



SUVIRINIMO DEFORMACIJŲ MATAVIMO KOMPIUTERIZUOTAS KOMPLEKSAS

Darius DAČKAUSKAS¹, Nikolaj VIŠNIAKOV²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹d.dackauskas@gmail.com; ²nikolaj.visniakov@vgtu.lt

Santrauka. Sudėtingų ir potencialiai pavojingų pramoninių konstrukcijų gamyboje vienas iš svarbių technologinių procesų tapo suvirinimas. Todėl gamyboje atsirado poreikis matuoti šių konstrukcijų suvirinimo ir liekamąsias deformacijas. Deformacijų kontrolei ir monitoringui plačiai taikomi kontaktiniai ir bekontaktiniai būdai. Vienas iš seniai žinomų patikimų matavimų metodų yra tenzometrinių matavimų naudojant tenzotekstus ir tenzomatavimo stoteles. Šio darbo tikslas – sukonstruoti nebrangią, kompiuterizuotą tenzometrinių matavimų sistemą ir pritaikyti ją metalinių konstrukcijų suvirinimo deformacijoms matuoti.

Reikšminiai žodžiai: tenzotekstas, tenzometrinių kompiuterinis kompleksas, suvirinimo deformacijos.

Įvadas

Šiuolaikinėse pramonės, gamybos ir statybos įmonėse kontroliuojant ir valdant technologinį suvirinimo procesą, tenka matuoti daugelį parametrų. Vienas iš suvirinimo gamybos kokybę apibrėžiančių parametrų yra suvirinimo deformacijų dydis. Dažniausiai tam tikslui yra naudojamos mechaninės ir elektrinės matavimų priemonės (Hilal Muftah, Haris 2011). Elektrinių prietaisų, skirtų deformacijoms matuoti, yra daug. Taip yra todėl, kad praktikoje tenka matuoti ar kontroliuoti labai skirtingų matmenų, savybių ir iš įvairių medžiagų gaminamų konstrukcijų įvairaus dydžio deformacijas. Pramonėje tam tikslui iki šiol plačiai naudojamos labai paprastos ilgio matavimo priemonės. Tačiau nuolat griežtėjant gaminių tikslumo reikalavimams tapo akivaizdūs tokių klasikinių metodų ir taikomų priemonių pagrindiniai trūkumai – mažas matavimo tikslumas, duomenų registracijos sudėtingumas, rezultatų apdorojimo netobulumas. Tačiau naujos matavimo įrangos pirkimą stabdo didelė kaina (Lackner *et al.* 2008). Praktikoje mechaniniai deformacijų indikatoriai gali būti dažnai pakeisti elektronine deformacijų matavimo įranga su kontaktiniais arba bekontaktiniais jutikliais (Ivetić *et al.* 2009). Šiuo atveju duomenims registruoti gali būti sukurti ir pritaikomi įvairūs elektroniniai duomenų registravimo blokai arba kompiuteriai, turintys programinę įrangą (Bielen *et al.* 2002). Tai leidžia modernizuoti seną matavimo įrangą.

Šiame straipsnyje aprašytas suvirinimo deformacijų matavimo kompleksas, kuriame deformacijos matuojamos taikant vieną iš populiariausių suvirinimo konstrukcijų

deformacijų matavimo būdų – matavimą tenzotekstais. Šis kontaktinis matavimo būdas yra priskiriamas tenzometriniams neelektrinių dydžių matavimo metodams. Jis pasirinktas dėl plataus naudojimo galimybių spektro gamyboje. Šį sukonstruotą kompiuterinį duomenų registravimo kompleksą ir bandymų standą galima naudoti suvirintų konstrukcijų deformacijoms ir įtempiams tirti bei mokymo tikslams.

Tenzometrinių matavimo komplekso komponentai

Sukonstruotą tenzometrinių matavimo kompleksą sudaro tokie komponentai:

- *Signalo stiprintuvas, kurio pagrindinis elementas – mikroschema INA 125.* Tai mažo galingumo, aukšto tikslumo matavimo stiprintuvas su tiksliu įtampos stiprinimo reguliavimo mechanizmu. Mikroschema sužadina tiltelį ir teikia diferencialinį stiprinimą ta pačia integruota grandine. Įtampos stiprinimas išoriškai gali būti reguliuojamas parenkant sroves 1,24 V; 2,5 V; 5 V arba 10 V. Tai leidžia naudoti šią mikroschemą daugelio jutiklių signalams stiprinti. Ši mikroschema gali būti taikoma slėgiui, deformacijoms ir temperatūroms matuoti, jutiklių bei tiltelių signalams stiprinti. Ji puikiai tinka įvairiems pramonės procesams kontroliuoti, gamybiniams įrenginiams automatizuoti ir t. t. Ši mikroschema tapo pagrindiniu komponentu surenkant signalo

stiprinimo bloką. Prie sukonstruoto daugiakanalio blokelių vienu metu galima prijungti 4 tenzojutiklius. Gaunamą signalą galima stiprinti pakopomis ($\times 1$, $\times 4$, $\times 16$ ir $\times 64$ kartų).

– *Elektrinių signalų įvadų / išvadų plokštė* – DAD 1011c. Ši plokštė skirta analoginiams signalams ir skaitmeniniams elektriniams signalams įvesti į kompiuterius, taip pat elektriniams signalams generuoti naudojant kompiuterį. Ši kompiuterinė daugiakanalė plokštė buvo sukurta VU Biofizikos laboratorijoje. DAD 1011c naudojama kaip nebrangi alternatyva oscilografams ir matavimų stotelėms. Plokštę sudaro: adreso išrinkimo blokas, formuojantis kiekvieno plokštės įtaiso įjungimo signalą; duomenų buferinis blokas, suderinantis kompiuterio magistralę su vidine plokštės magistrale; valdymo registras, į kurį įrašoma plokštės įtaisų valdymo informacija; būsenų registras, atspindintis laikmačio ir analoginio kodo keitiklio (ADC) darbą; kvarcinis generatorius, formuojantis 2 Mhz dažnio etaloninį signalą, siunčiamą į laikmatį, kurį sudaro trys 16 bitų ilgio skaitikliai; analoginio signalo keitimo į skaitmeninį kodą modulis, sudarytas iš pirmojo ir antrojo analoginio signalo multiplexorių, diferencinio stiprintuvo, valdymo grandinės ir analoginio kodo keitiklio (ADC); skaitmeninio kodo keitiklio modulis, sudaryto iš 8 kanalų multiplexoriaus, valdymo schemas ir dviejų skaitmeninių analoginių keitiklių (DAC), lygiagrečiojo skaitmeninės informacijos įvedimo / išvedimo įtaiso ir pertraukčių formavimo schemas. Signalą taip pat galima stiprinti pakopomis ($\times 1$, $\times 2$, $\times 4$, $\times 8$, $\times 16$, $\times 32$, $\times 64$, $\times 128$, $\times 1024$).

– *Elektrinių signalų įvadų ir išvadų plokštės valdymo, duomenų atspindėjimo ir pradinio apdorojimo kompiuterinė programa*. Virtualaus oscilografo programa susideda iš 4 pagrindinių meniu parinkčių: 1) eksperimento vykdymas; 2) peržiūra ir spausdinimas; 3) eksperimento keitimas; 4) eksperimento pabaiga.

– Eksperimento metu elektrinis signalas analoginio kodo keitikliu yra paverčiamas skaitmeniniu kodu ir šie duomenys įvedami į kompiuterio atmintį, o eksperimento pabaigoje įrašomi į rinkmeną. Duomenų įvedimo į kompiuterį periodiškumą lemia laikmačiu nustatyta laiko intervalo trukmė. Pirmiausia, pradėjus eksperimentą, įvedama laiko intervalų trukmė milisekundėmis, pavyzdžiui, 10. Tada įvedamas įrašymų skaičius, pavyzdžiui, 10 000. Didžiausias intervalų skaičius yra 32 767. Toks parametru užrašymas reiškia, kad duomenys į kompiuterį bus

įrašomi kas 10 ms ir bus įrašoma 10 000 įrašų, t. y. eksperimentas truks 100 s.

– *Tenzojutikliai ir tiltelio schema*. Panaudoti standartiniai vieliniai tenzojutikliai 2ПКБ-10-200ХА. Šių tenzojutiklių pagrindiniai parametrai pateikti 1 lentelėje.

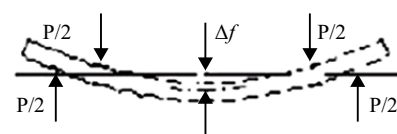
1 lentelė. Pagrindiniai 2ПКБ-10-200ХА tenzojutiklių parametrai
Table 1. The main parameters of tensosensors 2ПКБ-10-200ХА

Parametras	Dydis ir dimensija
Nominali varža	200 Ω
Maksimali deformacija	$\pm 3000 \cdot 10^{-6}$ $\mu\text{m}/\text{m}$
Tenzojautrumas (S)	2,23
Srovė (I)	>14 mA
Darbo temperatūra	nuo -40 iki $+50$ $^{\circ}\text{C}$
Bazės ilgis (L)	9 mm

Du tenzojutikliai jungiami į $\frac{1}{4}$ tiltelio schemą. Vienas iš jų skirtas tiriamam dydžiui matuoti, o kitas nėra veikiamas matuojamojo dydžio, bet dedamas toje pačioje aplinkoje (kuo arčiau registruojančio jutiklio, bet neveikiamoje apkrovų srityje). Jis kompensuoja temperatūros sukeltus jautriojo elemento charakteristikų svyravimus. Vietoj dviejų nekintamų varžų tiltelyje naudojami du potenciometrai 400 Ω , kad būtų galima tiksliau subalansuoti kiekvieną tiltelį.

Tenzojutiklių taravimo metodika

Tenzojutiklio taravimas atliktas ant specialaus taravimo stendo siekiant išvengti tenzojutiklių metrologinių charakteristikų skirtumo. Šis stendas buvo susietas su kompiuterine daugiakanale tenzometrinių matavimų sistema. Abu šie komponentai sudarė taravimo kompleksą (1 pav.).



1 pav. Specialaus taravimo stendo schema
Fig. 1. Scheme for a calibration workbench

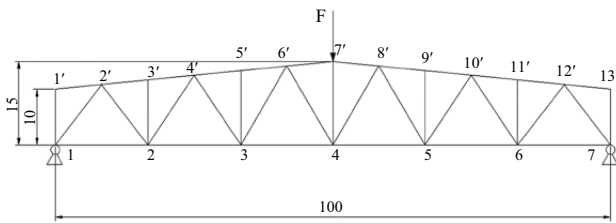
Šiuo atveju tenzojutikliui taruoti yra naudojamas tam specialiai skirtas įrenginys. Tenzojutiklio jautrumo koeficientas ir jo deformacija priklijavimo vietoje susieti su lenkiamos sijos įlinkiu tokią priklausomybę:

$$\varepsilon = \frac{4 \times (h + 2 + \Delta h) \times f}{L^2 + 4 \times f^2 + 4 \times f \times h}$$

čia: ε – deformacija; h – sijos storis, mm; Δh – atstumas nuo sijos paviršiaus iki tenzojutiklio vidurio, mm (nagrinėjami šiuo atveju lygūs 0); f – sijos įlinkis ilgio ruože L , mm; L – sijos ilgis tarp atramų, mm (Berezin, Rikhter 2005).

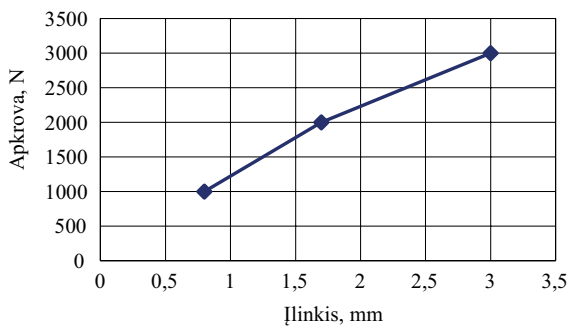
Suvirintosios konstrukcijos deformacijų matavimo standas

Eksperimentuose buvo panaudotas specialiai sukonstruotas suvirintosios santvaros apkrovimo ir deformacijų matavimo standas (2 pav.). Apatinės juostos įlinkis nuo apkrovimo jėgos kinta pagal tiesinę priklausomybę (3 pav.). Matavimai atlikti esant trimis skirtingoms apkrovos reikšmėms: 1000 N, 2000 N ir 3000 N.



2 pav. Suvirintosios santvaros deformacijų matavimų standas

Fig. 2. A workbench for measuring welding truss deformations

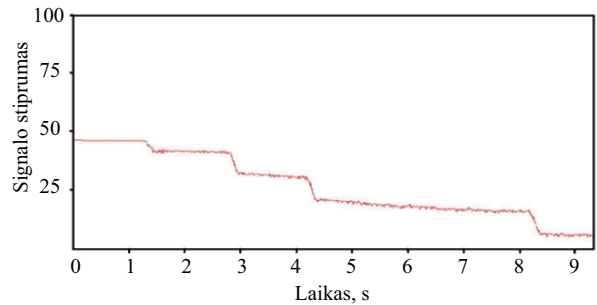


3 pav. Apatinės juostos įlinkio priklausomybė nuo jėgos

Fig. 3. The dependence of bottom chord deflection on load

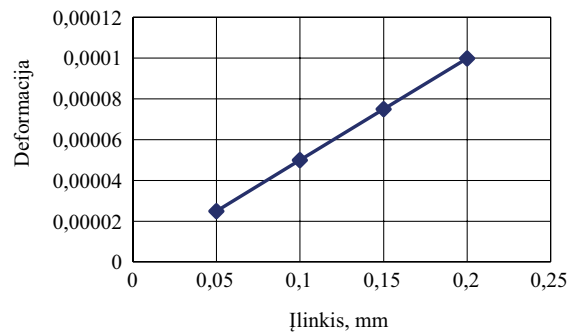
Tenzojutiklio taravimo rezultatai

Tenzojutikliai buvo taruojami ant specialaus stendo. Taruojant tenzojutiklius plokštės stiprinimas buvo lygus 64 kartams. Elektrinių signalų vaizdavimo kompiuteryje programoje buvo pasirinkta laiko intervalų trukmė 10 milisekundžių, įrašymų skaičius lygus 10 000. Duomenys į kompiuterį buvo įrašomi kas 10 ms ir buvo įrašoma 10 000 įrašų, o eksperimentas truko 100 s. Vėliau buvo analogiškai taruojama pasirenkant skirtingą kanalo stiprinimą ($\times 8$, 16 ir 32 kartų). Registruotas signalas ir deformacijų priklausomybė nuo įlinkio, esant programos stiprinimui $\times 8$, pateikti 4 ir 5 pav.



4 pav. Kompiuterio ekrane matomo signalo grafikas, kai stiprinimas $\times 8$

Fig. 4. A signal graph in a computer monitor under amplification $\times 8$

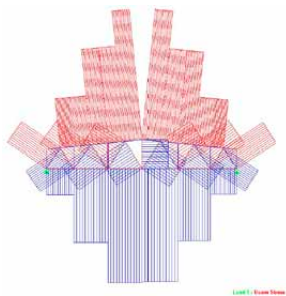


5 pav. Juostos deformacijų priklausomybė nuo įlinkio, kai stiprinimas $\times 8$

Fig. 5. The dependence of strip deflection on deformation under amplification $\times 8$

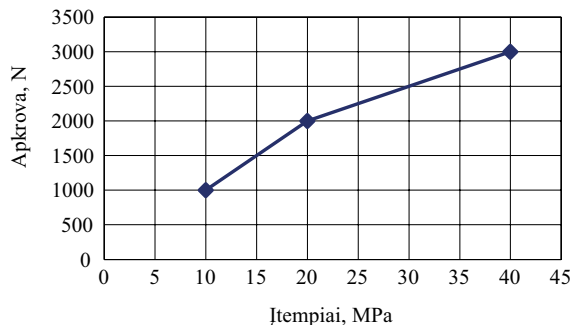
Suvirintosios santvaros deformacijų modeliavimo rezultatai

Santvaros normaliniams įtempiams modeliuoti taikyta statybinių konstrukcijų skaičiavimo ir projektavimo programa „STAAD.Pro“. Santvaros atskirų elementų normaliniai įtempiai skaičiuoti esant apkrovoms 1000 N, 2000 N ir 3000 N. Plieno tamprumo modulis – 210 MPa. Rezultatai pateikti 6–8 pav.

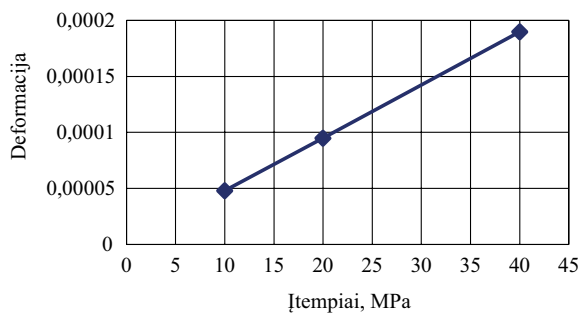


Elementas	Gniuždymas, MPa	Tempimas, MPa
Maksimali reikšmė apatinėje juostoje		
34		39,916
Maksimali reikšmė viršutinėje juostoje		
6'7'	-45,886	
Maksimali reikšmė spyriuose		
612'		14,440
12'7	-16,464	
Maksimali reikšmė statramsčiuose		
7'4		9,008

6 pav. Įtempių pasiskirstymas, kai apkrova 3000 N
Fig. 6. Distribution of stresses under a load of 3000 N



7 pav. Įtempių priklausomybė nuo apkrovos
Fig. 7. The dependence of stresses on load



8 pav. Deformacijos priklausomybė nuo apkrovos
Fig. 8. The dependence of deformation on load

Suvirintosios santvaros deformacijų matavimų rezultatai

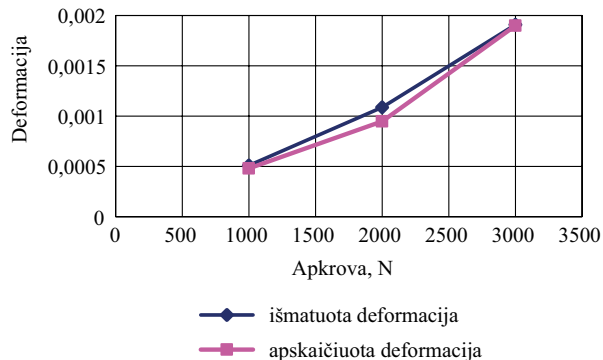
Suvirintosios santvaros elementų deformacijos buvo matuojamos analogiškais sąlygomis kaip ir taravimas. Plokštės stiprinimas buvo lygus 64 kartams. Elektrinių signalų vaizdavimo kompiuteryje programoje buvo pasirinkta laiko intervalų trukmė 10 milisekundžių. Įrašymų skaičius – 10 000. Duomenys į kompiuterį, kaip ir taruojant, buvo įrašomi kas 10 ms ir buvo padaroma 10 000 įrašų, o eksperimentas truko 100 s. Tačiau, skirtingai nei taruojant, buvo pasirinktas kanalo stiprinimas $\times 32$. Remiantis tenzojutiklių taravimo rezultatais tokiomis sąlygomis signalo padalos vertė lygi $1,675 \cdot 10^{-6}$. Gauti

tenzometrinio matavimo metu ir apskaičiuoti rezultatai vidutiniškai skiriasi 6,5 % (3 lentelė). Esant didesnėms apkrovoms šis skirtumas neviršija 4 % (2 lentelė ir 9 pav.).

2 lentelė. Išmatuota suvirintosios santvaros deformacija, esant skirtingoms apkrovoms

Table 2. Deformation of welded truss applying different loads

Apkrova, N	Matavimo padalų pokytis	Deformacija
1000	30	0,000051
2000	65	0,000109
3000	114	0,000191



9 pav. Apskaičiuotos ir išmatuotos deformacijos priklausomybė nuo apkrovos

Fig. 9. A comparison of the calculated and measured values of deformation

3 lentelė. Deformacijų matavimo rezultatų palyginimas

Table 3. A comparison of calculated and measured values

Apkrova, N	Išmatuota deformacija 16 mm	Apskaičiuota deformacija	Rezultatų skirtumas
1000	0,000051	0,000048	6 %
2000	0,000109	0,000095	13 %
3000	0,000191	0,000190	0,6 %

Išvados

Sukonstruotas nesudėtingas ir gana tikslus tenzometrinis matavimų kompiuterinis kompleksas, panaudojant paprastus elektroninius komponentus: signalo stiprintuvą mikroschemos INA125 pagrindu; elektrinių signalų įvadų / išvadų plokštę, tenzojutiklius ir $\frac{1}{4}$ tiltelio schemą. Matematiškai apskaičiuotų ir išmatuotų tenzometrinio būdu deformacijų rezultatai vidutiniškai skiriasi 6,5 %.

Padėka

Mašinių gamybos katedros lektoriui Algiiui Daktariūnui už pagalbą konstruojant matavimų kompleksą.

Literatūra

- Berezin, I. Ya.; Rikhter, E. E. 2005. *Eksperimental'nye metody issledovaniy*. Uchebnoe posobie. Chelyabinsk: YuUrGU. 83 s.
- Bielen, P.; Lossie, M.; Vandepitte, D. 2002. A low cost wireless multi-channel measurement system for strain gauges, in *Proceedings of ISMA 2002*, 16–18 September 2002, Leuven, Belgium 2: 663–670.
- Hilal Muftah, M.; Haris, S. M. 2011. A strain gauge based system for measuring dynamic loading on a rotating shaft, *International Journal of Mechanics* 1(5): 19–26.
- Ivetic, G.; Lanciotti, A.; Polese, C. 2009. Electric strain gauge measurement of residual stress in welded panels, *The Journal of Strain Analysis for Engineering Design* 44(1): 117–126. <http://dx.doi.org/10.1243/03093247JSA456>
- Lackner, F.; Riegler, W.; Herbert Osanna, P.; Numan Durakbasa, M. 2008. High precision strain gauge based sensor for monitoring suspension forces at CERN, *Measurement Science Review* 8(2): 46–49. <http://dx.doi.org/10.2478/v10048-008-0012-0>

COMPUTER-BASED MEASUREMENT KIT FOR WELDING DEFORMATIONS

D. Dačkauskas, N. Višniakov

Abstract

Nowadays, complex and potentially dangerous structures are usually welded. Manufacturers need to measure welding deformations and residual stresses. Tensometric stations are widely used for control and monitoring of such deformations and stresses. The article discusses a low-cost computer-aided measurement system.

Keywords: tensosensor, tensometric computer-aided kit, welding deformations.