

Rastrų formavimo įrenginio dinaminio procesų tyrimai

Evaldas Jankantas¹, Albinas Kasparaitis²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

E-paštas: ¹e.jankantas@gmail.com; ²a.kasparaitis@precizika.lt;

Santrauka. Juosta tai siauras, ilgas, plonas lanksčios (kartais – ir kietos) medžiagos gabalas. Juosta dažniausiai yra gaminama ir apdirbama poligrafinio tipo įrenginiuose. Juostos transportavimui yra įvairių būdų, tai priklauso nuo juostos paskirties, medžiagos ir juostos paruošos. Pagal šiuos kriterijus yra parenkamos traukimo ir įtempimo sistemos bei jų charakteristikos. Darbo užduotyje numatyta transportuoti šlifuoatą arba poliruotą metalinę nerūdijančio plieno juostą pastovių greičiu. Ant transportuojamos juostos lazeriu deginamas piešinys ir precizinis rastrinis takelis, todėl greičio nevienodumas ir juostos praslydimas traukimo mechanizmo atžvilgiu tiesiogiai įtakos gaminamo produkto kokybę. Yra įvairių sistemų sukurtų garso, vaizdo ar piešinių pateikimui ir nuskaitymui nuo transportuojamos juostos. Visuose tokio tipo įrenginiuose greičio nepastovumas yra pagrindinis sistemos žalingas reiškinys, kurio mažinimo būdams yra skiriamas didžiausias dėmesys.

Reikšminiai žodžiai: rastrų formavimas, dinaminiai procesai, metalinė skalė.

Įvadas

Vis labiau kyla poreikis sukurti aukšto tikslumo metalines liniuotes. Be to, tikslaus ir greito brūkšninių ilgio matų padalų detektavimo problemos aktualumą ir sprendimo būtinybę pirmiausia sąlygoja sparčiai didėjantys poreikiai. Kyla našumo reikalavimai jų technologiniam proceso tikslumui. Darbe pagrindinis dėmesys skiriamas rastrų formavimo įrenginio dinaminiam procesams ištirti. Šių procesų įtaka yra tiesiogiai susijusi su rastrų kokybe.

Vienas sudėtingų iššūkių, su kuriais susiduria mokslas ir aukštųjų technologijų pramonė, yra vis didėjantis poreikis įterpti metalines liniuotes į gamybos procesų gerinimą. Šį uždavinį įmanoma išspręsti tik gerai suprantant paklaidų fiziką, atlikus gilius ir išsamius tikslumo tyrimus, kuriais remiantis galima pagrįsti rastrų formavimo sistemų tobulinimo kryptis ir sudaryti bandymo metodologijas.

Tikslumo tyrimuose padaryta didelė pažanga, tačiau precizinės rastrų formavimo sistemos dažnai yra per daug sudėtingos ir skirtingos, todėl sunku ar beveik neįmanoma perkelti ir pritaikyti joms šių tyrimų pasiekimus tiesiogiai. Tokių sistemų kūrimas ir tobulinimas turi remtis tyrimais specifinėje darbo aplinkoje.

Vienas pagrindinių tokių sistemų projektavimo kriterijų yra sandara, kuri nulemia, kokio dydžio

paklaidos gali būti toleruojamos kiekvienoje sistemos kūrimo, gamybos ar eksploatavimo stadijoje. Paklaidas siekiama ne minimizuoti, o padaryti jas valdomomis ir kontroliuoti jų poveikį, ištirti dominuojančias paklaidas, jų valdymo galimybes.

Prielaidos ir principai

Šiame darbe papildomai buvo naudojami tamprumo teorijos (tiesinės mechanikos) prielaidos ir principai. Pirmiausia pateiksime bendrąsias prielaidas, o vėliau tiesiškumą lemiančias prielaidas:

1) Medžiagos vientisumo prielaida.

Ji teigia, kad kūno medžiaga užpildo erdvę tolydžiai, be tuštumų. Todėl vientisai materialiai terpei galima taikyti nykstančių dydžių analizę. Ši prielaida tolygi kontinuumo apibrėžimui. Medžiagos vientisumo prielaida turi principinę metodologinę reikšmę: jos priėmimas darbinės hipotezės pagrindu leido sukurti darnią *kontinuumo* teoriją, kurios rezultatai patvirtinami bandymais ir tenkina praktinius poreikius.

Mes galime aprašyti kūną tolydinėmis funkcijomis, neatsižvelgiant į jo atominę ar kristalinę sandarą. Šios prielaidos dėka deformuojamojo kūno mechanikos uždaviniai yra gerai formuluojami matematiniai uždaviniai, kurių matematinius modelius galima aprašyti diferencialinėmis lygtimis.

Skirtingai nuo klasikinės medžiagų mechanikos, matematiniai sprendiniai, o ne išankstinės hipotezės, lemia triašį įtempimų, deformacijų ir poslinkių pobūdį.

2) Medžiagos vienalytiškumo prielaida.

Medžiaga laikoma vienalyte, jei jos savybės nepriklauso nuo išskirtos iš viso kūno dalelės didumo. Prielaida teigia, kad medžiagos mechaninės savybės visuose kūno taškuose yra vienodos. Pavyzdžiui, tamprumo modulis $E(x, y, z) = E = \text{const.}$

Šią savybę galima nustatyti tempimo-gniuždymo eksperimentu. Skirtinguose kūno taškuose išpjaunami vienodos orientacijos bandiniai. Jeigu vienodų sąlygų eksperimentuose gausime tas pačias deformacijas, tai kūnas gali būti laikomas vienalyčiu.

Ši prielaida netinka kompozitinėms medžiagoms.

3) Medžiagos izotropiškumo prielaida

Prielaida teigia, kad medžiagos savybės visomis kryptimis yra vienodos. Dažniausiai vientisą medžiagą laikoma izotropine, t.y. tariama, kad bet kurio kūno, išskirto iš vientisos erdvės, savybės nepriklauso nuo to kūno pradinės padėties (orientacijos) šioje terpėje (medžiagoje). $E_x \neq E_y \neq E_z$.

Tiesiškumo prielaidos

4) Medžiagos idealaus tamprumo prielaida (Huko dėsnis).

Tamprumas yra medžiagos savybė sugrįžti į pradinę būseną pašalinus išorinius poveikius. Taigi prielaida apima du teiginius – tamprumą kaip savybę ir jo tiesinį

pobūdį. Prielaida teigia, kad ryšys tarp medžiagos įtempimų ir deformacijų yra tiesinis ir turi grįžtamąjį pobūdį. Kūnai, pasižymintys šia savybe, vadinami idealiai tampriais arba fiziškai tiesiniais. Pirmą kartą šį dėsnį išreiškė Hukas, todėl jis ir vadinamas Huko dėsniu. Tik jis nusakė tiesinę priklausomybę ne tarp įtempimų ir deformacijų, o tarp jėgų ir poslinkių. Gausūs kietų kūnų tyrimai rodo, kad poslinkiai tam tikrose ribose beveik visada proporcingi veikiančioms jėgoms. Tariame, kad apkrovimo metu įtempimai lieka proporcingi deformacijoms:

normalinis įtempimas – linijinei deformacijai:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

tangentinis-kampinei:

$$\tau = G \cdot \gamma$$

Čia proporcingumo koeficientai, priklausantieji nuo medžiagos, yra vadinami tamprumo moduliu (E) ir šlyties moduliu (G). Tiesinė priklausomybė tarp jėgos ir poslinkio išlieka ir jėgoms didėjant, ir mažėjant, kartu nusakydama ir sistemos tamprumo savybes.

5) Geometrinio tiesiškumo prielaidos

Prielaidos nusako ribotus geometrijos pokyčius

a) deformacijų mažumo prielaida

Prielaida teigia, kad kūno elemento linijinės deformacijos mažos lyginant su vienetu (5-10%), o kampinės deformacijos mažos lyginant su stačiuoju kampu. Deformacijos nagrinėjamos kaip nykstančiai maži dydžiai. Jeigu nagrinėjamoje lygtyje yra nariai-deformacijų išvestinės, tai antros ir aukštesnių eilių nariai dėl mažumo atmetami.

b) poslinkių mažumo prielaida

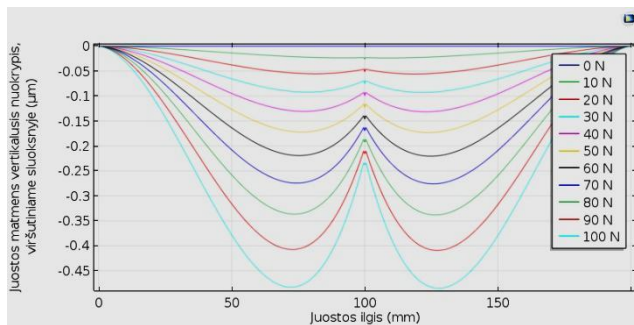
Prielaida teigia, kad kūno taškų poslinkiai maži lyginant su paties kūno matmenimis. Taigi kūno matmenys keičiasi nežymiai.

Teorinis tyrimas

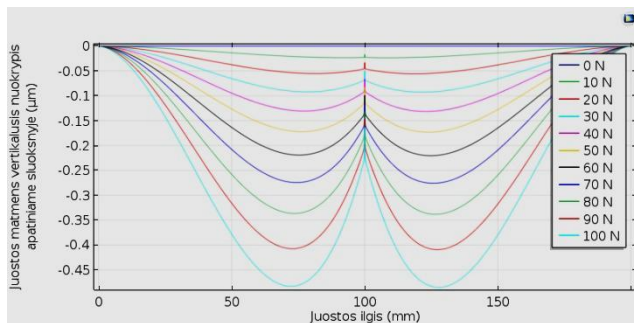
Teoriniam tyrimui modeliuoti ir skaičiuoti naudojama programa „Comsol“. Baigtinių elementų principas, tai šios programos variklis. Visų pirma, teorinį bandymą atliksime trimis skirtingais būdais. Keisime viršutinio ritinėlio paviršių dengiančią medžiagą t.y. bus bandoma su guma, akrilo plastiką ir plieną. Taip pat bus keičiama prispaudimo jėga. Tokiais būdais bus išsiaiškinta, kuri medžiaga yra pati tinkamiausia mechanizmui.

Modeliuojant priimtos sąlygos: juostos medžiaga – nerūdijantis plienas AISI 420, viršutinio ritinėlio pagrindinė medžiaga plienas, dengianti medžiaga (plienas, plastikas ir guma hypalonas). Apatinio ritinėlio medžiaga (struktūrinis plienas).. Atliksime skaičiavimus esant kintamai metalinės juostos dinaminei apkrovai, keisime ritinėlio apkrovą (nuo 10 iki 100N), kuris spaudžią juostą prie kito ritinėlio ir stebėsime, kaip vyksta juostos formos ir matmens nuokrypiai.

Šiuose grafikuose (žr. 1 pav. ir 2 pav.) pateikti rezultatai parodo, juostos deformacijas vertikalia kryptimi. Juostai užduodami parametrai: judėjimas 0.02m/s greičiu, trinties koeficientai yra hypalonas-plienas 0,6 ir plienas-plienas 0,4. Reikšmės gautos iš medžiagų trinties koeficiento lentelių. Apkrova kinta nuo 0 iki 100 Niutonų.

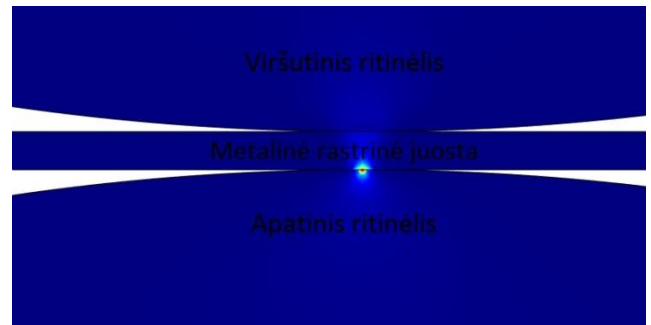


1 pav. Metalinės rastrinės skales deformacijos viršutiniame kontakto sluoksnyje vertikalia kryptimi



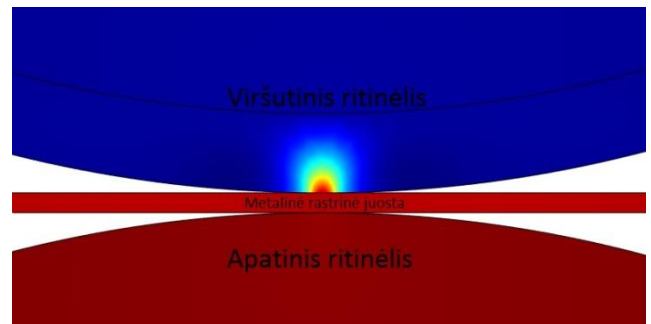
2 pav. Metalinės rastrinės skales deformacijos apatiniame kontakto sluoksnyje vertikalia kryptimi

Didžiausi įtempiai formuojasi apatinėje rastrinės juostos kontakto zonoje, kuri pateikta 3 paveiksle:



3 pav. Didžiausia įtempių zona

Žemiau pateiktame 4 paveiksle parodyta didžiausios deformacijos vieta viršutinio kontakto zonoje:



4 pav. Didžiausios deformacijos zona

Eksperimentinis tyrimas

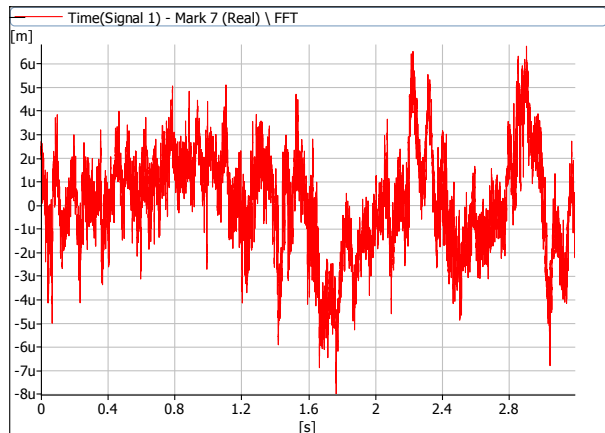
Praktiniai tyrimai atlikti UAB „Precizika Metrology“ termokonstantinėse laboratorijose, esant gamybai artimoms sąlygoms. Juostos parametrų matavimų sistemai panaudoti: HH41 etaloninis termometras, MM40 „Nikon“ mikroskopas, skaitmeninė kamera, virpesių matavimo įranga Danijos firmos "Brüel & Kjær" poslinkio jutikliai ir acelerometrai. 5 paveiksle parodytas virpesių tyrimo stendas:



5 pav. Juostos virpesių tyrimo stendas

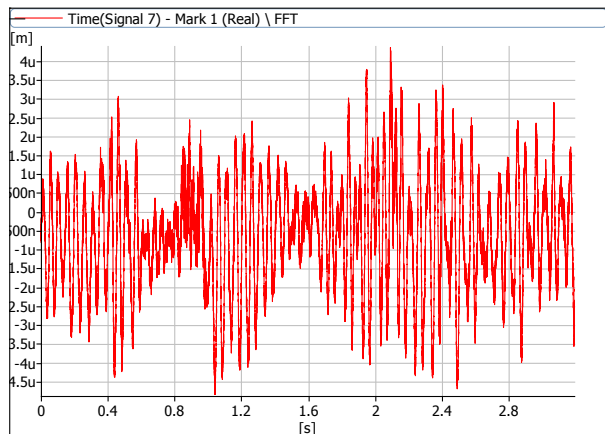
Gauti rezultatai

Pirmuoju atveju gautas laikinio signalo grafikas, naudojant prispaudimui metalinį ritinėlį ir 0,1Mpa prispaudimo jėgą:



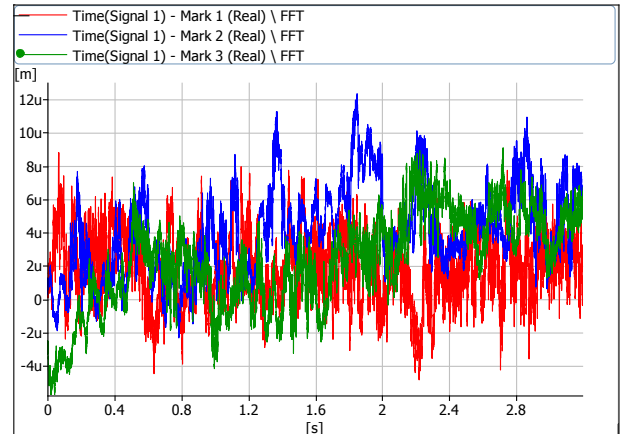
6 pav. Laikinio signalo grafikas

Antruoju atveju metalinei juostai prispausti, naudotas metalinis ritinėlis, dengtas hypalono medžiaga ir 0,1Mpa slėgis. Šie rezultatai yra mums aktualiausi:



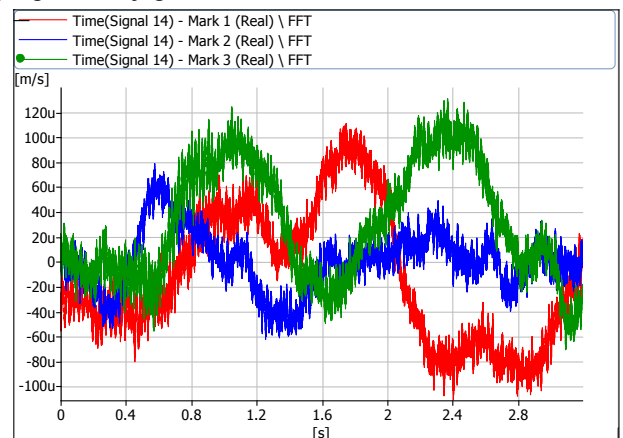
7 pav. Laikinio signalo grafikas

Toliau pateiktas plieninės juostos išilginė kryptimi poslinkio laikinis grafikas, esant trims skirtingoms prispaudimo jėgoms. Mums labiausiai tinkama 0,1 Mpa . kadangi pasiektos optimaliausios deformacijos reikšmės.



8 pav. Plieninės juostos vertikalia kryptimi poslinkio amplitudės laikinis signalas ir jo spektrinis tankis (raudona – 0,1 MPa; mėlyna – 0,15 MPa; žalia – 0,05 MPa)

Žemiau pateiktas 9 paveiksle greičio laikinio signalo grafikas, kuriame parodytos trys skirtingos prispaudimo jėgos.



9 pav. Plieninės juostos vertikalia kryptimi pagreičio laikinio signalo ir spektrinio tankio grafikai (raudona – 0,1 MPa; mėlyna – 0,15 MPa; žalia – 0,05 MPa)

Išvados

Naudojant „Comsol“ programą buvo sukurtas metalinės juostos modelis ir atliktas jos parametrų tyrimas, kuriame gauta plieninės juostos ilgio priklausomybė nuo kintančios apkrovos bei ritinėlį dengiančios medžiagos, kuri kontaktuoja su metaline juosta. Tyrimo metu gauti rezultatai apie juostos elgseną matavimo junginio zonoje.

Sąveikaujant matavimo prispaudimo būgnams, juostos prispaudimo matavimo junginio zonoje vyksta kintamosios juostos deformacijos, dėl kurių kinta juostos

ilgis tarp matavimo junginio ir lazerio spindulio veikimo zonos. Tai yra tiesioginė rastrų formavimo paklaidų priežastis.

Didžiausią įtaką turi juostos deformacijos statmenai paviršiui, ant kurio formuojami rastrai. Deformacijos kitų ašių kryptimis yra mažos ir neturi praktinės įtakos rastrų formavimo paklaidai.

Siūloma daugiau dėmesio skirti rastrų gamybos mechanizmams ir procesams tirti, nes šiuo metu yra daug abstrakčios informacijos apie visą procesą, o konkrečių rezultatų tik keletas. Reikėtų atlikti daugiau tyrimų su skirtingomis ritinėlio medžiagomis, pabandyti patobulinti plieninės juostos prispaudimo mechanizmą.

Literatūra

Barakauskas, A.; Kasparaitis, A.; Kojelavičius, P.; Šukys, A. 2008. Compensating accuracy of ABBE errors of linear laser calibrator, in Proceedings of 13th International Conference Mechanika – 2008, 3–4 April 2008, Kaunas, Lithuania, 39–43. ISSN 1822–2591.

Bodermann, B.; Buhr, E.; Mirande, W. 2003. Quantitative Mikroskopie: Dimensionelle Messtechnik an Mikro- und Nanostrukturen. PTB Mitteilungen. Heft 4: 113.

Bosse, H.; Flügge, J. 2001. Requirements and recent developments in high precision length metrology, in Proceedings of the 159 PTB-Seminar, 28–29 November 2001, Braunschweig, Germany. 180 p.

Brikas, M.; Račiukaitis, G.; Gedvilas, M. 2007. Accumulation effects during processing of metals and silicon with repetition-rate lasers, Acta Universitatis Lappeenrantaensis 273:645–656.

Flatscher, G. 2003. Reflective measuring scale graduation and method for its manufacture. US patent number 6671092.30 December 2003. Dr. Johannes Heidenhain GmbH.

Flügge, J.; Dai, G. 2000. Design of the temperature measurement and control system at the PTB nanometer comparator, in Proc. of the 1st Euspen Topical Conference on Fabrication and Metrology in Nanotechnology 2: 303–309.

Flügge, J.; Dangschat, H.; Spies, A.; Tschirnich, J.; Pies, H. 1999. Concept of a interferometric length comparator with measurement uncertainties in the nanometer scale, in 1st Euspen international Conference, 31 May – 4 June 4 1999, Bremen, Germany, 227–230.

Jakštas, A. 2006. Precizinių ilgio kalibravimo sistemų tyrimas: daktaro disertacija. KTU, Kaunas, Lietuva.

Jakštas, A.; Kaušinis, S.; Barauskas, R.; Barakauskas, A.; Kasparaitis, A. 2008. Software based control techniques for precision line scale calibration, in Proceedings of the 11th Biennial Baltic Electronics Conference 5(8): 223–226. <https://doi.org/10.1109/bec.2008.4657520>

Kasparaitis, A.; Vekteris, V.; Kilikevichius, A. 2006. A vibration source in comparator, in Seventh International Conference on Vibration Measurements by Laser Techniques, Proc. of SPIE, 6345: 6345O-1.

Kaušinis, S. 2007. Precizinių ilgio kalibravimo sistemų tyrimas. Aukštųjų technologijų plėtros programos projektas, Reg. Nr. B-07039. Ataskaita. 178 p.

Kilikevičius, A. 2009. Ilgio matavimo mechatroninio komparatoriaus dinaminių paklaidų tyrimas: daktaro disertacija. VGTU, Vilnius.

Kilikevičius, A.; Jurevičius, M.; Berba, M. 2010. Research of dynamics of a vibration isolation platform, Journal of Vibroengineering 12(3): 361–367.

Kilikevičius, A.; Petraška, A.; Juraitis, S. 2009. Measurement errors of comparator on carriage vibrations, Journal of Vibroengineering 11(4): 658–664.