<0,005	<0,005	11,1	0,7	0,45	0,03	0,04	1,86
A peilio pusė	77,0	0,02	0,8	1,9	<0,003	<0,0045	13,1	0,1	7,0	0,02	0,03	0,03
B peilio pusė	86,0	0,5	1,8	0,4	<0,002	<0,003	9,0	0,72	0,62	0,02	0,02	0,92

naudojant pridėtinį metalą pagal Fe6 specifikaciją (Lincoln electric, 2012).

Iš 2 lentelėje pateiktų rezultatų matyti, kad siūlių prilydytas metalas skiriasi nuo peilio lydinio. A peilio pusė pasižymi plastiška siūle ir mažu anglies kiekiu, o B peilio pusė dėl 0,5 % anglies ir 9 % chromo, tikėtina, suformuos chromo karbidus, pasižymintčius dideliu atsparumu dilimui.

## Išvados

Restauruotas peilis eksploatuojamas dinaminių apkrovų sąlygomis, todėl tikslinga, kad prilydytas metalas turėtų kuo didesnes smūginio tūsumo reikšmes. Didesnis smūginis tūsumas pasiekiamas sumažinus anglies kiekį, tuomet tikėtina, kad virintinės jungtys pasižymės geromis eksploatacinėmis savybėmis.

Pagal fizikines ir chemines savybes geresnius rezultatus tyrimo metu atitiko 111 procesu elektrodais Fe6 suvirinta peilio B pusė nei peilio A pusė, suvirinta 135 procesu pilnavidure viela LNM 304 LSI ISO 14343-A-G.

Terminį apdorojimą reikia atlikti specialia įranga. Atliekant terminį apdorojimą dujiniu procesu metalas įkaista netolygiai, dėl to temperatūra netolygiai pasiskirsto detalės plote. Dėl tos pačios priežasties, atlikus kietumo tyrimus, rezultatai parodė, kad detalės kraštuose (pagrindiniame metalė) kietumas didesnis nei terminio poveikio zonoje. Užgrūdinus detalę ir atlikus atleidimą pridėtinio metalo Fe6 didžiausias kietumas – 63 HRC, o pridėtinio metalo LNM 304 LSI ISO 14343-A-G didžiausias kietumas – 55 HRC.

Atlikus cheminę analizę, tiek pagrindinio metalo – X96 Cr Mo V12 (1.2376), tiek pridėtinių medžiagų Fe6 ir LNM 304 LSI ISO 14343-A-G gauti rezultatai atitinka gamintojų technines metalų ir medžiagų specifikacijas.

Peilis įrenginio mechanizme buvo tvirtinamas trimis varžtais nenaudojant varžtų priveržimo matuoklio – dinamometro. Tai prieštarauja gamintojo reikalavimams. Didelė tikimybė, kad peilis lūžo dėl netolygaus jėgų pasiskirstymo peilio plokštumoje ciklinių apkrovų metu.

## Literatūra

- International Organization for Standardization. (2017). *Welding – Guidelines for metallic materials grouping system* (ISO/TR 15608:2017). <https://www.iso.org/standard/65667.html>
- James, F., & Lincoln, A. (1994). *Welding foundation* (sections 2.2–5, 5.4–7). Cleveland, Ohio.
- Lincoln electric. (2012). *Welding consumables product catalogue*. [https://www.lincolnelectric.com/en-au/Documents/ConsumablesCatalogue\\_SecondEdition.pdf](https://www.lincolnelectric.com/en-au/Documents/ConsumablesCatalogue_SecondEdition.pdf)
- Zknives. (2020). *Metal ravne CRV1 knife steel composition analysis graph, equivalents and overview*. <http://zknives.com/knives/steels/crv1.shtml>

## INVESTIGATION OF TIRE CRUSHING KNIFE RESTORATION TECHNOLOGY

R. Razgus, V. Varnauskas, G. Garbinčius

### Abstract

The paper investigates the quality of a steel welded joint of a tire shredding knife. Defects occurring during restoration are analyzed. In order to determine the mechanical properties of the welded joint, the following tests and tests were carried out: visual inspection, magnetic particle tests, metal hardness tests and chemical analysis of the parent and weld metal.

**Keywords:** welding, cladding, tool steel.