



TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ - 2007

Jaunųjų mokslininkų ir studentų konferencijos

PRANEŠIMŲ MEDŽIAGA

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Panevėžio institutas

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI ŠIANDIEN IR RYTOJ - 2007

Jaunųjų mokslininkų ir studentų konferencijos

PRANEŠIMŲ MEDŽIAGA

Kauno technologijos universitetas, Lietuva
2007 gegužės 24 d.

Kaunas *TECHNOLOGIJA* 2007

Konferenciją organizuoja Kauno technologijos universitetas
Panevėžio institutas.

ORGANIZACINIS KOMITETAS

Pirmininkas: prof. habil. dr. Algis Bražėnas

Mokslinis sekretorius: doc. dr. Dainius Vaičiulis

Nariai:
prof. habil. dr. Jonas Bareišis
prof. dr. Vytautas Kleiza
dr. Lina Šumskienė
doc. dr. Darius Viržonis
doktor. Tomas Jukna
studentas Mantas Juška

Leidinio leidimą parėmė Panevėžio miesto savivaldybės mokslo ir
studijų fondas.

IŽANGA

2007 m. gegužės 24 d. KTU Panevėžio instituto Technologijų fakultete vyko SMD konferencija „Technologijos mokslai šiandien ir rytoj – 2007“.

Konferencijos tikslai:

- propaguoti studentų mokslinę veiklą;
- išmokyti ruošti mokslinius straipsnius bei formuluoti išvadas;
- supažindinti studentus su atliekamų mokslinių tyrimų rezultatais.

Konferencijoje pranešimus skaitė PMM-5, PMM-6 ir PME-6 grupių magistrantai bei PM-5 grupės bakalai. Pranešimuose buvo pateikti mokslinių tiriamųjų darbų, atliekamų aktualia tematika, rezultatai: kompozicinių konstrukcijų stiprumo ir optimizavimo, mechanškai nevienalyčių suvirintųjų jungčių įtempimų ir deformacijų nustatymo, automatizuoto projektavimo, transporto priemonių tyrimo, plonų sluoksnių vakuuminės gamybos technologijos ir procesų parametrų tyrimo ir valdymo klausimais.

Tikimės, kad jaunųjų mokslininkų ir studentų konferencijos „Technologijos mokslai šiandien ir rytoj – 2007“ pranešimų medžiaga Jums bus įdomi ir naudinga.

Labai dėkingi Panevėžio miesto savivaldybei už suteiktą finansinę paramą, skirtą konferencijai organizuoti ir leidiniui išleisti.

Darbai nebuvo recenzuoti. Rengėjai pranešimų korektūros neatliko.

prof. habil. dr. Algis Bražėnas
doc. dr. Dainius Vaičiulis

TURINYS

Tilindis J. Dvisluoksnės kolonos optimizavimas	7
Maskvytytė R. Tiesiadančių krumpliartinių drožtuvų automatizuotas projektavimas	13
Juška M. Apvalaus skerspjūvio mechanškai nevienalyčių sukamų suvirintųjų sujungimų įtempimų ir deformacijų būvio tyrimas	19
Švežikas T. Rolango ritinėlių stiprumo ir standumo tyrimas esant statiniam ir cikliniam skersiniam lenkimui	24
Jaškūnas Ž. Įtempimų deformacijų būvio priklausomybė nuo santykinio siūlės aukščio suvirintame vamzdyje su išilgine minkšta siūle	30
Kundelis T. Tempiamų lenkiamų sluoksniuotų konstrukcinių elementų stiprumo tyrimas	34
Nosovienė A. Hibridinės pavaros	38
Revotas D. Rėminių konstrukcijų stiprumas ir standumas	42
Katuškevičius V. Eismo įvykio vietų eksperimentiniai tyrimai	48
Balodis J. Apvalių sluoksniuotų kompozicinių strypų optimizacija	51
Palavenis G. Elektromechaninių pavarų modeliavimo sistemos sukūrimas	55
Urbonavičiūtė M. Kuprojimo peilių automatizuoto projektavimo metodika	60
Domaševičius D. Nesimetrinių mechanškai nevienalyčių suvirintųjų jungčių įtempimų ir deformacijos skaičiavimo metodika	64
Satrapas V. Automatizuotų sistemų taikymas nestandartinių reduktorių projektavime	67
Gindvilas D. Vidinių pratrauktuvų automatizuoto projektavimo metodika	72
Norkutė K. Kvadratinio skerspjūvio sluoksniuotų konstrukcinių elementų optimizacijos uždavinio formulavimas	76

Petravičius M. Gaminio gamybos išlaidų mažinimas naudojant racionalių gamybos proceso rodiklius	81
Pieškus A., Bazaras Ž. Logistikinių ūkio sandėlių mechanizavimas.....	85
Ručinskas M. Automobilių susidūrimų mechanizmas su nejudančiomis kliūtimis ir pėsčiaisiais	90
Vaitekūnas H. Dviraičių transporto priemonių analizė	94
Breimelis P. Apšvietimo ir ryšio atramų skaičiavimai ir analizė	100
Partaukas N. Dvisluoksnių strypų skaičiavimo metodikų paklaidos.....	105
Bosaitė L. Vakuuminės sistemos elektrodinaminių procesų tyrimas ir panaudojimas valdyje	111
Skindzerienė S. Mikroskopinių vaizdų analizės ir klasifikavimo automatizavimas.....	116
Andrejūnaitė D. Plonų silicio ir jo junginių plėvelių įtempių matavimo automatizavimas.....	120
Jasiūnas M. Garintuvo temperatūros dinaminių procesų tyrimas	124
Chreptavičius V. Augančių kondensatų elektrinių reikšmių ir jų panaudojimo valdyje tyrimas	127
Urlakis T. Paviršinio mikromontavimo technologijos tyrimas	133

DVISLUOKSNĖS KOLONOS OPTIMIZAVIMAS

J. Tilindis

Kauno technologijos universitetas Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: daugiasluoksnis konstrukcinis elementas, gniuždymas, optimizavimas.

1. Įvadas

Tegul turime konstrukcinį elementą (KE), sudarytą iš dviejų sluoksnių, kurių išoriniai paviršiai yra cilindriniai, o tų paviršių sudaromosios statmenos pagrindui [1]. Žinant KE sudarančių medžiagų tamprumo modulius E_1 ir E_2 , maksimalų galimą skerspjūvio plotą A_0 (čia $A_0 = A_1 + A_2$, o A_1 ir A_2 atitinkamų medžiagų skerspjūvių plotai), maksimalią leistiną antrosios medžiagos dalį p (procentais) skerspjūvyje, bei kiekvienos medžiagų savitąsias kainas k_1 ir k_2 , ieškosime konstrukcinio elemento kainos minimumo, esant patenkintoms duotoms standumo ir stiprumo sąlygoms. Dėl apibrėžtumo, tirsime tokias medžiagas, kurių pirmosios tamprumo modulis yra mažesnis už antrosios, tačiau ji pigesnė - $k_1 > k_2$. Jei tiriamas tik ašinio gniuždymo uždavinys [2], tai jo sprendinys nepriklauso nuo sluoksnių išsidėstymo kolonos skerspjūvyje, t. y. skerspjūviai **a** ir **b** (1 pav.) yra ekvivalentūs.

Šio darbo tikslas nustatyti KE kainos minimumą, esant patenkintoms stiprumo ir standumo sąlygoms, naudojant daugiasluoksnio strypo standumo ir stiprumo išraiškas gautas darbuose [1, 2].

2. Kainos funkcija ir leistinoji sritis

Kainos $K(A_1, A_2) = A_1 k_1 + A_2 k_2$ globalaus minimumo radimas suvedamas į tokį tiesinio programavimo uždavinį, rasti tokius A_1^*, A_2^* , kad:

$$K(A_1^*, A_2^*) = \min_{A_1, A_2} K(A_1, A_2), \quad (1)$$

esant apribojimams kintamiesiems A_1, A_2 , t.y.: maksimaliajam leistinam plotui

$$A_1 + A_2 \leq A_0, \quad (2)$$

maksimaliems leistiniams įtempiams sluoksniuose [2]

$$\frac{E_1 F}{A_1 E_1 + A_2 E_2} \leq \sigma_{1adm}, \quad \frac{E_2 F}{A_1 E_1 + A_2 E_2} \leq \sigma_{2adm}, \quad (3)$$

minimaliam leistinam standumui

$$A_1 E_1 + A_2 E_2 \geq B_0, \quad (4)$$

maksimaliai leistinai antrosios medžiagos skerspjūvio ploto daliai procentais

$$\frac{100 A_2}{A_1 + A_2} \leq p, \quad (5)$$

be to, apribojimui, kad konstrukcija būtų sudaryta iš dviejų sluoksnių

$$A_1 > 0, A_2 > 0. \quad (6)$$

3. Globalaus sąlyginio minimumo egzistavimo pakankama sąlyga

Nustatėme, kad nelygybės:

$$\max \left[\frac{E_1 F}{\sigma_{1adm} E_p}, \frac{E_2 F}{\sigma_{2adm} E_p}, \frac{B_0}{E_p} \right] < A_0 < \max \left[\frac{F}{\sigma_{1adm}}, \frac{E_2 F}{\sigma_{2adm}}, \frac{B_0}{E_1} \right], \quad (7)$$

čia

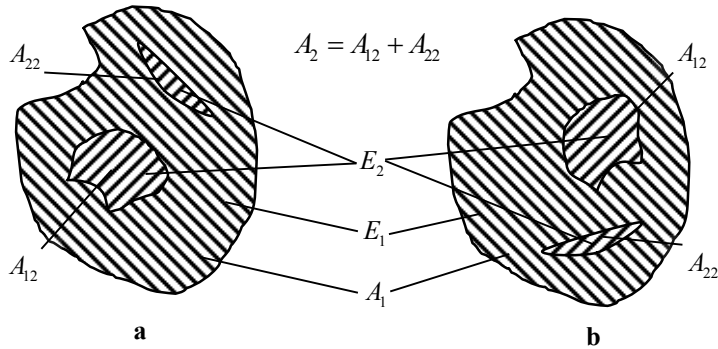
$$E_p = \frac{(100 - p) E_1 + p E_2}{100} \quad (8)$$

yra pakankama sąlyginio minimumo (1) egzistavimo sąlyga.

4. Skaičiavimo algoritmas

Atsižvelgiant į apribojimus (2) - (6), nustatome leistiną plotų A_1 ir A_2 kitimo sritį, todėl koordinačių sistemoje $\{A_1, A_2\}$ brėžiame atitinkamas tieses:

$$A_2 = f_A(A_1), \quad f_A(A_1) = A_0 - A_1 \quad (9)$$



1 pav. Dvisluoksnės kolonos skerspjūvis

nes tai funkcijos $F_A(A_1, A_2) = A_1 + A_2$ izolinijos, ant kurios plotas lygus maksimaliai leistinam, lygtis;

$$A_2 = f_B(A_1), \quad A_2 = -\frac{E_1}{E_2} A_1 + \frac{B_0}{E_2}, \quad (10)$$

nes tai funkcijos $F_B(A_1, A_2) = A_1 E_1 + A_2 E_2$ izolinijos, ant kurios standumas lygus minimaliai leistinam, lygtis;

$$A_2 = f_p(A_1), \quad f_p(A_1) = \frac{p}{100-p} A_1, \quad (11)$$

nes tai funkcijos $F_p(A_1, A_2) = 100 \frac{A_2}{A_1 + A_2}$ izolinija, ant kurios antros medžiagos skerspjūvio dalis (%) lygi leistinai;

$$A_2 = f_{\sigma_1}(A_1), \quad f_{\sigma_1}(A_1) = -\frac{E_1}{E_2} A_1 + \frac{E_1 F}{\sigma_{1adm} E_2}, \quad (12)$$

$$A_2 = f_{\sigma_2}(A_1), \quad f_{\sigma_2}(A_1) = -\frac{E_1}{E_2} A_1 + \frac{F}{\sigma_{2adm}}, \quad (13)$$

nes tai funkcijų $F_{\sigma_1}(A_1, A_2) = \frac{E_1 F}{A_1 E_1 + A_2 E_2}$ ir $F_{\sigma_2}(A_1, A_2) = \frac{E_2 F}{A_1 E_1 + A_2 E_2}$ izolinių ant kurių įtempimai lygūs maksimaliai leistiniems, lygtys.

Jei patenkinta sąlyga (7), tiesės $f_A(A_1)$, $f_p(A_1)$ ir $f_B(A_1)$ arba $f_{\sigma_1}(A_1)$ arba $f_{\sigma_2}(A_1)$ sudarys trikampį MNP (Pav. 2), kuris ir yra leistina plotų kitimo sritis, o jo viršūnių koordinatės:

$$M_x = \begin{cases} \max\left(\frac{E_1}{\sigma_{1adm}}, \frac{E_2}{\sigma_{2adm}}\right) \cdot \frac{(100-p)F}{100E_p}, & \text{jei } B_0 \leq \max\left(\frac{E_1 F}{\sigma_{1adm}}, \frac{E_2 F}{\sigma_{2adm}}\right) \\ \frac{B_0(100-p)}{(100-p)E_1 + pE_2}, & \text{jei } B_0 > \max\left(\frac{E_1 F}{\sigma_{1adm}}, \frac{E_2 F}{\sigma_{2adm}}\right) \end{cases}, \quad (14)$$

$$M_y = M_x \frac{p}{100-p}; \quad (15)$$

$$N_x = \begin{cases} \frac{1}{E_2 - E} \left(A_0 E_2 - \max\left(\frac{E_1 F}{\sigma_{1adm}}, \frac{E_2 F}{\sigma_{2adm}}\right) \right), & \text{jei } B_0 \leq \max\left(\frac{E_1 F}{\sigma_{1adm}}, \frac{E_2 F}{\sigma_{2adm}}\right) \\ \frac{B_0 - A_0 E_2}{E_1 - E_2}, & \text{jei } B_0 > \max\left(\frac{E_1 F}{\sigma_{1adm}}, \frac{E_2 F}{\sigma_{2adm}}\right) \end{cases}, \quad (16)$$

$$N_y = A_0 - N_x; \quad (17)$$

$$P_x = A_0 \frac{(100-p)}{100}, \quad (18)$$

$$P_y = A_0 \frac{p}{100}. \quad (19)$$

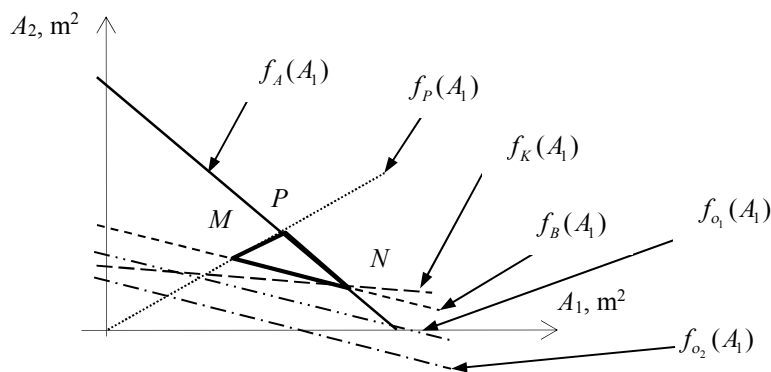
Remiantis teiginiu [3], kad jei tiesinio programavimo uždavinio leistinoji sritis yra iškila aibė (kiekvienas trikampis yra iškila aibė) tai globalusis minimumas būtinai pasiekiamas tos aibės kraštiniame taške (trikampio atveju – vienoje iš jo viršūnių), todėl turime

$$K(A_1^*, A_2^*) = \min \left(K(M_x, M_y), K(N_x, N_y), K(P_x, P_y) \right),$$

Iš čia nustatomi: pirmosios ir antrosios medžiagų skerspjūvių plotai A_1^* ir A_2^* minimizuojantys kainą:

$$\arg \min_{A_1, A_2} K(A_1, A_2) = [A_1^*, A_2^*].$$

Nustačius taško, kuriame pasiekiamas minimumas koordinatas, per jį brėžiama kainos izolinija $f_k(A_1) = -k_1(A_1 - A_1^*)/k_2 + A_2^*$, kuri kirsdama trikampio



2 pav. Leistinos srities grafinis vaizdas

viršūnę su koordinatėmis A_1^* ir A_2^* , nekerta pastarojo. Pastebėsime, kad kainos didėjimo kryptis aukštyn, statmenai tiesei f_k .

5. Skaičiavimo pavyzdys

Tegul reikia nustatyti optimalų plieno ir betono santykį 1 m aukščio armuotoje kolonoje. Maksimalus leistinas kolonos skerspjūvio plotas 121 cm^2 , koloną veikianti centrinio gniuždymo jėga 500 kN , maksimali leistina plieno dalis skerspjūvyje 6% . Minimalus leistinas kolonos standumas $4 \cdot 10^8 \text{ Pa m}^2$.

Naudojamų medžiagų mechaniniai parametrai bei pastarųjų kainos pateiktos lentelėje 1.

1 lentelė. Pasirinktos betono ir plieno charakteristikos [4], [5].

Medžiaga	Tamprumo modulis E , GPa	Leistinieji įtempiai σ_{adm} , MPa	Specifinė kaina k , Lt/m ³
Betonas	30	40	300 arba 3000
Plienas	210	250	15000

Skaičiavimo rezultatai pateikti Pav. 3. Patikrinant sąlygą (7), turime:

$$\max \left[\frac{E_1 F}{\sigma_{1adm} E_p}, \frac{E_2 F}{\sigma_{2adm} E_p}, \frac{B_0}{E_p} \right] = 103, \quad A_0 = 121, \quad \max \left[\frac{F}{\sigma_{1adm}}, \frac{E_2 F}{\sigma_{2adm}}, \frac{B_0}{E_1} \right] = 140,$$

t.y. pakankama sąlyga, tenkinama.

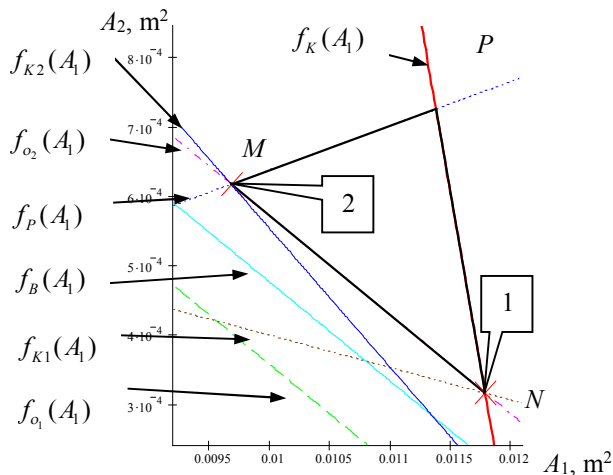
Pagal (12) - (17) nustatome leistinos srities (trikampio MNP) viršūnių koordinates:

$$M_x = 97, \quad M_y = 6, \quad N_x = 118, \quad N_y = 3, \quad P_x = 114, \quad P_y = 7$$

ir kainas. Kai $k_1 = 300$, o $k_2 = 15000$, turime

$$K(M_x, M_y) = 12.17, \quad K(N_x, N_y) = 8.28, \quad K(P_x, P_y) = 14.30.$$

Todėl minimumas randasi viršūnėje N (taškas 1, Pav. 3) bei to $A_1^* = 118 \text{ cm}^2$, $A_2^* = 3 \text{ cm}^2$. Kaina globalaus minimumo taške lygi $K(A_1^*, A_2^*) = 8.28$.



Pav. 3. Globalieji minimumai kai plieno kaina $k_2 = 15000 \text{ Lt/m}^3$: 1 – kai betono kaina $k_1 = 300 \text{ Lt/m}^3$; 2 – kai betono kaina $k_1 = 3000 \text{ Lt/m}^3$

Jei $k_1 = 3000$, o $k_2 = 15000$, turime

$$K(M_x, M_y) = 38.29, \quad K(N_x, N_y) = 40.10, \quad K(P_x, P_y) = 45.01.$$

Todėl minimumas randasi viršūnėje M (taškas 2, Pav. 3), o $A_1^* = 97 \text{ cm}^2$, $A_1^* = 6 \text{ cm}^2$. Kaina globalaus minimumo taške lygi $K(A_1^*, A_2^*) = 38.29$.

6. Išvados

1. Pasiūlytas ir pagrįstas tiesinio programavimo metodas dvisluoksnio strypo optimizavimui.
2. Nustatyta pakankama konstrukcinio elemento kainos globalinio minimumo egzistavimo sąlyga.
3. Pateiktas kainos globalinio minimumo skaičiavimo algoritmas.
4. Atlikti skaičiavimai plienų armuotos betoninės kolonos atveju.

Literatūra

1. **J. Bareišis, V. Kleiza.** Calculation of stretched multilayer bars under elastic and plastoelastic deformation // Proceedings of international conference Mechanika-2001. Kaunas: KTU, Technologija, 2001. p. 254-259.
2. **V. Kleiza.** Tampriai plastinio uždavinio sprendimas komutuojančių matricų erdvėje // Lietuvos matematikos rinkinys. ISSN: 0132-2818. Vilnius: TEV, 2001, nr. spec. nr. (41), p. 511-516.
3. **A. Apynis.** Optimizavimo metodai // Vilniaus universiteto leidykla. ISBN 9986-19-828-3. 2005. 200 p.
4. Young's modulus cost // http://www-materials.eng.cam.ac.uk/mpsite/interactive_charts/stiffness-cost/NS6Chart.html.
5. Elastic Properties of Selected Engineering Materials // <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/permot3.html>

TIESIADANČIŲ KRUMPLIARATINIŲ DROŽTUVŲ AUTOMATIZUOTAS PROJEKTAVIMAS

R. Maskvytytė

Kauno technologijos universitetas Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: krumpliaračių drožtuvai, automatizuotas projektavimas.

1. Įvadas

Tobulėjant projektavimo ir gamybos priemonėms, taikomi vis naujesni būdai įrankiams projektuoti. Automatizuotam įrankių projektavimui naudojami programiniai paketai, juos valdančios programos ir kompiuteriai. Automatizuotas projektavimas paspartina tipiškų projektų sudarymą, išlaisvina vartotoją nuo nuobodžių skaičiavimų ir sumažina klaidų atsiradimo tikimybę.

Projektavimas atliekamas panaudojus AutoCAD 2006 programinį paketą, kuris yra vienas iš galingiausių automatizuoto braižymo ir projektavimo sistemų. Jos valdymui panaudota Visual Basic kalba parašyta programa. Ji turi apskaičiuoti ir parinkti krumpliaračių drožtuvo konstrukcinius parametrus, valdyti AutoCAD 2006 programą, kuri nubraižytų krumpliaračių drožtuvo brėžinį.

Darbo tikslas. Sukurti automatizuotą krumpliaračių drožtuvų projektavimo programą. Ją sudarant reikia išspręsti šiuos krumpliaračių drožtuvo projektavimo uždavinius: nustatyti krumpliaračių drožtuvo konstravimo sąlygas ir sudaryti algoritmą; parašyti programą, braižančią krumpliaračių drožtuvo darbo brėžinį.

Darbo naujumas. Darbe gauti rezultatai: sudarytas algoritmas automatizuotam krumpliaračių drožtuvo projektavimui; parašyta programa, apskaičiuojanti ir nubraižanti krumpliaračių drožtuvo darbo brėžinį.

Praktinis pritaikymas. Programa galės būti panaudota projektuojant krumpliaračių drožtuvus ir užtikrins optimalios įrankio konstrukcijos parinkimą esant mažiausioms darbo ir laiko sąnaudoms. Šie rezultatai taip pat bus naudingi mokant mechaninių specialybių bakalaurus ir magistrantus, gilinant jų žinias automatizuoto projektavimo bei krumpliaračių drožtuvų projektavimo srityse.

2. Krumpliaračių drožtuvų paskirtis, tipai, konstrukciniai ir geometriniai elementai

Drožtuvais apdirbami tiesiakrumpliai, įstrižakrumpliai ir ševroniniai cilindriniai krumpliaračiai ir krumpliaračių blokai bei vidinio susikabinimo krumpliaračiai.

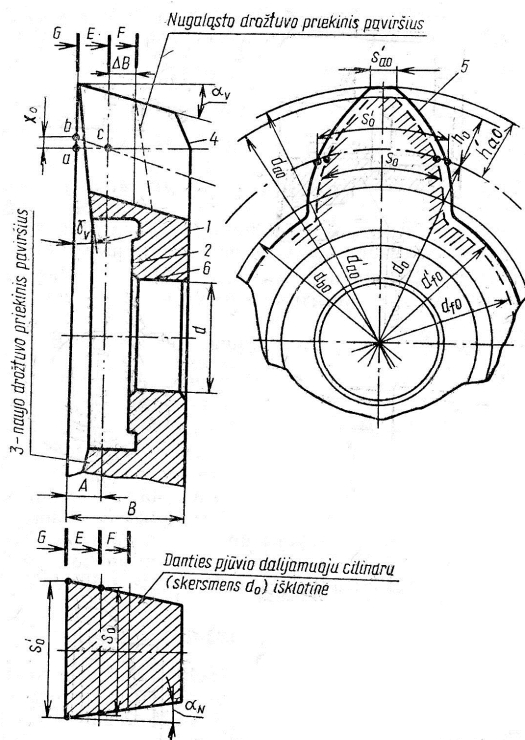
Pagal konstrukciją krumpliaračių drožtuvai skirstomi į diskinius, puodinius ir kotinius drožtuvus. Darbe bus projektuojami diskiniai ir puodiniai drožtuvai. Drožtuvai dažniausiai gaminami iš greitapjovio plieno [1].

Krumpliaračių drožtuvo schema pateikta 1 pav.

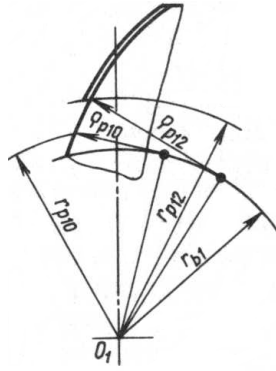
Pradinis pjūvio atstumas nuo galinio paviršiaus ir leistino viršūnės danties storio S'_{ao}

$$A_1 = \frac{0,5(S_{ao} - S'_{ao}) \cdot d_{ao}}{(d_{ao} \cdot \operatorname{tg} \alpha_v - S_{ao}) \cdot \operatorname{tg} \alpha_v - \frac{d_{ao}^2}{d_o} \cdot \operatorname{tg} \alpha_N}; \quad (1)$$

čia ' - dydžiai galiniame pjūvyje.



1 pav. Krumpliaračių drožtuvo schema



2 pav. Krumpliaračių drožtuvo danties schema

Šoninis užpakalinis kampas $\text{tg} \alpha_N = \text{tg} \alpha_v \cdot \text{tg} \alpha_0$.

Dantų viršūnės storis pradiniam pjūvyje

$$S_{ao} = d_{ao} \cdot \left(\frac{S_0}{d_0} + \text{inv} \alpha_0 - \text{inv} \alpha_{ao} \right); \quad (2)$$

čia α_{wo} – kabinimosi kampas, lygus $20^\circ 10' 14''$, α_{ao} – evolventės slėgio kampas ties danties viršūne. Involutės $\text{inv} \alpha_0 = \text{tg} \alpha_0 - \alpha_0$; $\text{inv} \alpha_{ao} = \text{tg} \alpha_{ao} - \alpha_{ao}$ [4].

Danties viršūnės storis galiniame pjūvyje

$$S'_{ao} \approx 0,51 \cdot \sqrt{m_0}; \quad (3)$$

Patikriname krumpliaračio z_1 kamieno nepažeidimo sąlygą (2pav.).

$$\rho_l = \alpha_{w10} \cdot \sin \alpha_{10} - 0,5 \cdot d'_{ao} \cdot \sin \alpha'_{ao} > 0; \quad (4)$$

čia α_{10} – profiliavimo kampas įpjauant krumpliaratį drožtuvu; α_{w10} – tarpcentrinis atstumas įpjauant krumpliaratį z_1 .

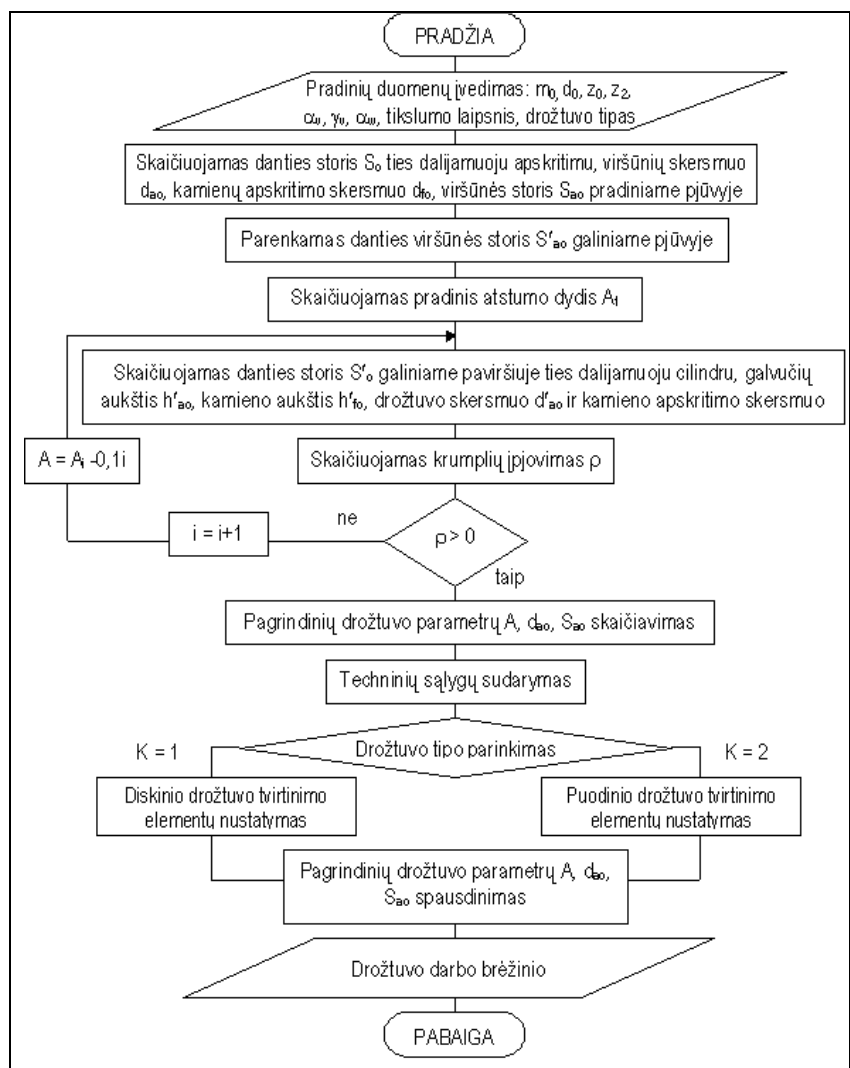
$$\sin \alpha'_{ao} = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha'_{ao}} = \sqrt{1 - \left(\frac{d'_0}{d'_{ao}} \cdot \cos \alpha_0 \right)^2}; \quad (5)$$

Jeigu (4) sąlyga netenkinama, mažiname $A = A_i - 0,1$ i, skaičiavimas atliekamas iš naujo ir tęsiamas tol, kol bus tenkinama ši sąlyga.

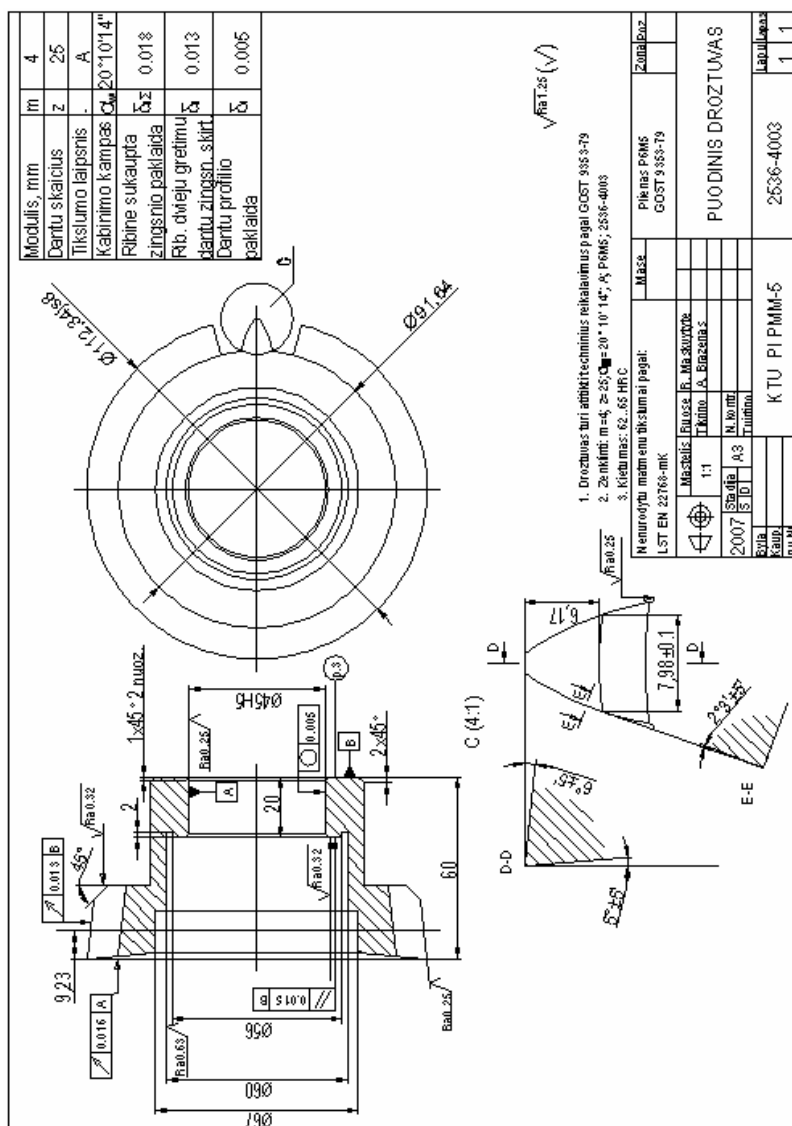
3. Automatizuotas krumpliaračių drožtuvų projektavimas

Remiantis 2 skyriuje pateiktomis krumpliaračių drožtuvų konstrukcinių ir geometrinių elementų išraiškomis yra sudaromas algoritmas, kurio schema pateikta 3 pav.

Drožtuvų automatizuotam projektavimui Visual Basic kalba parašoma programa, kurios paleidimui naudojamas pradinio duomenų įvedimo dialogo langas, o galutiniame rezultate nubraižomas krumpliaračių drožtuvo darbo brėžinys (4 pav.).



3 pav. Krumpliaračių drožtuvo algoritmo schema



4 pav. Krumpliaračių drožtuvo darbo brėžinys

4. Išvados

1. Programa pagreitina krumpliaračių drožtuvų projektavimą, sumažina projektavimo darbus bei laiko sąnaudas.
2. Parašyta programa apskaičiuoja ir parenka drožtuvo konstrukcinius elementus, valdo AutoCAD 2006 programą, kuri nubraižo krumpliaračių drožtuvo darbo brėžinį.
3. Programa gali būti naudojama gamyboje bei mechaninių specialybių bakalaurų ir magistrantų studijų procese.

Literatūra

1. **Bražėnas A., Jurėnas V.** Metalų pjovimo įrankiai. Vilnius: Mokslo, 1991. p. 272-277.
2. **Ординарцев И.А., Филиппов Г.В. и др.** Справочник инструментальщика. Ленинград: Машиностроение, 1987. p. 600-607.
3. **Сахаров Г.Н., Арбузов О.Б. и др.** Металлорежущие инструменты. Москва: Машиностроение, 1990. p. 206-216.
4. **Анурьев В.И.** Справочник конструктора - Машиностроителя. Москва: Машиностроение, 1980. p. 263-292.
5. **Кирсанов Г.Н., Арбузов О.Б. и др.** Руководство по курсовому проектированию металлорежущих инструментов. Москва: Машиностроение, 1986. p. 151-160.
6. **Романов В.Ф.** Расчеты зуборезных инструментов. Москва: Машиностроение, 1969. p. 40-41.

APVALAUS SKERSPJŪVIO MECHANIŠKAI NEVIENALYČIŲ SUKAMŲ SUVIRINTŲJŲ SUJUNGIMŲ ĮTEMPIMŲ IR DEFORMACIJŲ BŪVIO TYRIMAS

M. Juška

Kauno technologijos universitetas Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: mechaninis nevienalytiškumas, sukimas, įtempimų ir deformacijų būvis.

1. Įvadas

Pramonės šakose labai plačiai taikomas metalų suvirinimas, apvirinimas. Daugumoje atvejų suvirintieji sujungimai yra atsakingų konstrukcijų koncentracijos zonose, kuriose labai dažnai darbo metu yra viršijamos medžiagų proporcingumo ribos ir prasideda statinis arba ciklinis tampriai plastinis deformavimas. Suvirintiems sujungimams būdingas didesnis ar mažesnis mechaninis savybių nevienalytiškumas. Atskirų zonų stipruminių savybių nevienodumas kartais sudaromas technologiniais ar konstrukciniais sumetimais parenkant skirtingo stiprumo pagrindinius metalus ir suvirinimo medžiagas.

Siekiant sumažinti konstrukcijų svorį, naudojamos vis stipresnės medžiagos. Didelio stiprumo medžiagos yra mažiau plastiškos. Todėl, kad suvirinimo metu neatsirastų įtrūkimų, suvirinant stiprius metalus naudojamos medžiagos, kurių stiprumas mažesnis už pagrindinio metalo stiprumą. Zonos, kurių stiprumas yra mažesnis už pagrindinio metalo stiprumą, vadinamos minkštais tarpstuksniais, priešingu atveju – kietais. Analitiškai ir eksperimentiškai nustatyta, kad tarpstuksniai turi didelę įtaką suvirintojo sujungimo stiprumui nei kiti [1.2].

Darbo tikslas. Įsisavinti baigtinių elementų metodą ir ištirti įtempimų ir deformacijų būvio priklausomybę mechaniškai nevienalytėse suvirintose jungtyse esant sukimui.

Tyrimo uždaviniai. Rasti įtempimų ir deformacijų pasiskirstymo priklausomybes kylančias nuo medžiagų mechaninio nevienalytiškumo koeficiento γ_e .

Darbo naujumas. Ištirti sukamas mechaniškai nevienalytes suvirintas jungtis, pateikti gamintojui ataskaitas ir pasiūlymus.

2. Modelio sudarymas

Vykdam tyrimus nuspręsta tirti suvirintuosius sujungimus esant sukimui. Buvo sudaryta keletas modelių:

Pirmame erdviniam modelyje (1 pav.) strypas standžiai įtvirtintas, strypo laisvajame gale pritvirtintas absoliučiai standus, besvoris elementas, kurio galuose pridėtos lygiagrečios priešingų krypčių jėgos, taip sudaromas sukimo atvejis.

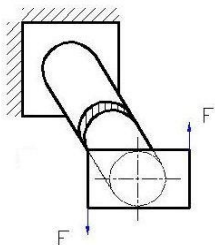
Antrame erdviniam modelyje (2 pav.) strypas standžiai įtvirtintas, kurio laisvajame gale išoriniame skerspjūvyje pridėtos lygiagrečios priešingų krypčių koncentruotos jėgos, jos sukelia sukimo momentą. Tai analogiškas modelis pirmajam, tik nėra standaus elemento.

Analizuojant pirmąjį modelį nustatyta, kad realiose konstrukcijose neegzistuoja absoliučiai standžios medžiagos.

Analizuojant antrąjį modelį šių trūkumų nenustatyta todėl tyrimui, naudosis antrąjį modelį.

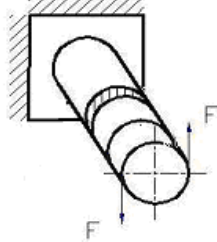
Paveiksle 3 matome nagrinėjamos suvirintojo sujungimo BEM modelį, kuris sudaromas iš didesnių elementų mažiau tyrimui svarbiose vietose ir iš mažesnių elementų tyrimui svarbiose vietose [3].

1 modelis:

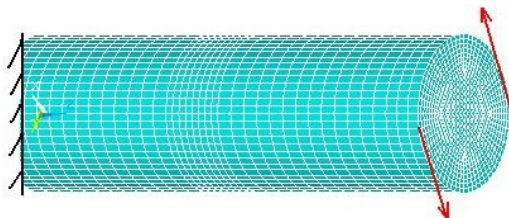


1 pav. 1-as sukimo modelis

2 modelis:



2 pav. 2-as sukimo modelis



3 pav. Nagrinėjamo suvirintojo sujungimo BEM modelis

3. Įtempimų ir deformacijų pasiskirstymo priklausomybės nuo sujungimo mechaninio nevienalytiškumo

Vykdamas skaičiavimus sujungimo mechaninio nevienalytiškumo koeficientu laikytas kietos medžiagos (bazinio metalo) takumo ribos įtempimų santykis su minkštos (siūlės) medžiagos takumo ribos įtempimais:

$$\gamma_e = \frac{\sigma_e^H}{\sigma_e^M}; \quad (1)$$

čia σ_e^H – bazinės kietos medžiagos takumo ribos įtempimai; σ_e^M – minkštos siūlės medžiagos takumo ribos įtempimai.

Darbo laikyti pastoviais šie dydžiai: medžiagų sustiprėjimo koeficientas tampriai plastinėje zonoje $m = 0.1$; santykinis siūlės aukštis $a_e = h / d = 0.8$ (čia h – siūlės aukštis); strypo skersmuo $d = 10$ mm.

Darbe buvo naudotos 1,2; 1,4 ir 1,6 γ_e vertės.

4 ... 7 paveikslukuose pateiktas kontakto plokštumos įtempimų ir deformacijų būvio komponentų pasiskirstymas skersai bandinio nuo mechaninio nevienalytiškumo koeficiento γ_e .

Šiame darbe terminas „bandinio šerdis“ reiškia bandinio vidurį, kurį riboja skersmuo ne didesnis nei $0,5 d$.

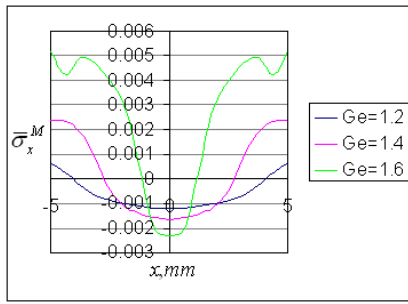
Didėjant γ_e minkštos ir kietos medžiagų kontakto plokštumos radialiniai įtempimai $\bar{\sigma}_x^M$, $\bar{\sigma}_x^H$ bandinio išorėje ir bandinio šerdyje didėja (žr. 4 pav.).

5 pav. pateiktas kontakto plokštumos žiedinių įtempimų $\bar{\sigma}_y$ pasiskirstymas skersai bandinio nuo γ_e . Didėjant γ_e , minkštos ir kietos medžiagų žiediniai įtempimai $\bar{\sigma}_y^M$, $\bar{\sigma}_y^H$ bandinio išorėje ir bandinio šerdyje didėja.

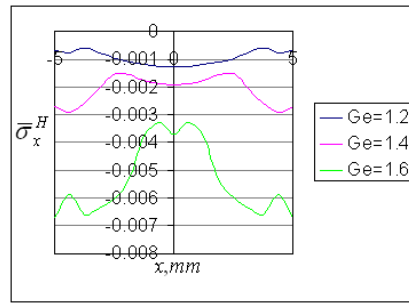
6 pav. pateiktas kontakto plokštumos tangentinių įtempimų $\bar{\tau}_{yz}$ pasiskirstymas nuo γ_e skersai bandinio. Didėjant γ_e minkštos ir kietos medžiagų įtempimai $\bar{\tau}_{yz}^M$, $\bar{\tau}_{yz}^H$ bandinio išorėje mažėja, o bandinio šerdyje didėja.

7 pav. pateikta kontakto plokštumos deformacijų $\bar{\varepsilon}_{yz}$ priklausomybė nuo γ_e . Didėjant γ_e , minkštos medžiagos deformacijos $\bar{\varepsilon}_{yz}^M$ bandinio išorėje ir bandinio šerdyje didėja. Didėjant γ_e , kietos medžiagos deformacijos $\bar{\varepsilon}_{yz}^H$ bandinio išorėje mažėja, o bandinio šerdyje didėja.

Radialiniai įtempimai σ_x tesudaro $\approx 0.02 \tau_{yz}$, o žiediniai įtempimai $\sigma_y - \approx 0.03 \tau_{yz}$. Todėl galima teigti, kad medžiagų tarpusavio sąveika beveik neįtakoja įtempimų ir deformacijų būvio sukamame, apvalaus skerspjuvio, mechaniškai nevienalyčiame suvirintajame sujungime su plokščia siūle.



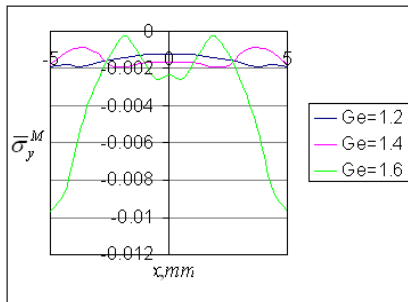
a



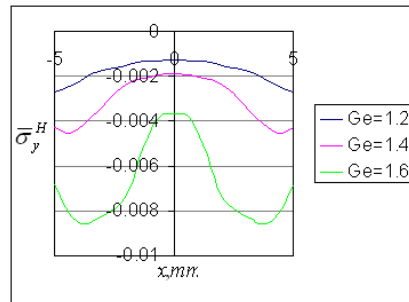
b

4 pav. Kontakto plokštumos radialinių įtempimų $\bar{\sigma}_x$ priklausomybė nuo γ_e :

a – siūlės medžiagoje, b – pagrindinėje medžiagoje



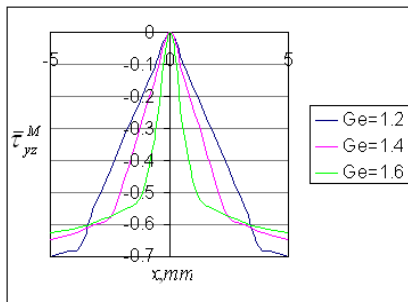
a



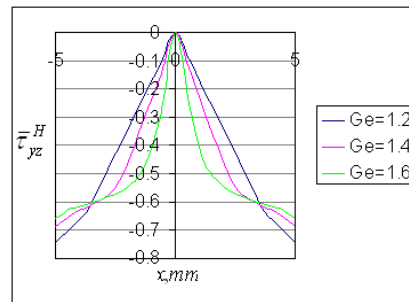
b

5 pav. Kontakto plokštumos žiedinių įtempimų $\bar{\sigma}_y$ priklausomybė nuo γ_e :

a – siūlės medžiagoje, b – pagrindinėje medžiagoje



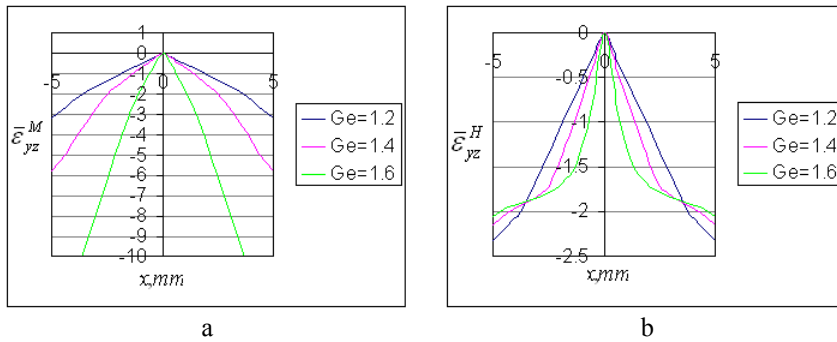
a



b

6 pav. Kontakto plokštumos tangentialių įtempimų $\bar{\tau}_{yz}$ priklausomybė nuo γ_e :

a – siūlės medžiagoje, b – pagrindinėje medžiagoje



7 pav. Kontakto plokštumos deformacijų $\bar{\epsilon}_{yz}$ priklausomybė nuo γ_e :
a – siūlės medžiagoje, b – pagrindinėje medžiagoje

4. Išvados

1. Didėjant mechaninio nevienalytiškumo koeficientui γ_e , kontakto plokštumos radialiniai ir žiediniai įtempimai $\bar{\sigma}_x$, $\bar{\sigma}_y$ didėja.
2. Didėjant mechaninio nevienalytiškumo koeficientui γ_e , minkštos ir kietos medžiagų kontakto plokštumos tangentiniai įtempimai $\bar{\tau}_{yz}$ bandinio išorėje mažėja, o bandinio šerdyje didėja.
3. Didėjant mechaninio nevienalytiškumo koeficientui γ_e , minkštos medžiagos kontakto plokštumos šlyties deformacijos $\bar{\epsilon}_{yz}^M$ bandinio išorėje ir bandinio šerdyje didėja; kietos medžiagos šlyties deformacijos $\bar{\epsilon}_{yz}^H$ bandinio išorėje mažėja, o bandinio šerdyje didėja.

Literatūra

1. **D. Vaičiulis**, Tempiamų (gniuždomų) mechanškai nevienalyčių žiedinio skerspjuvio suvirintųjų sujungimų statinis ir ciklinis tampriai plastinis deformavimas ir suirimas. Daktaro disertacijos santrauka. Kaunas 2001.
2. **A. Bražėnas, M. Daunys**, The Stress Strain State and Plasticity of Mechanically Heterogeneous Welded Joints with a Flat Interlayer Subjected to Tension (Compression). Mechanika, 1995.
3. ANSYS User Manual. Volume 10. Elements. UPD 0 DN-R300:50-3.

ROLGANGO RITINĖLIŲ STIPRUMO IR STANDUMO TYRIMAS ESANT STATINIAM IR CIKLINIAM SKERSINIAM LENKIMUI

T. Švežikas

Kauno technologijos universitetas Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: ciklinis nuovargis, rolgango ritinėliai, lenkimas.

1. Įvadas

Mašinų detalės, konstrukcijos ir kiti inžinerinėje praktikoje nagrinėjami objektai labai dažnai yra veikiami apkrovų (išorinių jėgų), kurios nėra pastovios, o, laikui bėgant, kinta tiek savo dydžiu, tiek ir ženklu. Kartais šis apkrovų pokytis yra labai sudėtingas - nestacionarus ir priklauso nuo įvairių atsitiktinių veiksnių įtakos (kelio reljefo, duobėtumo, atmosferos turbulentiškumo ir pan.), bet dažnai yra dėsningas - cikliškas. Be to, esant net labai sudėtingam apkrovų pokyčiui, dažnai jas galima susisteminti ir nustatyti tam tikrus kitimo dėsningumus.

Veikiant kintamiems įtempimams, mašinų detalės bei konstrukcijos suyra nuo mažesnių įtempimų reikšmių, negu esant statinėms arba vienkartinėms dinaminėms apkrovoms, be to, ir jų suirimo pobūdis yra kitoks. Šis reiškinys vadinamas medžiagų nuovargiu.

Ciklų skaičius, kurį atlaiko detalė (bandinys) iki suirimo, vadinamas detalės ilgaamžiškumu. Priklausomai nuo įtempimų dydžio bei kitų veiksnių įtakos, detalės ilgaamžiškumas gali būti labai įvairus, pavyzdžiui, nuo kelių šimtų iki kelių milijonų ir daugiau ciklų [1].

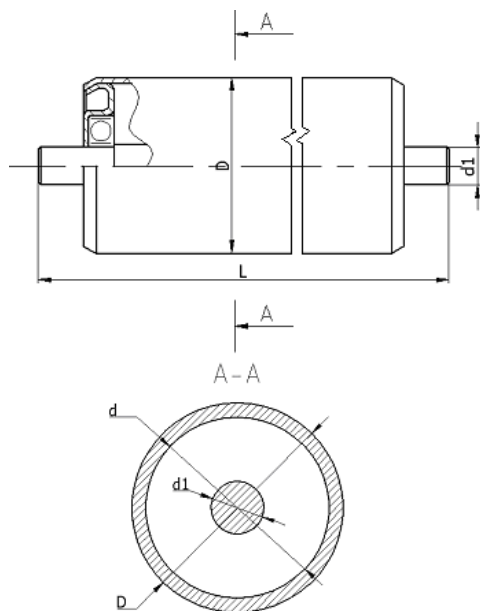
Darbo tikslas. Nustatyti rolgango ritinėlių ilgaamžiškumą veikiant ciklinėms apkrovoms ir nustatyti ribinę statinės apkrovos dydį.

Tyrimo uždaviniai. Nustatyti gamintojo (užsakovo) pateiktų rolgango ritinėlių ilgaamžiškumą veikiant ciklinei apkrovai ir nustatyti ribinį statinės apkrovos dydį tam tikriems ritinėlių ilgiams. Parinkti statinės apkrovos skaičiavimo metodiką, nustatyti ritinėlių veikiančias apkrovas. Pateikti tyrimo rezultatų ataskaitas.

Darbo naujumas. Ištirti supaprastintos (konvejerinės gamybos) rolgango ritinėlio konstrukcijos ilgaamžiškumą, pateikti gamintojui ataskaitas ir pasiūlymus kaip konstrukciją tobulinti.

2. Tyrimo objektas

Rolgango ritinėliai (1 pav.): darbinis ilgis $L = 600, 900, 1200, 1600$ mm. Kiti matmenys: $D = 70$ mm – išorinis skersmuo, $s = 2$ mm – sienelės storis, $d = 66$ mm – vidinis vamzdžio skersmuo, $d_1 = 17$ mm – ašies skersmuo. Ritinėlio darbinės dalies (vamzdžio) ir ašies medžiaga – plienas Ст 3 GOST 535–81 (1 lentelė).



1 pav. Rolgango ritinėlis

1 lentelė. Plieno Ст 3 GOST 535–81 mechaninės savybės [1]

Charakteristika	Žymėjimas	Mat. vnt.	Dydis
Takumo riba	σ_y	MPa	250
Stiprumo riba	σ_B	MPa	380 – 490
Leistinieji lenkimo įtempimai:	$\sigma_{adm.l.}$	MPa	
esant statinei apkrovai			150
esant kintamai pulsuojančiai apkrovai			110
esant kintamai simetrinei apkrovai			85
Tamprumo modulis	E	MPa	$2.1 \cdot 10^5$

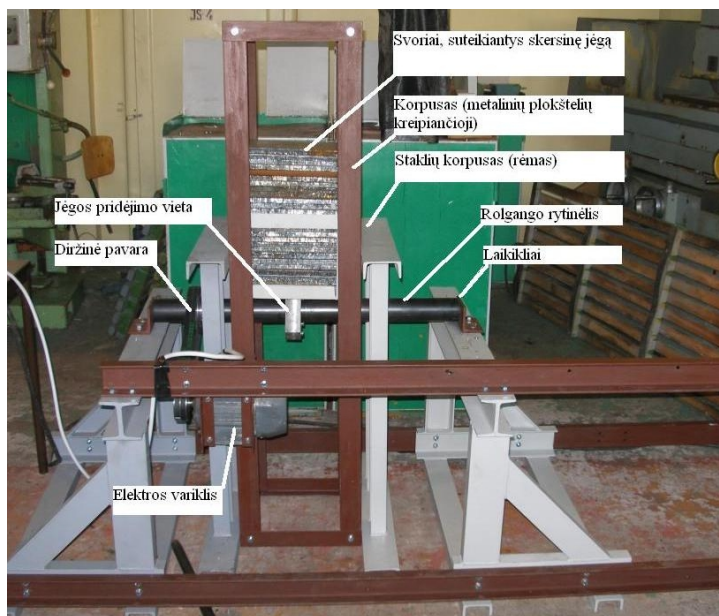
3. Ciklinio tyrimo, esant skersiniam lenkimui, metodika

Nuovargio tyrimas buvo atliktas trijų taškų nuovargio tyrimo staklėmis. Staklės parodytos 2 paveiksle. Skersinė jėga suteikiama apkraunant ritinėlį metalinėmis plokštelėmis, kurių masė žinoma. Sąlyčio taške ties jėgos priėjimo vieta, ritininis guolis padengtas guma, kad neglemžtų tiriamojo ritinėlio. Specialus skriemulys perduodantis sukimo momentą ritinėliui yra sumontuotas ant ritinėlio darbinio paviršiaus. Ritinėlio sukimosi dažnis nustatomas dažnių keitikliu. Standartiškai bandiniai bandomi nuovargiui prie 3000 aps./min. Faktinis ritinėlio sukimosi dažnis – 300 aps./min. Šios staklės buvo pritaikytos tik tam tikrai ritinėlių grupei tirti, kurių ilgis $L = 600; 900; 1200; 1600$. Ribinė ritinėlio (1 pav.) apkrova paskaičiuota formulėmis (1-3) [1,2].

$$W_x = \frac{\pi(D^3 - d^3 + d_1^3)}{32}; \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W_x} \leq \sigma_u; \quad (2)$$

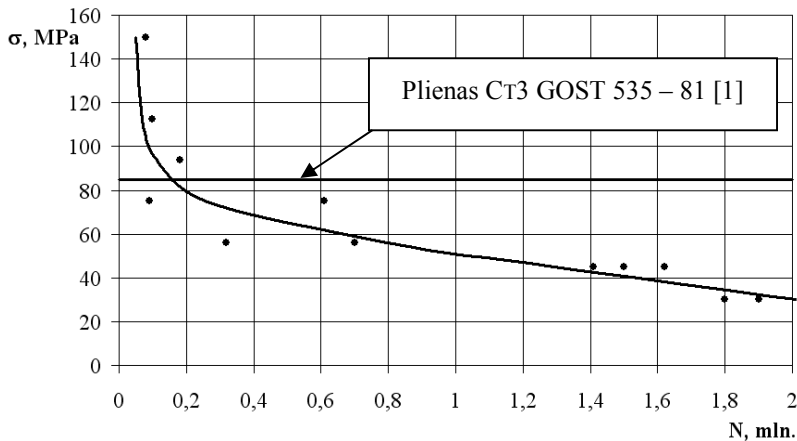
$$M_{\max} = \frac{F \cdot L}{4}; \quad (3)$$



2 pav. Nuovargio tyrimo staklės

4. Rolgango ritinėlio $L = 900$ ciklinio tyrimo, esant skersiniam lenkimui rezultatų suvestinė

Iš šešių cikliniams bandymams pateiktų rolgango ritinėlių, keturi iš jų suiro dėl vamzdžio nuovargio, du iš jų – dėl guoliaviečių nuovargio. Rezultatų suvestinė pateikta 2 lentelėje. Rolgango ritinėlis su užvalcuotais, bet neprivirintais dangteliais 120 kg skersinės jėgos ciklinę apkrovą atlaikė 85 val. arba 1.53 mln. ciklų, rolgango ritinėlis su užvalcuotais ir privirintais dangteliais to paties dydžio apkrova atlaikė 1.62 mln. ciklų. Ritinėliai atlaikė 180 000 ciklų, t. y. žymiai mažiau negu buvo numatyta (5 mln. ciklų).



3. pav. Rolgango ritinėlio $L = 900$ nuovargio kreivė

5. Rolgango ritinėlio $L = 600$ statinio tyrimo skersiniam lenkimui metodika, rezultatai

Rolgango ritinėlis įtvirtintas ant ašies tarp atramų šarnyriškai paslankiai. Atstumas tarp atramų charakteringų taškų – $L_a = 605$ mm.

Lesitina ritinėlio deformacija [3 - 5]:

$$\varepsilon_{adm} = \frac{\sigma_{adm I}}{E}; \quad (4)$$

čia $\sigma_{adm I}$ – leistinieji lenkimo įtempimai; E – tamprumo modulis.

Matuojamos deformacijos nustatymas [4, 5]:

$$\varepsilon_m = \frac{dR/R}{S_g} \cdot \frac{1 - \nu_0 K_t}{1 + K_t (\varepsilon_t / \varepsilon_a)}; \quad (5)$$

čia dR/R – galvanometro parodymai, S_g – tenzodaviklio tenzozautrumas, $S_g = 2.1$, ν_0 – tenzodaviklio medžiagos Puasono koeficientas, $\nu_0 = 0.285$,

$\varepsilon_l/\varepsilon_a$ – deformacijų dvimatiškumo koeficientas, $\varepsilon_l/\varepsilon_a = 1$, K_t – skersinio tenzotautumo koeficientas, $K_t = 0$.

Ritinėlis, esant darbo sąlygoms, apkraunamas išskirstyta apkrova. Pavoingas ritinėlį pjūvis, esant skersiniam lenkimui, t.y. veikiant išskirstytai apkrovai ar koncentruotai skersinei jėgai, yra ties jo viduriu ($L/2$). Šiame pjūvyje lenkimo įrašos dydis tiek apkrovus išskirstyta apkrova, tiek koncentruota skersinė jėga, yra vienodos. Todėl atliekant lenkimo bandymus apkrova rolgango ritinėliui buvo pridėta ties jo viduriu kaip koncentruota skersinė jėga.

Apkrova buvo didinama palaipsniui nuo 0 iki 10 000 N (iki 1000 kg) kas 500 N (50 kg) ir matuojamos deformacijos. Deformacijos buvo matuojamos keturių tenzodaviklių pagalba, du iš kurių buvo pritvirtinti baziniu atstumu simetriškai apkrovos pridėties taškui ant ritinėlio paviršiaus viršuje, ir du tuo pačiu baziniu atstumu – apačioje. Rezultatų suvestinė pateikta 2 lentelėje.

Aprovus ritinėlį statine koncentruota skersinė apkrova $F = 6\,000\text{ N}$ (600 kg) tiek skaičiuotini, tiek faktiniai normaliniai lenkimo įtempimai jau viršija leistinuosius įtempimus, didžiausias įlinkis ties sijos viduriu ($y = 0.853\text{ mm}$) neviršija leistinojo įlinkio ($y_{adm} = 2.00\text{ mm}$) net prie didžiausios apkrovos $F_{max} = 10\,000\text{ N}$ (1000 kg). Ritinėlio išorinio paviršiaus skaičiuotina deformacija ($\varepsilon_{sk} = 6.97 \times 10^{-4}$) dar neviršija, o faktinė deformacija ($\varepsilon_f = 7.73 \times 10^{-4}$) viršija leistinąją tampriąją deformaciją ($\varepsilon_{adm} = 7.14 \times 10^{-4}$) prie apkrovos $F = 7\,000\text{ N}$ (700 kg).

2 lentelė. Rezultatų suvestinė

$\sigma_y = 250\text{ MPa}$ $\sigma_{adm(s)} = 150\text{ MPa}$ $\sigma_{adm(d)} = 85\text{ MPa}$ $y_{adm} = 2.0\text{ mm}$ $\varepsilon_{adm} = 7.14 \cdot 10^{-4}$	F	σ_{sk}	y_{sk}	ε_{sk}	ε_f
	N	MPa	mm	–	
	1 000	25.29	0.085	0.99×10^{-4}	0.96×10^{-4}
	2 000	50.58	0.171	1.99×10^{-4}	1.97×10^{-4}
	3 000	75.87	0.256	2.99×10^{-4}	2.98×10^{-4}
	4 000	101.16	0.341	3.98×10^{-4}	4.00×10^{-4}
	5 000	126.45	0.426	4.98×10^{-4}	5.03×10^{-4}
	6 000	151.73	0.512	5.97×10^{-4}	6.60×10^{-4}
	7 000	177.02	0.597	6.97×10^{-4}	7.73×10^{-4}
	8 000	202.31	0.682	7.96×10^{-4}	8.87×10^{-4}
	9 000	227.60	0.768	8.95×10^{-4}	1.00×10^{-4}
	10 000	252.89	0.853	9.95×10^{-4}	–
Čia σ_y – takumo riba; σ_{adm} – leistinieji įtempimai (s – statinė, d – dinaminė simetrinė apkrova); y_{adm} – leistinas įlinkis; ε_{adm} – leistina deformacija; F – apkrova; indeksas „ sk “ – skaičiuotinas dydis; indeksas „ f “ – išmatuotas (faktinis) dydis.					

6. Išvados

4. Nuovargio tyrimams pateiktų ritinėlių radialinis mušimas ties jo viduriu viršija leistiną dydį. Tai turi neigiamos įtakos ritinėlio patvarumui.
5. Bandytų ritinėlių dangtelių valcavimo zonų deformacijos susijusios ne su šių zonų nuovargiu, bet su ašies plastinėmis deformacijomis ir prarastu standumu ties ritinėlio viduriu po ritinėlio vamzdžio suirimo (po 180 000 ciklų).
6. Gamintojui siūloma privirinti guolių dangtelius ir mažinti ritinėlio radialinį mušimą.
7. Ritinėlio ilgaamžiškumą padidintų sumontuota įvorė tarp ritinėlio ašies ir išorinio vamzdžio ties ritinėlio viduriu.

Literatūra

4. **Анурьев В. И.**, Справочник конструктора – машиностроителя, том 1. Москва: Машиностроение, 1978. – 728 с.
5. **V. Feodosjevas**, Medžiagų atsparumas, Vilnius, 1977.- 524 p.
6. **Дарков А. В., Шпиро Г. С.**, Сопротивление материалов. Москва: Высшая школа, 1989. – 624 с.
7. **Атлури С., Кобаяси А., Дэлли Д. и др.**, кспериментальная механика, книга 1. Москва: Мир, 1990. – 616 с.
8. Introduction To Strain & Strain Measurement. Acromag, Incorporated, USA

ĮTEMPIMŲ DEFORMACIJŲ BŪVIO PRIKLAUSOMYBĖ NUO SANTYKINIO SIŪLĖS AUKŠČIO SUVIRINTAME VAMZDYJE SU IŠILGINE MINKŠTA SIŪLE

Ž. Jaškūnas

Kauno technologijos universitetas Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: suvirintasis sujungimas, mechaninis nevienalytiškumas, įtempimų ir deformacijų būvis.

1. Įvadas

Šiuo metu mašinų gamyboje, energetikoje, statyboje, laivų pramonėje plačiai taikomi suvirintieji sujungimai, kurie daugumoje atvejų yra atsakingų konstrukcijų koncentracijos zonose, kuriose labai dažnai darbo metu yra viršijamos medžiagų proporcingumo ribos ir prasideda statinis arba ciklinis tampriai plastinis deformavimas. Todėl suvirinto sujungimo, kaip konstrukcinio elemento, įvertinant jo konstrukcinius, technologinius ir eksploatacinius ypatumus, tyrimas turi išskirtinę reikšmę [1].

Suvirintų vamzdžių, iš kurių klojami magistraliniai ir gamybiniai (vadinamieji technologiniai) vamzdynai, išorinis skersmuo esti nuo 6 iki 1400 mm, o sienelių storis nuo 0,3 iki 25 mm. Elektra suvirinti vamzdžiai gaminami su išilgine tiesia suvirinta siūle arba su spiraline siūle. Vamzdžiai su tiesia išilgine siūle gaminami iš lakštinio plieno. Vamzdžiai, skirti magistralėms, kuriose slėgis siekia iki 25 atm (2532,5 kN/m²), gaminami iš marteninio plieno MCT.2, MCT.3 ir MCT.4 [2].

Suvirintų vamzdžių su išilgine minkšta plokščia siūle įtempimų deformacijų būvis nustatytas panaudojant sukurtą originalius script'us BEM programiniam paketui ANSYS 5.7.

2. Įtempimų deformacijų būvis suvirintame vamzdyje su išilgine minkšta nesimetrine siūle

Darbe naudoti santykiniai vienetai:

$$\bar{\sigma}_r = \frac{\sigma_r}{\sigma_e^M}; \quad \bar{\sigma}_t = \frac{\sigma_t}{\sigma_e^M}; \quad \bar{\tau}_{rt} = \frac{\tau_{rt}}{\sigma_e^M}; \quad \bar{e}_t = \frac{e_t}{e_e^M}; \quad (1)$$

čia σ_e^M ir e_e^M – atitinkamai minkštos siulės metalo takumo ribos įtempimas ir deformacija.

Atliktų skaičiavimų reikšmės atidedamos grafikuose, kuriuose x ašis atitinka santykinę koordinatę:

$$\xi = \frac{r - r_{in}}{s}; \quad (2)$$

čia: r_{in} – vidinės vamzdžio sienelės spindulys, mm.

Santykinis siulės aukštis – tai siulės aukščio ir sienelės storio santykis (žr. 1 pav.):

$$\kappa = \frac{h}{s}; \quad (3)$$

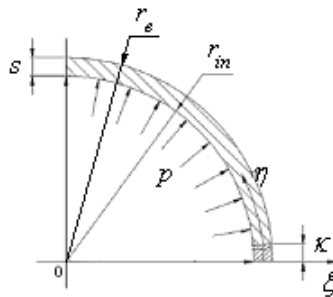
čia: h – siulės aukštis, mm; s – sienelės storis, mm.

Tiriant įtempimų deformacijų būvį, buvo priimta:

- sienelės storis $s = 4$ mm;
- sujungimo mechaninio nevienalytiškumo koeficientas $\gamma = \sigma_e^H / \sigma_e^M = 1,2$;
- čia σ_e^H – kietos medžiagos metalo takumo ribos įtempimas;
- kietos ir minkštos medžiagų diagramų $\varepsilon - \sigma$, aproksimuotų laipsnine funkcija, sustiprėjimo tampriai plastinėje zonoje koeficientai $m_0^M = m_0^H = 0,1$;
- vamzdžio su išilgine plokščia minkšta siūle išorinis spindulys $r_e = 800$ mm;
- santykinis siulės aukštis $\kappa = 0,4; 0,8; 1,2$, nes realiuose suvirintuose sujungimuose jis, priklausomai nuo suvirinimo būdo, svyruoja nuo 0,4 iki 1,0.

Keičiant santykinį siulės aukštį κ , radialiniai įtempimai $\bar{\sigma}_r$ kontakto plokštumoje lieka mažai pakitę (žr. 2 pav.). Kontakto plokštumos radialinių įtempimų pasiskirstymo dėsniai pagrindinėje kietoje ir minkštoje siulės medžiagose yra skirtingi. Mažiausi radialiniai įtempimai pagrindinėje medžiagoje yra vidinėje vamzdžio sienelės dalyje, didžiausi – išorinėje vamzdžio sienelės dalyje. Siulės medžiagoje didžiausi radialiniai įtempimai kyla vidinėje bei išorinėje vamzdžio sienelės dalyje. Didinant santykinį siulės aukštį κ , įtempimai pagrindinėje medžiagoje didėja, o siulės medžiagoje – mažėja.

Didžiausios žiedinių įtempimų $\bar{\sigma}_t$ reikšmės, tiek pagrindinėje medžiagoje, tiek siulės medžiagoje, gaunamos vamzdžio vidinėje ir išorinėje dalyse (žr. 3 pav.). Sienelės viduryje gaunamas skirtingas įtempimų pasiskirstymo dėsnis pagrindinėje ir siulės

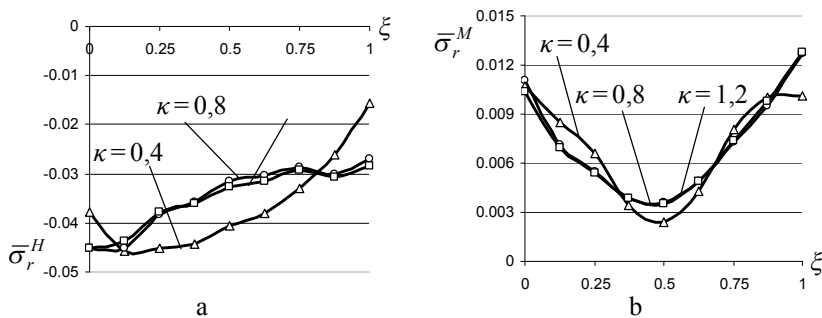


1 pav. Vamzdžio su išilgine minkšta simetrine siūle modelis

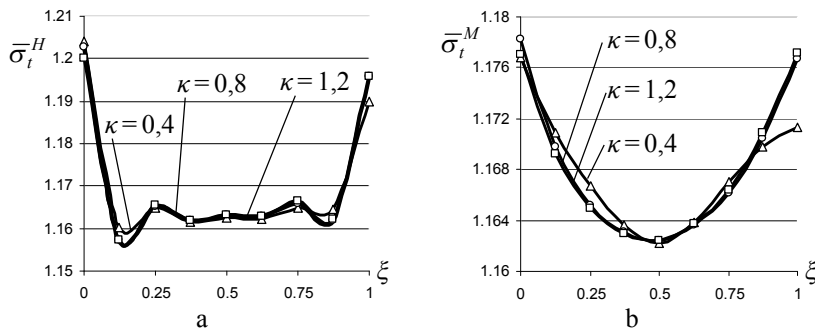
medžiagose. Didžiausi žiediniai įtempimai yra ties vidiniu spinduliu. Žiedinių įtempimų dydis nepriklauso nuo santykinio siūlės aukščio κ , kai pastarasis kinta ribose nuo 0,4 iki 1,2.

Didžiausi tangentiniai įtempimai $\bar{\tau}_{rt}$ pagrindinėje medžiagoje kyla ties išorine vamzdžio sienelės dalimi, mažiausi – ties vidine sienele. Siūlės medžiagoje įtempimai kinta beveik tiesiškai didėdami nuo vidinės sienelės link išorinės sienelės. Didinant santykinį siūlės aukštį κ , įtempimai pagrindinėje ir siūlės medžiagoje mažėja (žr. 4 pav.).

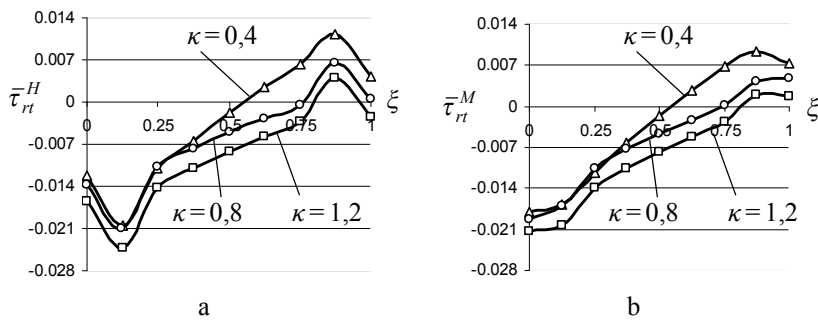
Žiedinių deformacijų $\bar{\epsilon}_t$ kitimas keičiant santykinį siūlės aukštį κ pagrindinėje ir siūlės medžiagose ryškiausiai matomas vamzdžio sienelės viduryje. Didžiausios deformacijos kyla ties vidine vamzdžio sienele. Didinant santykinį siūlės aukštį κ , žiedinės deformacijos pagrindinėje ir siūlės medžiagoje didėja (žr. 5 pav.).



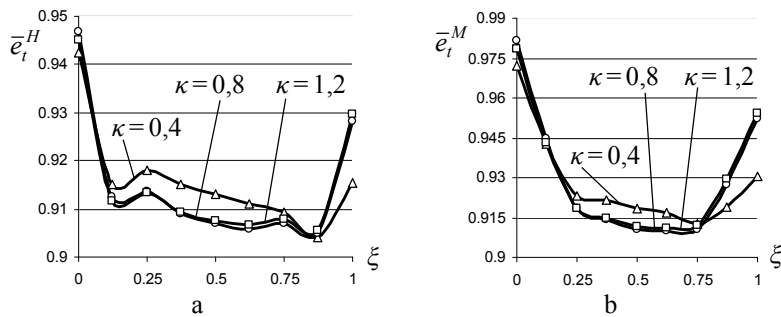
2 pav. Radialinių įtempimų $\bar{\sigma}_r$ priklausomybė nuo κ kontakto plokštumoje:
a – pagrindinėje medžiagoje, b – siūlės medžiagoje



3 pav. Žiedinių įtempimų $\bar{\sigma}_t$ priklausomybė nuo κ kontakto plokštumoje:
a – pagrindinėje medžiagoje, b – siūlės medžiagoje



4 pav. Tangentinių įtempimų $\bar{\tau}_{rt}$ priklausomybė nuo κ kontakto plokštumoje:
a – pagrindinėje medžiagoje, b – siūlės medžiagoje



5 pav. Žiedinių deformacijų $\bar{e}_t$ priklausomybė nuo κ kontakto plokštumoje:
a – pagrindinėje medžiagoje, b – siūlės medžiagoje

4. Išvados

1. Didinant santykinį siūlės aukštį κ , įtempimai pagrindinėje medžiagoje didėja, o siūlės medžiagoje – mažėja.
2. Kai santykinis siūlės aukštis κ kinta ribose nuo 0,4 iki 1,2 žiediniai įtempimai nuo κ nepriklauso.
3. Didinant santykinį siūlės aukštį κ , žiedinės deformacijos pagrindinėje ir siūlės medžiagoje didėja.

Literatūra

1. **Vaičiulis D.** Tempiamų (gniuždomų) mechaniškai nevienalyčių žiedinio skerspjuvio suvirintųjų sujungimų stiprumas ir mažaciklis nuovargis. Daktaro disertacija. Kaunas, 2001.
2. **Naruškevičius J.** Suvirintojo vadovas. Vilnius, 2003.

TEMPIAMŲ LENKIAMŲ SLUOKSNIUOTŲ KONSTRUKCINIŲ ELEMENTŲ STIPRUMO TYRIMAS

T. Kundelis

Kauno technologijos universitetas Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: daugiassluoksniai konstrukciniai elementai, kompozitai, sluoksniuoti lenkiami elementai.

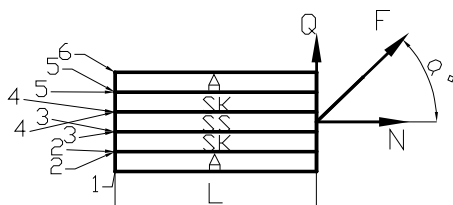
1. Įvadas

Dauguma šiuolaikinių konstrukcinių medžiagų sudaro kompozicijos, kurios techniniam gaminiui suteikia tam tikrą savybių derinį. Visais atvejais tai skirtingų medžiagų sistema, kurios kiekvienas komponentas turi konkrečią paskirtį gaminyje. Įvairių medžiagų bendras darbas kompozicijoje yra tolygus naujos medžiagos sukūrimui, kurios savybės kiekybiškai ir kokybiškai skiriasi nuo ją sudarančių komponentų savybių. Sluoksniuotos konstrukcijos gali būti gautos naudojant polimerines kompozicines medžiagas, plienus, medį, betoną bei kitas medžiagas. Jos naudojamos įvairios paskirties objektuose, pradedant buitine technika, automobiliais, statybinėmis konstrukcijomis ir baigiant lėktuvų konstrukcijomis [1].

2. Tyrimo objektas

Tiriu penkiasluosnį konstrukcinį elementą (1 pav.), kuris yra apkrautas apkrova F , kuri yra pastovi. Jėgos F pridėties kampas α yra kintamas ir kinta nuo 0° iki 90° . Konstrukcijos ilgis L , jis taip pat pastovus.

Konstrukcijos medžiagų parametrus pateikiu 1 lentelėje.



1 pav. Penkių sluoksnių konstrukcinis elementas

1 lentelė. Medžiagų parametru suvestinė

Žym.	Medžiagos pavadinimas	Pjūviai	Tamprumo modulis E , GPa
A	Anglies plastikas	1-2,5-6	60
SK	Karšto formavimo stiklo plastikas	2-3,4-5	20
SS	Šalto formavimo stiklo plastikas	3-4	10

3. Normalinių įtempimų skaičiavimas

Kadangi, šiuo atveju skaičiuojant normalinius įtempimus jėga išskaidoma į dvi dedamąsias Q (skersinė jėga) ir N (ašinė jėga), tai ir normalinių įtempimų formulė susidarys iš dviejų normalinių įtempimų dedamųjų, t.y., įtempimai, kylantys nuo ašinės apkrovos, ir įtempimai, kylantys, nuo skersinės apkrovos [2]:

$$\sigma_N = \frac{N}{B} E_i + \frac{M}{D} E_i y_i; \quad (1)$$

čia N – ašinė apkrova; M – lenkimo momentas kylantis nuo skersinės apkrovos; B ir D – atitinkamai ašinis standumas ir standumas lenkimui [3]; E_i – medžiagos tamprumo modulis; y_i – nagrinėjamo pjūvio atstumas iki elemento neutralios ašies.

Ašinė aprova:

$$N = F \cos \alpha. \quad (2)$$

Skersinė apkrova:

$$Q = F \sin \alpha. \quad (3)$$

Lenkimo momentas:

$$M = F L \sin \alpha. \quad (4)$$

1 Lentelė. Jėgų N , Q ir lenkimo momentų M reikšmės kintant kampui α

$\alpha, ^\circ$	N , kN	Q , kN	M , kNm
0	500	0	0
10	492	86	173
20	469	170	342
30	433	249	500
40	383	321	642
50	321	383	766
60	249	433	866
70	170	469	939
80	86	492	984
90	0	500	1000

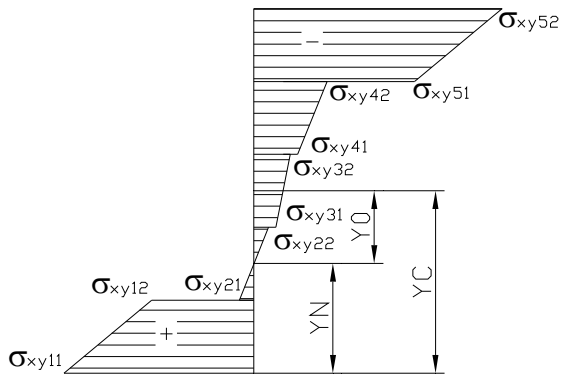
Tam, kad būtū aiškiau, kaip kinta jėgų F , Q ir lenkimo momento M reikšmės kintant jėgos F pridėties kampui α , pateikiu lentelę (1 lentelė).

Suminių normalinių įtempimų pasiskirstymas pateikiamas 2 pav.

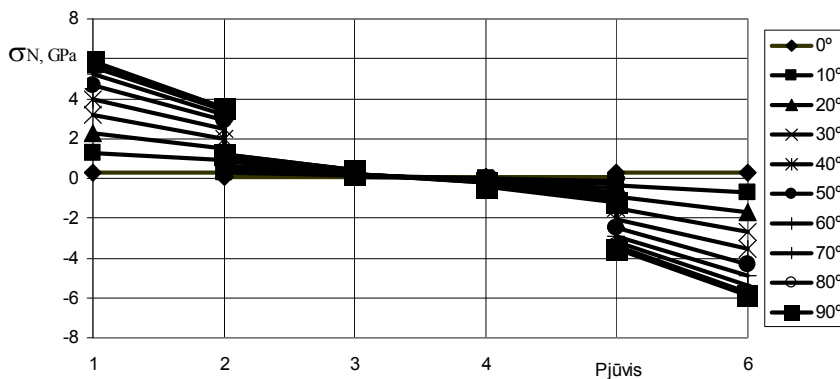
Iš 2 pav. matome, kad didžiausi normaliniai įtempimai yra didžiausius tamprumo modulius turinčiose medžiagose. O neutralės persislinkimą įtakoja ašinė jėga N .

Norėdamas išsiaiškinti nuo kurios apkrovos dedamosios, t.y. nuo ašinės ar nuo skersinės apkrovos, kyla didesni normaliniai įtempimai, braižau suminių normalinių įtempimų pasiskirstymo grafiką (3 pav).

Kaip matome (3 pav.) ašinė apkrova N turi labai nedidelę įtaką suminiams normaliniams įtempimams, nes kampui esant 0° normaliniai įtempimai kyla tik nuo ašinės apkrovos ir kaip matome iš grafiko tie įtempimai yra labai maži.



2 pav. Suminių normalinių įtempimų σ_N pasiskirstymo schema, kai $\alpha=40^\circ$



3 pav. Suminių normalinių įtempimų pasiskirstymas, kai jėgos F pridėties kampas α kinta nuo 0° iki 90° .

4. Tangentinių įtempimų skaičiavimas

Tangentiniai įtempimai [4]:

$$\tau_{xy} = \frac{Q \cdot C(y)}{D \cdot SP}; \quad (5)$$

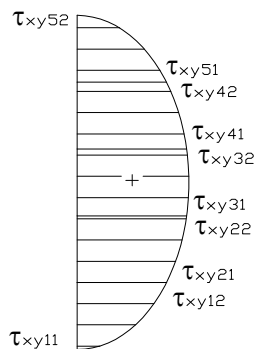
čia Q – skersinė apkrova; D – standumas lenkimui; SP – sluoksnio plotis.

$$C(y) = \sum E_i S_{yi}; \quad (6)$$

čia E_i – medžiagos tamprumo modulis; S_{yi} – statinis momentas y ašies atžvilgiu.

Tangentinių įtempimų pasiskirstymo schema (4 pav.)

Matome (4 pav.), kad tangentiniai įtempimai kyla tik nuo skersinės jėgos Q . Ir kuomet jėgos F pridėties kampas $\alpha = 0^\circ$, tai įtempimai taip pat lygūs 0, o kai $\alpha = 90^\circ$, tai įtempimai įgauna maksimalią reikšmę. Matome, kad tangentiniai įtempimai didžiausi yra viduriniojo sluoksnio viduryje, nes ten veikia didžiausias statinis momentas.



4 pav. Tangentinių įtempimų pasiskirstymo schema, kai $\alpha = 40^\circ$

5. Išvados

1. Normalinių įtempimų dydžiui ašinė apkrova N beveik neturi įtakos.
2. Matome, kad labiausiai apkrauti yra išoriniai konstrukcijos sluoksniai, nes ten yra medžiagos turinčios didžiausius tamprumo modulius.
3. Matome, kad sluoksnių susidūrimo vietose, normaliniuose įtempimuose gaunami įtempimų šuoliai, o tangentiniuose įtempimuose, tų šuolių nėra.

Literatūra

1. **Bareišis J.** Plastikų, kompozitų ir daugiasluoksnių konstrukcinių elementų stiprumas, p. 150-162. Kaunas, 2006.
2. **Bareišis J.** Konstrukcinis stiprumas ir patikimumas. Paskaitų konspektas mechanikos inžinerijos magistrantams, I ir II dalys.
3. **Bareišis J., Tričys V.** Plastmasės ir kompozitai. Sudėtis, savybės, panaudojimas. Šiauliai, 2000.
4. **Bareišis J., Paulauskas V.** Daugiasluoksnių kompozicinių konstrukcinių elementų projektavimas. Kaunas, 1995.

HIBRIDINĖS PAVAROS

A. Nosovienė

Kauno technologijos universitetas Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: hibridiniai varikliai, hibridinės pavaros, hibridinė jėgainė.

1. Įvadas

Nuolat senkant ir brangstant energetiniams resursams bei griežtėjant aplinkosaugos reikalavimams imta ieškoti alternatyvos ne tik tradiciniams degalams, bet ir populiariajam vidaus degimo varikliui. Siekdamos sumažinti teršalų į atmosferą emisiją bei įgyvendinti energijos taupymo programas automobilių gamintojos eksperimentuoja su įvairiomis energijos rūšimis. Ypač daug dėmesio skiriama hibridinei jėgainei, kurios jėgos agregatą sudaro vidaus degimo ir elektros varikliai. Jų kūrimo ir naudojimo srityje pažengta daugiausiai, lyginant su kitomis kuro alternatyvomis. Pranašumą ši technologija įgauna ir todėl, kad hibridinis automobilis dirba su tradiciniu kuru, nereikalinga kita aptarnavimo infrastruktūra, kaip tarkim elektromobiliams ar automobiliams, naudojantiems vandenilį.

Darbo tikslas. Išanalizuoti hibridinius variklius, jų veikimo principą, technines charakteristikas bei atlikti tradicinės, hibridinės bei elektros jėgainės techninių specifikacijų lyginamąją analizę.

Darbo aktualumas. Darbe plačiai nagrinėjamos hibridinės pavaros, aptariami jų jungimo tipai, veikimo principas bei hibridinei pavarai būdingi darbo režimai.

Praktinis pritaikymas. Hibridinių variklių analizė galės būti panaudota transporto priemonių inžinerijos studentams nagrinėjant alternatyvius variklius, hibridinių variklių konstrukcijas. Lyginamosios analizės rezultatai gali būti naudingi supažindinant su alternatyvios jėgainės perspektyvomis, privalumais ir trūkumais.

2. Automobilių pavarų klasifikacija

Transporto priemonių pavaroms naudojami:

- vidaus degimo (Otto arba Diesel) varikliai;
- elektros varikliai;
- hibridiniai vartuvai;
- kt. rūšies kuru varomi alternatyvūs varikliai.

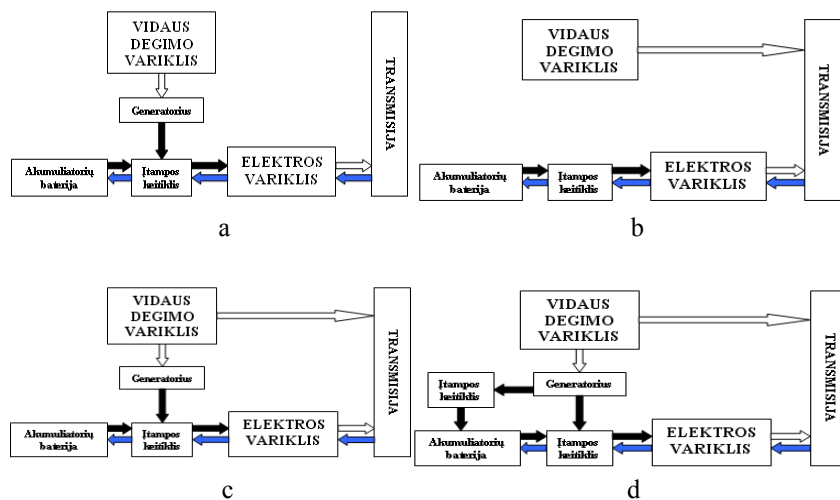
Vidaus degimo varikliai yra klasifikuojami pagal paskirtį, naudojamą kurą, šiluminės energijos pavertimą mechanine. Stūmokliniai varikliai dar skirstomi pagal degiojo mišinio susidarymo, užsidegimo būdą, pagal darbinį ciklą, reguliavimo būdą. Pavaros, kurių jėgos agregatas yra vidaus degimo variklis laikomos tradicinėmis [1].

Alternatyvioms pavaroms priskiriama elektros, hibridinė jėgainė bei vandeniliu, biodegalais ir kt. kuro rūšimi varomi varikliai. Elektromobilių pavarai naudojami tiek nuolatinės tiek kintamos srovės elektros varikliai. Hibridinius vartuvus sudaro vidaus degimo ir elektros varikliai.

3. Hibridinės pavaros konstrukcijos

Dar visai neseniai buvo kalbama tik apie du pagrindinius hibridinių pavarų jungimo būdus: nuoseklųjį (1 pav. a) ir lygiagretųjį (1 pav. b). Šiuo metu žinomi dar du būdai: mišrusis (1 pav. c) ir kombinuotasis (1 pav. d)[2-3].

Automobiliuose montuojamos pavaros tipas priklauso nuo automobilio paskirties, pvz: nuoseklaus jungimo hibridinės pavaros daugiausia naudojamos sunkiasvorėse mašinos, tuo tarpu lengvuosiuose automobiliuose dažniausiai montuojamos lygiagretaus jungimo pavaros. Priklausomai nuo pavaros tipo parinkimo vidaus degimo variklis gali dirbti optimaliausiai.



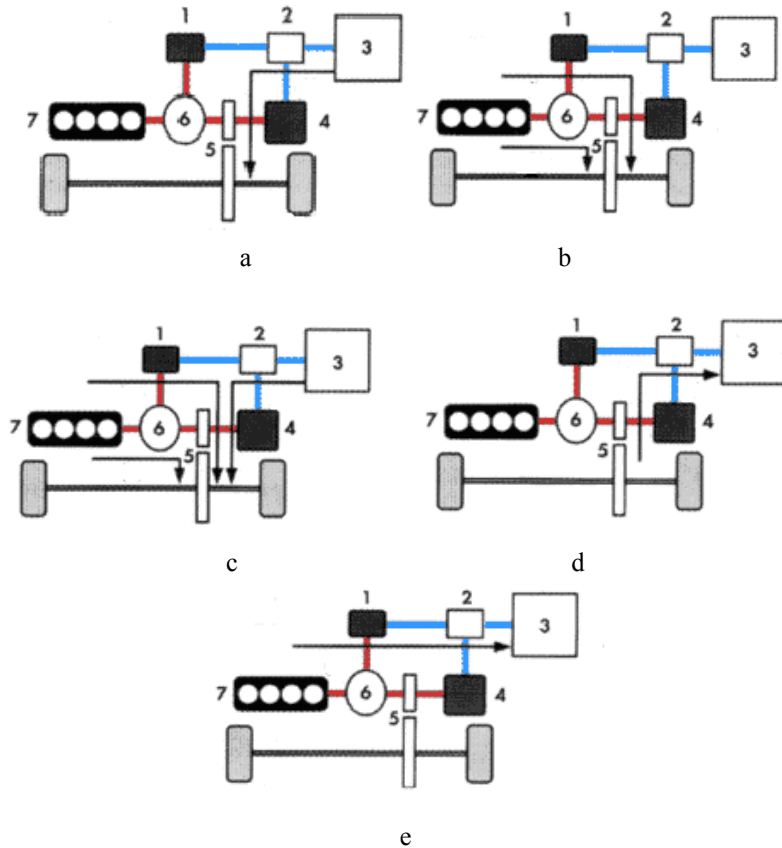
1 pav. Hibridinių pavarų jungimo būdai: a) nuoseklusis; b) lygiagretusis; c) mišrusis; d) kombinuotasis

4. Hibridinės pavaros darbo režimai

Hibridinei pavarai dirbant, priklausomai nuo apkrovos dydžio kinta energijos srautai (2 pav.):

1. Važiavimo pradžia. Starto metu (a) automobilį varo elektros variklis naudodamas akumuliatorių baterijose sukauptą energiją. Vidaus degimo variklis yra neveiksmingas.

2. Pasiekus apie 45 km/h greitį automatiškai paleidžiamas vidaus degimo variklis (b), kurio sukuriamą mechaninę energiją planetinio mechanizmo paskirstoma ratams (70 proc.) ir elektros generatoriui (30 proc.).



2 pav. Hibridinės pavaros darbo režimai: 1 – generatorius, 2 – inverteris, 3 – akumuliatorių baterija, 4 – elektros variklis, 5 – reduktorius, 6 – planetinis mechanizmas, 7 – vidaus degimo variklis
— - elektros energija, — - mechaninė energija

3. Staigaus greitejimo metu, važiuojant įkalne (c) dirba abu varikliai. Elektros variklis naudoja ne tik generatoriaus sukuriamą elektros energiją, bet ir sukauptą akumuliatorių baterijose. Tuomet sukuriamas maksimali bendra variklių galia - 82 kW.

4. Stabdymo metu (d) vidaus degimo variklis stabdomas, o elektros variklis dirba generatoriaus režimu ir sugrąžina dalį kinetinės energijos į akumuliatorių bateriją.

5. Akumuliatorių baterijų įkrova (e). Kai baterijos išsikrauna, generatorius automatiškai jas įkrauna. Jei tuomet vidaus degimo variklis neveikia, jis įjungiamas ir pradeda sukurti generatorių [4].

5. Išvados

4. Hibridinės pavaros montuojamos automobiliuose norint padidinti vidaus degimo variklio naudingumą, sumažinti kuro sąnaudas bei toksinių medžiagų emisiją.
5. Automobilių pavaros klasifikuojamos pagal įvairius požymius. Išskiriamos dvi grupės – tradicinės ir alternatyvios pavaros.
6. Hibridinės pavaros gali būti įvairios konstrukcijos.
7. Hibridinės pavaros energijos srautai kinta priklausomai nuo apkrovos dydžio.

Literatūra

1. **Jurkauskas A.**, Transporto priemonių varikliai. Kaunas. Technologija, 2003 m. p. 18-20.
2. **Starevičius M.**, Hibridinio automobilio įsibėgėjimo dinamikos tyrimas. KTU, 2007 m.
3. **П.А. Златин, В. А. Кеменов, Н.П. Ксеновичю**, Электромобили и гибридные автомобили. Москва. Агроконсалт, 2004. p. 22-32
4. http://evr.boom.ru/photo_4.html

RĖMINIŲ KONSTRUKCIJŲ STIPRUMAS IR STANDUMAS

D. Revotas

Kauno technologijos universitetas Panevėžio institutas

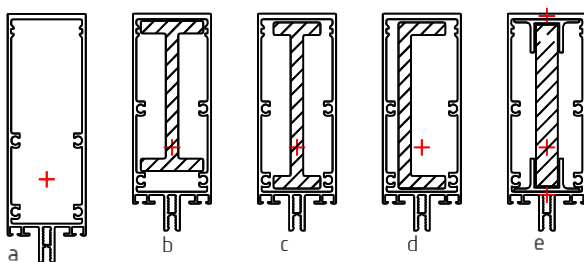
Raktiniai žodžiai: rėminės konstrukcijos, stiprumas, standumas.

1. Įvadas

Šiuolaikinėse pastatų apdailos sistemose vitrinų ir langų konstrukcijoms labai plačiai naudojamos aliuminio fasadinės sistemos [1]. Laikui bėgant užsakovų ir architektų reikalavimai didėja. Konstrukcijų gamintojai siekia vis didesnių kokybės, dizaino, pačių konstrukcijų įvairovės ir žinoma stipruminių reikalavimų įgyvendinimo. Didžioji šių rodiklių dalis priklauso tiesiogiai nuo profilių gamintojų. Tačiau stipruminius konstrukcijų rodiklius įvertinti ir numatyti gali pats konstrukcijų gamintojas pagal savo galimybes ir užsakovo poreikius. Viena iš galimybių – tai vienkamerinio dėžutės tipo profilio armavimas plieno juosta ar kitokios formos plieniniu profiliu. Tokiu būdu esamos aliuminio profilio stipruminės savybės gali būti padidintos iki kelių kartų.

2. Tyrimo objektas

Tiriu aliuminio fasadinių vitrinų gamybai skirtą dėžutės tipo profilį, bei galimybę jį armuoti juodaisiais metalais (1 pav.).



1 pav. Dėžutės tipo fasadinės sistemos profiliai ir numatomi armavimo tipai:
a – nearmuotas profilis; b, c – armuotas dvitėjine plieno armatūra
(pirmo ir antro tipo); d – armuotas lovio tipo plieno armatūra (trečio
tipo); e – armuotas plieno juosta (ketvirto tipo)

Konstrukcijų skaičiavimą įtakojantys parametrai pateikti 1 lentelėje. Naudojamų medžiagų parametrai pateikti 2 lentelėje.

1 lentelė. Konstrukcijų skaičiavimą įtakojantys parametrai

Parametras	Apibūdinimas	Konkreiti reikšmė
Vėjo apkrova	Skirtingose vietovėse, priklausomai ar pastatas yra prie jūros, ar atviroje vietovėje ar miesto ribose vertinama skirtinga vėjo apkrovos reikšmė	0,35 kN/m ²
Konstrukcijos plotis ir aukštis	Nuo konstrukcijos pločio ir aukščio priklauso kokią apkrovą gauna nešantysis vertikalusis statramstis	5,0 m x 3,7 m

2 lentelė. Naudojamų medžiagų parametrai

Žymėjimas	Medžiagos pavadinimas	Tamprumo modulis E , GPa
Al	Aliuminio profilis	70
Pl	Plieninė armatūra	210

3. Profilių skaičiavimo metodikos

Vienas iš profilių parinkimo būdų – tai lentelinis vertikalaus profilio patinkimas (3 lent.) iš pramonėje gaminamų profilių sarašo (katalogų) [1, 2]. Profilių parinkimas atliekamas vertinant busimos konstrukcijos vertikalų statramsčių išdėstymą ir konstrukcijos aukštį. Pirmame stulpelyje (3 lent.) pateikti atstumai tarp vertikalų statramsčių. Žinodami šį dydį, ties jo apytiksle reikšme eilutėje einančioje dešinėje randame artimiausią didesnę reikšmę, kuri atitinka konstrukcijos aukštį. Viršuje pirmoje eilutėje pateiktas tinkamo profilio gylis, o po juo reikiamas skerspjūvio inercijos momentas. Tokiu būdu pasinaudojant lentele randamas reikiamas profilis.

Kitas galimas profilių parinkimo būdas – atliekant skaičiavimus. Šis metodas yra grindžiamas profilio skerspjūvio inercijos momento apskaičiavimu, atsižvelgiant į konstrukcijos gabaritus, vietovėje veikiančias vėjo apkrovas. Atliekant profilio skerspjūvio inercijos momento nustatymą, skaičiuojami:

Įlinkio koeficientas:

$$f = \frac{L}{f_{max}}; \quad (1)$$

čia L – konstrukcijos aukštis; f_{max} – maksimalus leistinas stiklo paketo įlinkis.

Apkrova

$$j = \frac{w(B_1 + B_2)}{1000}; \quad (2)$$

čia w – mažiausia vėjo apkrova vietovėje; $B_1 + B_2$ – trijų statramsčių pločio pusė.

Konstrukcijos pločio ir ilgio santykio koeficientas

$$k = \frac{5}{16} + \frac{(B_1 + B_2)^4}{80 \cdot L^4} - \frac{(B_1 + B_2)^2}{8 \cdot L^2}. \quad (3)$$

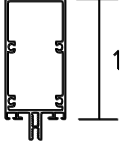
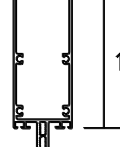
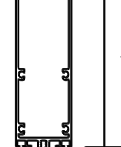
Tuomet projektinis profilio skerspjūvio inercijos momentas I_x [1, 2]:

$$I_x = \frac{L^3 \cdot j \cdot k \cdot f}{E_{AL} \cdot 24 \cdot 10^4}. \quad (4)$$

3 lentelė. Įvairių matmenų profilių parinkimo reikšmės

$I_x \text{ mm}^4$	11×10^4	36×10^4	74×10^4
$I_y \text{ mm}^4$	12×10^4	23×10^4	27×10^4
$W_x \text{ mm}^4$	3.9×10^4	9.3×10^4	15×10^4
L_{max}			
800	1650	2400	3000
1000	1550	2200	2800
1200	1500	2100	2700
1400	1500	2100	2600
1600	1500	2000	2500
1800		2000	2450
2000		2000	2400
2200			2400
2400			2400
2600			
2800			

3 lentelės tęsinys.

68654	68655	68656	68657
			
118×10^4	216×10^4	313×10^4	644×10^4
32×10^4	41×10^4	46×10^4	64×10^4
20×10^4	31×10^4	39×10^4	61×10^4
L_{max}			
3500	4300	4900	6200
3300	4050	4500	5800
3100	3800	4300	5400
3000	3650	4100	5200
2900	3500	3900	5000
2800	3400	3800	4800
2700	3350	3700	4600
2700	3250	3600	4500
2700	3200	3600	4400
2700	3200	3500	4400
	3150	3500	4300

Kadangi naudojame plieno armuotę, o dėžutės tipo profilis yra aliumininis (konstrukcija susideda iš dviejų skirtingų medžiagų), profilio standumą D lenkimui reikia vertinti atsižvelgiant į naudojamų medžiagų tamprumo modulius [3]. Tuomet konstrukcijos standumas D lenkimui:

$$D_{konstr} = I_{xAl} \cdot E_{Al} + I_{xPl} \cdot E_{Pl}; \quad (5)$$

Iš čia reikalingos plieno armuotės skerspjūvio momentas yra:

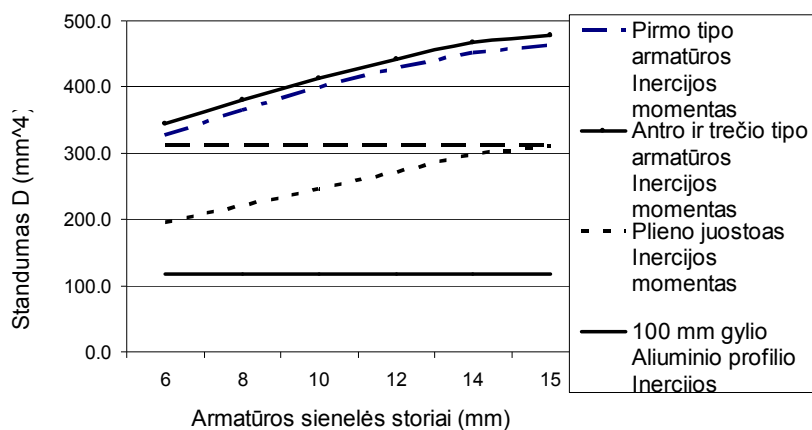
$$I_{xPl} = \frac{D_{konstr} - I_{xAl} \cdot E_{Al}}{E_{Pl}}; \quad (6)$$

čia I_{xAl} , I_{xPl} – aliuminio profilio ir plieno armuotės ašiniai inercijos momentai; E_{Pl} , E_{Al} – plieno ir aliuminio tamprumo moduliai.

4. Tyrimo rezultatai

Tiriamasis darbas atliktas konkrečiam konstrukcijos atvejui, kai konstrukcijos bendras plotis 5 m, o aukštis 3.7 m. Pagrindinis tyrimo objektas vertikalus statramstis konstrukcijos centre. Vertindami reikiamą skerspjūvio momentą, galime pasinaudoti lenteliniu būdu ir surasti tinkamą profilį. Pasinaudoję trečios lentelės duomenimis ir parinkimo metodika Galime teigti, jog tinkamas profilis yra 68657 (180 mm gylis). Tačiau lentelės duomenys pateikti esant vėjo apkrovai 0.6 kN/m^2 . Įvertinę vietovėje esančią 0.35 kN/m^2 apkrovą ir pasinaudoję korekcijos koeficientu, kuris lygus 1.13, esant tokiai apkrovai, gauname, jog mums tinkamas profilis yra 140 mm gylis. Tai yra 68656. Tačiau vertindami armavimo galimybę plieno profiliu iš 5 ir 6 formulių [3] nustatome, jog galimas ir mažesnio gylis (100 mm) profilio 68654 naudojimas, jį armuojant plieno profiliu arba plieno juosta. Taip pasiekiamas ne tik dizaino vientisumas, geresnės stipruminės savybės, bet ir mažesni medžiagų kaštai (4 lent.).

Antrame paveiksle pateikti grafikai, kaip nuo naudojamų profilių ir armavimo tipo priklauso konstrukcijos ašinis inercijos momentas. Apatinė tiesė rodo 100 mm gylis profilio 68654 inercijos momentą. Punktyrinė tiesė rodo lygį, kuris yra atitinkantis 140 mm gylis 68656 profilio ašiniui inercijos momentui. Iš pateiktų kreivių matome, jog naudojant 15 mm storio plieno juostą su 100 mm gylis profiliu, gaunamas tas pats inercijos momentas I_x , kaip ir profilio 68656. Tačiau pagal kainų efektyvumą, matome, jog šis būdas pinigine išraiška nėra priimtinas. Tačiau armuojant 100mm gylis profilį 68654 pirmo, antro arba trečio tipo armatūra, gaunamas efektas su 6 mm sienelės storio plieno profiliu. Jų inercijos momentai yra šiek tiek didesni, nei reikia konstrukcijai, o pinigine išraiška šis būdas yra pigiausias (4 lent.).



2 pav. Standumo išraiškos armuoto ir nearmuoto profilio atveju

4 lent. Piniginė profilių ir armavimo elementų išraiška

Vertikalaus profilio, naudojant nearmuotą ir skirtingų tipų armavimo elementus kainų suvestinė					
Nearmuotas prof.68656		Armuotas 1-3 tipo arm+68654		Armuotas 4 tipo arm+68654	
Sudėtis:	1m kaina	Sudėtis:	1m kaina	Sudėtis:	1m kaina
Profilis 68656	69.77 Lt	Profilis 68654	52.29 Lt	Profilis 68654	52.29 Lt
-	-	Armuojantis elementas	4.78 Lt	Armuojantis elementas	7.22 Lt
-	-	-	-	Įdėtinis profilis X 2	21.25 Lt
VISO	69.77 Lt	VISO	57.07 Lt	VISO	80.76 Lt

5. Išvados

1. Nustatytos ir įvertintos Fasadinėms konstrukcijoms skirtų aliumininių dėžutės tipo profilių armavimo galimybės juodaisiais metalais.
2. Atliktas profiliams galimos naudoti plieno armatūros priklausomybės nuo sienelių storių parametrų tyrimas davė labai didelę armatūros panaudojimo gamą stiprinant tokio tipo konstrukcijas.
3. Armavimo efektyvumo tyrimas parodė, jog tam tikrais atvejais naudojant plieno armavimą, pasiekiamas, ne tik dizaino vientisumas, didesnės stipruminės charakteristikos, bet ir mažesnės išlaidos vertinant konstrukcijų gamybos medžiagas.

Literatūra

1. **Scandinavian Systems** . SAPA Building System
2. www.742060.com (žiūrėta 2007 06 23)
3. **Bareiškis J.** Konstrukcinių elementų atsparumas Šiauliai, 2003 m.

EISMO ĮVYKIO VIETŲ EKPERIMENTINIAI TYRIMAI

V. Katuškevičius

Kauno technologijos universitetas Panevėžio Institutas

Raktiniai žodžiai: automobilis, eismo įvykis, stabdymas.

1. Įvadas

Automobilių transportas yra pati patogiausia šiuolaikinė susisiekimo priemonė, kurios paskirtis yra saugiai ir greitai vežti keleivius ir krovinius. Deja, intensyvi šio transporto plėtra ne tik tenkina didėjančius visuomenės poreikius, bet turi ir negatyvių pasekmių - teršiama aplinka, keliamas triukšmas ir vibracija, kyla automobilių stovėjimo, laikymo vietų problema ir kt [1]. Tačiau didžiausi nuostoliai patiriami dėl automobilių eismo įvykių.

Tam, kad išsamiau ir aiškiau apibrėžtume eismo įvykio vietos tyrimą, tikslinga aptarti pačią eismo įvykio sampratą.

Eismo įvykis - kelyje, viešose arba privačiose teritorijose įvykis, kurio metu, dalyvaujant judančiai transporto priemonei, žuvo ar buvo sužeista žmonių, sugadinta ar apgadinta bent viena transporto priemonė, kroviny, kelias, jo statiniai, ar bet koks kitas įvykio vietoje buvęs turtas [2].

Atliekant bet kokią eismo įvykio vietos tyrimą, nustatant eismo įvykio mechanizmą, reikia žinoti transporto priemonių technines galimybes, jų judėjimo dėsningumus vienomis ar kitomis eismo įvykio sąlygomis tam, kad galėtume atskirti pėdsakus, rodančius eismo dalyvių veiką. Tiriant šias aplinkybes remiantis automobilių teorijos dėsniais, įvertinant transporto priemonių techninę būklę, geometrinius jų parametrus ir kelio sąlygas, reikia rekonstruoti, atkurti eismo įvykio „mechanizmą“ - eismo dalyvių padėtį kelyje vienas kito atžvilgiu atskirais laiko tarpsniais, t.y. atkurti įvykį dinamikoje. Paskui, sujungus tuos laiko tarpsnius į visumą, atskleidžiama pati eismo įvykio esmė. Taip atkuriama pirminė padėtis, greičiai, eismo įvykio vieta kelyje ir pagaliau - jo priežastis techniniu požiūriu.

2. Automobilių eismo įvykio vietų tyrimas

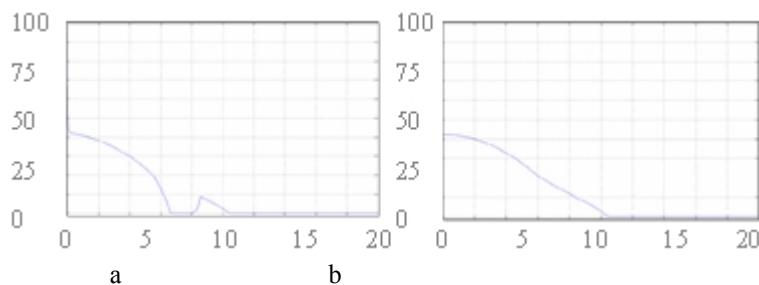
Tiksli eismo įvykio diagnostika vietoje nustatant jo rūšį ir mechanizmą -tai pagrindas kryptingai ir visapusiškai atlikti eismo įvykio vietos apžiūrą ir tolesnį tyrimą.

Diagnozuojant eismo įvykio mechanizmą vietoje, tikslinga pirmiausia nustatyti transporto priemonių ar transporto priemonių ir kliūtis suartėjimo pėdsakus, jų padėtis viena kitos ir kelio ribų atžvilgiu prieš pirminį susidūrimą bei pirminio susidūrimo pėdsakus. Vėliau nustatinėjami stabdymo ar manevravimo pėdsakai, jų padėtys iki pirminio tarpsnio - normalaus darbinio judėjimo.

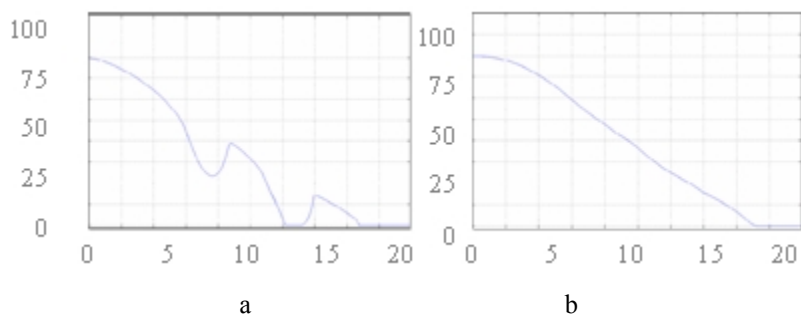
Stabdymo pėdsakai rodo, kaip automobilis buvo stabdytas, t.y. ratų blokavimo pradžią ir transporto priemonės judėjimą blokuotais ratais (šliaužimą). Dabar keliuose gausėja automobilių, turinčių antiblokavimo sistemą (ABS). Veikiant šiai sistemai, automobilio ratai neblokuojami, todėl šliaužimo pėdsakų (dryžių) nebūna. Tokius stabdymo pėdsakus nustatyti ir išmatuoti sudėtinga. Dažniausiai tai punktyriniai pėdsakai, atsirandantys antiblokavimo sistemai nutraukiant ratų blokavimą tam tikru momentu ir vėl sudarant galimybę juos blokuoti.

Pasirinkus kompiuterinį modelį, galime nustatyti kaip lengvojo automobilio stabdymo laikas priklauso nuo vieno iš pagrindinių stabdžių antiblokavimo sistemos parametrų. Šis parametras yra leistinas santykinis praslydimas λ . Nustatyti optimalią šio parametro reikšmę galime atlikę modeliavimą kompiuteriu, panaudojant LabView programinį paketą. LabView programos yra vadinamos virtualiais prietaisais, todėl, kad jų išvaizda ir veikimas imituoja tikruosius prietaisus.

LabView programos pagalba galima stebėti kaip kinta automobilio stabdymo trukmė, keičiant ratų slydimo, santykinės reikšmės (t.y. $\lambda\%$,/100).



1 pav. Automobilio judančio 50 km/h greičio kritimas stabdant, kai praslydimas λ - 2,5: a - rato greitis, b - automobilio greitis.



2 pav. Automobilio judančio 100 km/h greičio kritimas stabdant, kai praslydimas $\lambda = 2,5$: a - rato greitis, b - automobilio greitis.

1 pav. 1a tarp 6 - 8 galime stebėti lengvojo automobilio rato blokavimą. Kai greitis yra 50km/h - galime daryti išvadą, kad optimalus stabdymo taškas pasiekiamas, kai praslydimo koeficientas yra nuo 0,15 iki 2,0.

3. Išvados

1. Didelis eismo įvykių skaičius Lietuvoje, lyginant su kitomis šalimis verčia ieškoti efektyvių būdų automobilių eismo įvykių vietų tyrimui atlikti. Atskirų parametrų susijusių su eismo įvykiais skaičiavimams galima pasinaudoti LabView programinį paketą.
2. Siekiant nustatyti kaip kinta automobilio stabdymo trukmė, keičiant ribinę vieno iš parametrų reikšmę nustatyta, kad automobilis sustos greičiausiai, jei leistinas rato slydimas bus intervale 15% - 20%. Šį savybę leidžia toleruoti ir netikslumus gautus skaičiuojant rato sukibimo su keliu charakteristikas, nustatant stabdymo kelią automobilių eismo įvykių metu.

Literatūra

1. **Lukoševičienė O.** Autoįvykių analizė ir modeliavimas. Vilnius, „Technika“ 2003.
2. **Naruškevičius J.** Suvirintojo vadovas. Vilnius, 2003.

APVALIŲ SLUOKSNIUOTŲ KOMPOZICINIŲ STRYPŲ OPTIMIZACIJA

J. Balodis

Kauno technologijos universitetas Panevėžio institutas

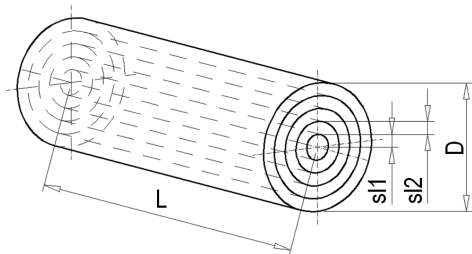
Raktiniai žodžiai: daugiasluoksniai konstrukciniai elementai, kompozitai, daugiasluoksniai, optimizacija, daugiasluoksniai kompoziciniai strypai.

1. Įvadas

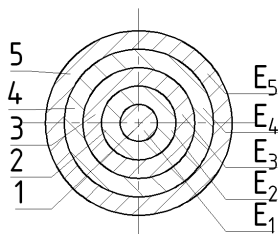
Projektuojant įvairias konstrukcijas, mašinas ir mechanizmus, vis dažniau naudojami daugiasluoksniai konstrukciniai elementai iš kompozicinių medžiagų. Sluoksniuotos konstrukcijos daugeliu atvejų yra pranašesnės už vientisines. Naudojant kompozitines medžiagas su įvairiais struktūros išdėstymo kampais, gaunamos sluoksniuotos konstrukcijos su įvairiomis standumo ir stiprumo charakteristikomis veikiančių apkrovų atžvilgiu. Tokie konstrukciniai elementai yra pigesni ir lengvesni, atsparūs korozijai. Juose racionaliau panaudojamos medžiagos, o jų gamybos technologija nesudėtinga [1].

2. Tyrimo objektas

Optimizavimo elemento (1 pav.) matmenys ir sąlyginės apkrovos buvo pastovios: $L=500$ mm, $D=30$ mm, sluoksnio storis 3 mm, ašinė jėga $N=1000$ N.



1 pav. Nagrinėjamas penkių sluoksnių konstrukcinis strypas



2 pav. Penkių sluoksnių strypo pjūvis

3. Metodika

Sluoksniuotų konstrukcijų standumo, stiprumo charakteristikas nustatytos pagal Bareišio – Paulausko daugiasluoksnių konstrukcinių elementų skaičiavimo metodiką [2]. Šioje metodikoje yra nustatytos ašinio standumo ir standumo esant lenkimui bei stiprumo charakteristikų priklausomybės nuo sluoksnių medžiagų fizikinių mechaninių savybių ir sluoksnių skerspjūvio geometrinių parametų.

4. Optimizacijos uždavinio sudarymas

Pagal gautus duomenis sunku spręsti apie sluoksniuotos konstrukcijos racionalumą. Išsilo būtinybė spręsti tokių elementų optimizavimo uždavinį. Todėl šio darbo tikslas – penkiasluoksnių apvalių konstrukcinių strypų (1 pav.) optimizavimas.

Uždavinio sprendimui, buvo Fortran programavimo kalboje buvo parašyta programa *OPTBAR*, įvedus į programą pradinis duomenys, ir atlikus daugiasluoksnių konstrukcinių elementų, standumo - B , masės - m ir kainos - K skaičiavimus, programa suranda optimaliausią konstrukcinį elementą iš pradiniuose duomenyse įvestų.

Optimaliausia konstrukcija buvo renkama iš 10 strypų konstrukcijų:

- | | |
|-------------------------|--------------------------|
| 1. A – Sk – Sš – A – Sk | 6. Sk – A – Sk – Sš – A |
| 2. Sk – Sš – A – Sk – A | 7. A – Sš – A – Sk – A |
| 3. Sš – A – Sk – A – Sk | 8. A – Sk – Sš – Sk – A |
| 4. Sš – A – Sk – Sk – A | 9. Sk – Sš – A – Sš – Sk |
| 5. Sk – A – Sk – A – A | 10. A – Sk – A – Sk – A |

Konstrukcijų sluoksniai suformuoti naudojant tris medžiagas, kurių žymėjimas, fizikinės ir mechaninės savybės bei sąlyginės kainos pateikiamos 1 lentelėje.

Racionali elemento konstrukcija buvo renkama iš konstrukcijų, dešimties konstrukcijų masyvo.

Optimizacijos kriterijai buvo ašinis standumas B , masė M ir kaina K .

1. Lentelė: Naudojamų medžiagų charakteristikos

Medžiaga	Žymėjimas	E , GPa	G , GPa	σ_u , MPa	ρ , kg/m ³	Kaina, sąl. vnt.
Anglies plastikas	A	60	3,0	775	1,9	10,4
Karšto kietėjimo stiklo plastikas	S_k	20	4,5	775	1,75	1,12
Šalto kietėjimo stiklo plastikas	S_s	9	0,8	250	1,4	1

Optimizacijos uždavinio nepriklausomi kintamieji yra medžiagų charakteristikos: tamprumo modulis – E , normaliniai įtempimai – σ , medžiagos tankis – ρ ir kaina – K bei masė m .

Optimalia konstrukcija vadiname tą, kurios standumas B didžiausias, o masė m ir kaina K mažiausios. Iš trijų funkcijų $\varphi_i(P)$, viena reikia maksimizuoti, o kitas dvi – minimizuoti:

$$\begin{aligned} B &\Rightarrow \max \varphi_{(1)}(P); \\ m &\Rightarrow \min \varphi_{(2)}(P); \\ K &\Rightarrow \min \varphi_{(3)}(P); \end{aligned} \quad (1)$$

čia P – nepriklausomas projektavimo kintamasis: P – naudojamų kompozicinių medžiagų savybės $P = [E, \sigma, \rho, c]$.

Iš šių funkcijų sudaroma konstrukcijos tikslo funkcija, kurios maksimali reikšmė atitiktų optimalią konstrukciją:

$$\Phi(P) = 2 \cdot \varphi_{(\max)i} - \sum_{i=1}^m \varphi_{(\min)i}; \quad (2)$$

$$\Phi(P) = 2 \cdot \frac{B_{sk}}{B_{vid}} - \left[\frac{m_{sk}}{m_{vid}} + \frac{K_{sk}}{K_{vid}} \right]. \quad (3)$$

Konstruktinis elementas turi atitikti jam keliamus standumo, masės, kainos bei kitus reikalavimus. Tikslo funkcijai buvo taikyti dviejų tipų apribojimai:

1. Apribojimai bendri visoms konstrukcijoms:

$$\begin{aligned} B_{\min} + \Delta B \cdot 0.5 &\leq B_{sk} \leq B_{\max} \\ m_{\min} &\leq m_{sk} \leq m_{\min} - \Delta m \cdot 0.8 \\ K_{\min} &\leq K_{sk} \leq K_{\min} - \Delta K \cdot 0.8 \end{aligned} \quad (4)$$

2. Apribojimai vienai konstrukcijai:

Normaliniai įtempimai sluoksniuose neturi viršyti jų medžiagų leistinųjų įtempimų – σ_{adm} :

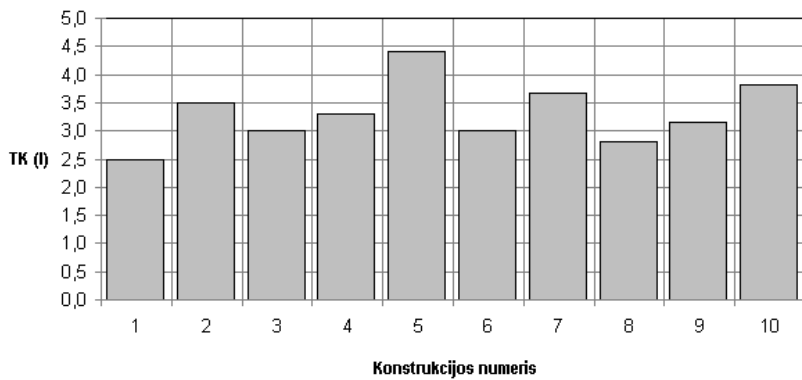
$$\sigma_{isk} \leq \sigma_{iadm}. \quad (5)$$

Atlikus nagrinėjamų konstrukcijų skaičiavimus, gauta dešimt tikslo funkcijos reikšmių. Jos pateiktos 3 pav.

Atlikus 10 konstrukcinių elementų optimizavimą, pagal anksčiau aprašytąsias sąlygas ir apribojimus tenkina tipų konstrukciniai elementai.

Iš grafiko pateikto 2 pav. matyti, kad konkrečiu konstrukcijų nagrinėjimo atveju, didžiausią tikslo funkcijos reikšmę turi 5 elementas, tačiau jis ir elementai 4, 10 viršija maksimalius masės apribojimus ribas, taigi jie atkrenta. Elementai 1 ir 8 neviršija minimalios ašinio standumo reikšmės. Taigi lieka tik elementai 2, 3, 6, 7 ir 9, iš kurių išrenkama optimali konstrukcija. Duomenys apie šias konstrukcijas pateikti 2 lentelėje.

Iš gautų duomenų galima pasirinkti vieną iš konstrukcijų, kuri labiausiai atitiktų projektuojamos konstrukcijos poreikius.



3 pav. Tikslų funkcijos reikšmės, skirtingose konstrukcijose

2 lentelė. Konstrukcijų charakteristikų duomenys

Konstrukcijos Nr.	Konstrukcija	B , MPa·m ²	K , sąl.vnt.	M , kg
7	A - Sš - A - Sk - A	30.168	4.4435	6.354
2	Sk - Sš - A - Sk - A	29.378	4.1918	6.334
9	Sk - Sš - A - Sš - Sk	26.861	4.1364	5.987
6	Sk - A - Sk - Sš - A	25.531	3.6569	6.093
3	Sš - A - Sk - A - Sk	25.135	3.2012	6.347

5. Išvados

1. Pasiūlyta daugiasluoksnių konstrukcinių strypų optimizavimo uždavinio sprendimo metodika esant tempimui arba gniuždymui.
2. Atlikus eilę pirminių optimizavimo uždavinio skaičiavimų, suformuota trijų kriterijų tikslo funkcija, konstrukcinio elemento optimalumo įvertinimui.
3. Analizuojant optimizavimo rezultatus nustatyta, kad didinant naudojamų medžiagų skaičių konstrukciniame elemente, viso elemento ekvivalentinės charakteristikos prastėja.

Literatūra

1. **Bareiškis J., Garuckas D.** Trisluoksnių konstrukcinių elementų optimizavimas. Mechaninė technologija: Mokslo darbai, Nr. 25. -Kaunas, 1997. p. 87-95.
2. **Bareiškis J., Paulauskas V.** Daugiasluoksnių kompozicinių konstrukcinių elementų projektavimas, -Kaunas: Technologija, 1995. -48p.

ELEKTROMECHANINIŲ PAVARŲ MODELIAVIMO SISTEMOS SUKŪRIMAS

G. Palavenis

Kauno technologijos universitetas Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: pavarų modeliavimas, sliekinis reduktorius, perdavimo skaičius, naudingumo koeficientas, inercijos momentas.

1. Įvadas

Šiuolaikinių pramonės įmonių svarbi naudojamos įrangos dalis yra elektromechaninių pavarų pagrindų veikianti įvairios paskirties įranga naudojama gamyboje, nes dauguma procesų yra automatizuoti arba siekiama juos automatizuoti. Elektromechaninė pavara vadinamas mechaninis įrenginys, kuris verčia judėti mašinos darbo mechanizmus. Elektrinę pavaros dalį sudaro elektros variklis ir jo valdymo aparatai. Be to, dažnai elektrinėje dalyje dar būna elektrinių dydžių keitikliai ir įvairaus darbo proceso automatizavimo įtaisai. Mechaninė elektros pavaros dalis priklauso nuo mašinos darbo mechanizmų judėjimo pobūdžio ir jos konstrukcijos. Ją gali sudaryti įvairūs įtaisai: krumpliaratinė pavara, sliekinė pavara, grandininė pavara, diržinė pavara ar kitos pavaros. Iš pavaros apibrėžties matyti, kad svarbiausia priemonė, verčianti judėti darbo mašiną, yra elektros variklis, todėl jį parinkti reikia atsižvelgus į visus procesą įtakojančius parametrus [1 ... 3].

Šiame darbe trumpai apžvelgiamos naudojamos pavarų modeliavimo programos, nagrinėjama sliekinio reduktoriaus naudingumo koeficiento priklausomybė nuo pavarų perdavimo skaičiaus ir pateikiamas universalus pavarų modeliavimo sistemos modelis, leidžiantis preliminarai parinkti elektros variklio ir reduktorių pagrindinius parametrus.

2. Pavarų modeliavimo programos, privalumai ir trūkumai

Variklio parinkimui yra sukurta nemažai kompiuterinių programų, tokių kaip: Motor select galiimc, GE Fanuc Automation, OMRON Motor Selection, Rockwell, Omron SDSS, PARKER, RPMC, SDSS ir kitos. Naudojantis šiomis programomis yra parenkamas variklis pagal žinomus mechaninių pavarų parametrus: pavaros tipą, perdavimo skaičių, pavaros elementų inercijos momentus, naudingumo koeficientą, variklio nominalų

greitį bei sukimo momentą. Inercijos momentas gali būti apskaičiuojamas žinant pavaros elementų matmenis bei svorius. Programos pateikia iš savo duomenų bazės parinkto variklio darbo charakteristikų grafikus, kuriuose pateikiami šie parametrai: greitis, judėjimo laikas, atstumas, stabdymo laikas, staigus judesio ribojimas, greitėjimo laikas. Variklis netinka, jei jo parametrai yra už užduotų saugumo reikalavimų ribų.

GE Fanuc Automation ir OMRON Motor Selection programos yra geros tuo, kad galima susikurti savo pavaros sistemą, įvairi įvedamų parametrų vienetų sistema, grafiškas kelio greičių atvaizdavimas. Trūkumai – nėra galimybės kurti ir redaguoti variklių duomenų bazes. Programa Rockwell turi anksčiau paminėtus trūkumus ir privalumus. Be to ši programa yra labai paprasta, yra galimybė parenkant variklį atsižvelgti į daugiau reikalavimų: kokiam aukštyje ir prie kokios temperatūros dirbs variklis, mechaninės modifikacijos, įtampą, perkrovas. Ši programa pateikia darbo charakteristiką. Diagramų lange automatiškai pateikiamos užsiduoto variklio diagramos, kuriuose atspindi stiprinimas ir momentas pagal greitį. Taip pat galima stebėti perkrautą momentą, maitinimo įtampą, perkrautą stiprinimą. Programa OMRON SDSS nesuteikia galimybės susikonstruoti savo sistemą. Yra tik galimybė pasirinkti vieną iš standartinių sistemų arba paskaičiuoti pasirinkto standartinio kūno inerciją. Privalumas - šią programą galima papildyti, redaguoti ar sukurti nuosavą variklių duomenų bazę. Programa PARKER naudojama tiksliai idealizuotų sistemų skaičiavimui. Skaičiavimui neatsižvelgiama į tokius variklio parametrus, kaip laiko ir momento nuostoliai atsirandantys dėl variklio rezonanso. Kaip ir daugumoje nagrinėtų programų, nėra galimybės papildyti variklių duomenų bazes. Programa SDSS yra skirta skaičiuoti keletos tipų pavarų parametrus. Galima pasirinkti formas: sukamoji sraigtinė pavana, diržinė pavana, krumpliastiebinė pavana, grandininė pavana, krumplinė pavana ir dar galima skaičiuoti inerciją. Visus skaičiavimus šia programa labai lengva atlikti, programa lengvai valdoma ir greitai perprantama.

3. Sliekinio reduktoriaus naudingumo koeficiento priklausomybė nuo pavarų perdavimo skaičiaus

Nagrinėjamas vienalaipsnis sliekinis reduktorius Ч-80 (tarpašinis atstumas 80 mm) Didinant reduktoriaus perdavimo skaičių, naudingumo koeficientas mažėja. Kai tarpašinis atstumas pastovus, reduktoriaus perdavimo skaičius gali būti padidinamas keliais būdais – sumažinus pavaros modulį arba panaudojant mažiau pradžių turintį slieką. Abiem atvejais kinta slieko vijų kilimo kampas. Naudingumo koeficientas priklauso nuo slieko vijų kilimo kampo.

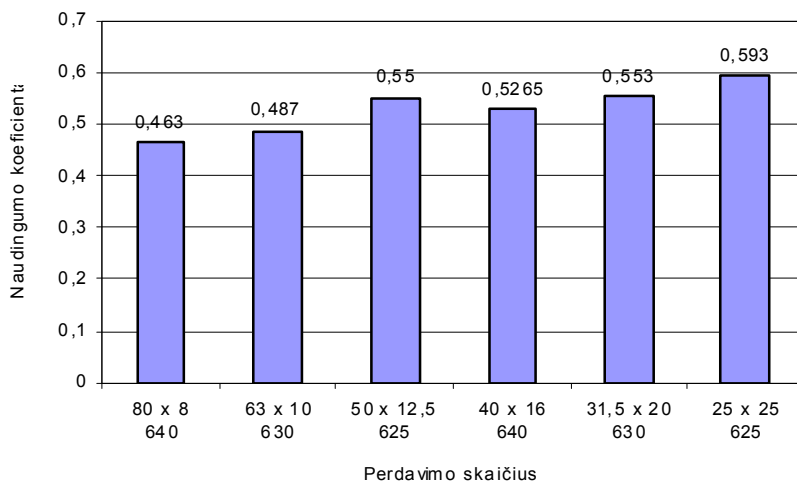
Sliekinų reduktorių naudingumo koeficientas priklauso nuo perdavimo skaičiaus – kuo didesnis perdavimo skaičius, tuo mažesnis naudingumo koeficientas. Taip pat naudingumo koeficientas priklauso ir nuo

kitų parametų, pvz: slieko sukimosi dažnio bei tarpašinio atstumo – kuo didesnis slieko sukimosi dažnis, tuo naudingumo koeficientas mažesnis, o kuo didesnis tarpašinis atstumas, tuo naudingumo koeficientas yra didesnis.

Sujungus du sliekinius reduktorius Ч-80 nuosekliai galima gauti daug įvairių perdavimo skaičių: nuo 64 iki 6400. Reikalingą sistemos perdavimo skaičių galima gauti derinant atskirų reduktorių perdavimo skaičius. Tokiu būdu tas pats arba jam artimas perdavimo skaičius gaunamas esant įvairioms reduktorių perdavimo skaičių kombinacijoms. Todėl esant tam pačiam sistemos perdavimo skaičiui, naudingumo koeficientas gaunamas skirtingas. Galima gauti optimalų variantą - taip parinkti perdavimo skaičius, kad esant tam tikram sistemos perdavimo skaičiui, naudingumo koeficientas būtų didžiausias.

Iš diagramos matyti, kad kai perdavimo skaičius yra artimas 640, naudingumo koeficientas kinta nuo 0,463 iki 0,593. Jei perdavimo skaičius nebūtinai turi būti tikslus, optimaliai parinkus perdavimo skaičius, šiuo atveju galima gauti 28 % didesnį naudingumo koeficientą.

Naudingumo koeficientas taip pat priklauso ir nuo tarpašinio atstumo bei slieko sukimosi dažnio. Kuo didesnis tarpašinis atstumas, tuo didesnis sliekračio skersmuo. Jeigu darbo grandies apkrova pastovi, tai padidinus tarpašinį atstumą, o tuo pačiu ir sliekračio skersmenį, sumažėja apskritiminė jėga, taip pat ir trinties jėgos sukelti nuostoliai susikabinimo vietoje. Todėl didėjant tarpašiniui atstumui, naudingumo koeficientas didėja. Trinties jėga priklauso nuo judėjimo greičio, todėl padidinus slieko sukimosi dažnį, naudingumo koeficientas sumažėja.



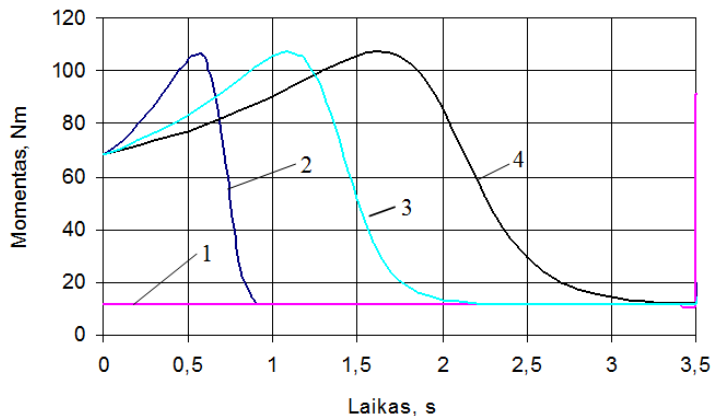
1 pav. Galimi reduktorių sistemos naudingumo koeficientai, esant panašiams perdavimo skaičiams

4. Elektromechaninės pavaros inercijos momento įtakos tyrimas

Nagrinėsime elektromechaninę pavarą, susidedančią iš elektros variklio, sliekinio reduktoriaus (perdavimo skaičius $u = 31.5$, naudingumo koeficientas $\eta = 0,7$) ir darbo grandies.

Kuo didesnis inercijos momentas, tuo mažesnis sukimosi pagreitis. Įvertinus variklio mechaninę charakteristiką, galima sudaryti variklio sukimo momento priklausomybės nuo laiko grafikus, esant skirtingiems sistemos inercijos momentams.

Kuo didesnis inercijos momentas, tuo lėčiau didėja variklio sukimosi greitis, o tuo pačiu ir sukimo momentas (pagal variklio mechaninę charakteristiką), todėl variklio pereinamasis režimas trunka ilgiau.



2 pav. Variklio sukimo momento priklausomybės nuo laiko grafikai:
1 – pasipriešinimo momentas, redukuotas variklio velenui;
2 – variklio sukimo momentas, kai bendras inercijos momentas $I = 0,2 \text{ kg m}^2$; 3 – variklio sukimo momentas, kai bendras inercijos momentas $I = 0,4 \text{ kg m}^2$; 4 – variklio sukimo momentas, kai bendras inercijos momentas $I = 0,6 \text{ kg m}^2$

6. Išvados

1. Yra sukurta nemažai kompiuterinių programų variklio parinkimui. Variklis parenkamas atsižvelgiant į daug įvairių parametrų, tačiau variklio parinkimo duomenų bazių dažniausiai neįmanoma papildyti. Be to šios programos pačių pavarų neprojektuoja.

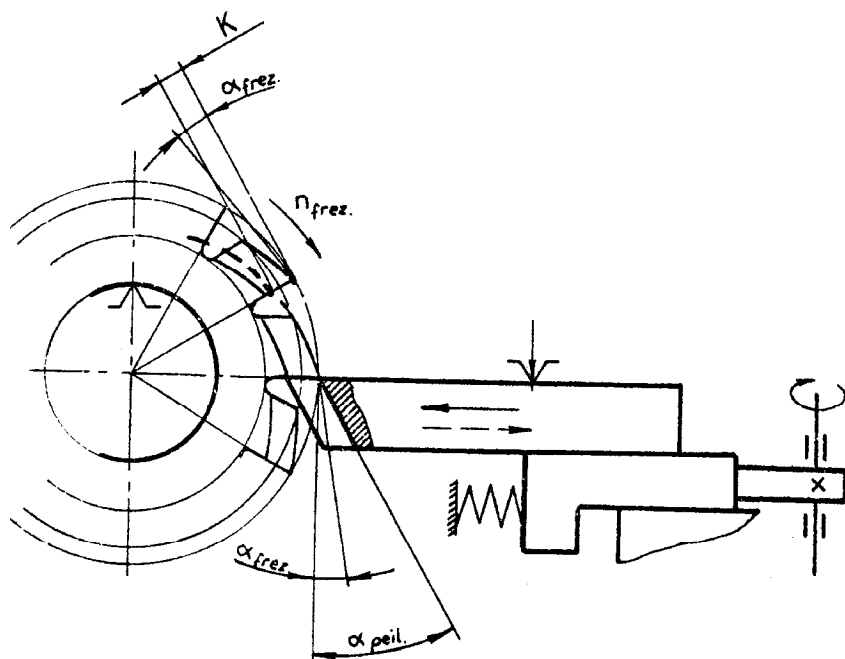
2. Reduktoriaus naudingumo koeficientas priklauso nuo perdavimo skaičiaus – kuo didesnis perdavimo skaičius, tuo mažesnis naudingumo koeficientas.
3. Kuo didesnis variklio nominalus sukimosi dažnis (galia pastovi), tuo ilgiau trunka variklio įsibėgėjimas.
4. Elektromechaninės sistemos inercijos momentas turi įtaką variklio įsibėgėjimo trukmei, bei variklio darbo režimui: kuo didesnis inercijos momentas, tuo ilgiau trunka variklio įsibėgėjimas, tačiau esant trumpalaikiai kintamai apkrovai, variklio greitis mažiau svyruoja, variklis sunkiau perkraunamas.

Literatūra

1. **Čilikinas M.G., Sokolovas M.M.**, ir kt. Automatizuotų elektros pavarų pagrindai. Vilnius, Mokslas, 1978.
2. **Dragūnas B., Pilkauskas K.** ir kt. Inžinieriaus mechaniko žinynas. Vilnius, 1988.
3. **Barzdaitis V., Jankūnas A., Mieliauskas J.** Mašinų detalių kursinis projektavimas. Sliekinių, grandinių ir diržinių pavarų projektavimas. III dalis. Vilnius, 1980.

M. Urbonavičiūtė

Raktiniai žodžiai: kuprojimo peiliai, kuprojimas, kuprojimo peilių projektavimas.



1 pav. Fasoninės frezos kuprojimo schema

2. Kuprojimo peilio automatizuoto projektavimo etapai

Kuprojimo peiliai – projektuojami šia tvarka:

- parenkama pjaunančiosios ir tvirtinimo dalių medžiaga;
- parenkami konstrukciniai elementai;
- apskaičiuojamas užpakalinis kampas;
- atliekamas profilio korekcinis skaičiavimas;
- nubraižomas peilio profilis;
- sudaromos techninės sąlygos;
- nubraižomas peilio darbo brėžinys.

Projektuojant kuprojimo peilį, reikia nustatyti įkurinimo peilio užpakalinį kampą, kuris patenkintų minimalaus radialinio užpakalinio kampo sąlygą:

$$\operatorname{tg} \alpha_{f \max} = \frac{K}{\varepsilon R_{\min}} ;$$

čia $\alpha_{f \max}$ – maksimalus įkuprintos frezos užpakalinis kampas; ε – centrinis frezos danties kampas: $\varepsilon = \frac{2\pi}{z}$; $R_{\min}$ – minimalus frezos įkuprinto profilio spindulys.

Kuprojimo dydis K skaičiuojamas pagal formulę:

$$K = \frac{\pi D_e}{z} \operatorname{tg} \alpha_f .$$

Frezos spindulys žemiausiame įkuprinimo frezos profilio taške:

$$R_N = \frac{D_e}{2} - [h_{\max} + K(1 - \xi)] .$$

Didžiausia užpakalinio kampo reikšmė išilginiame pjūvyje:

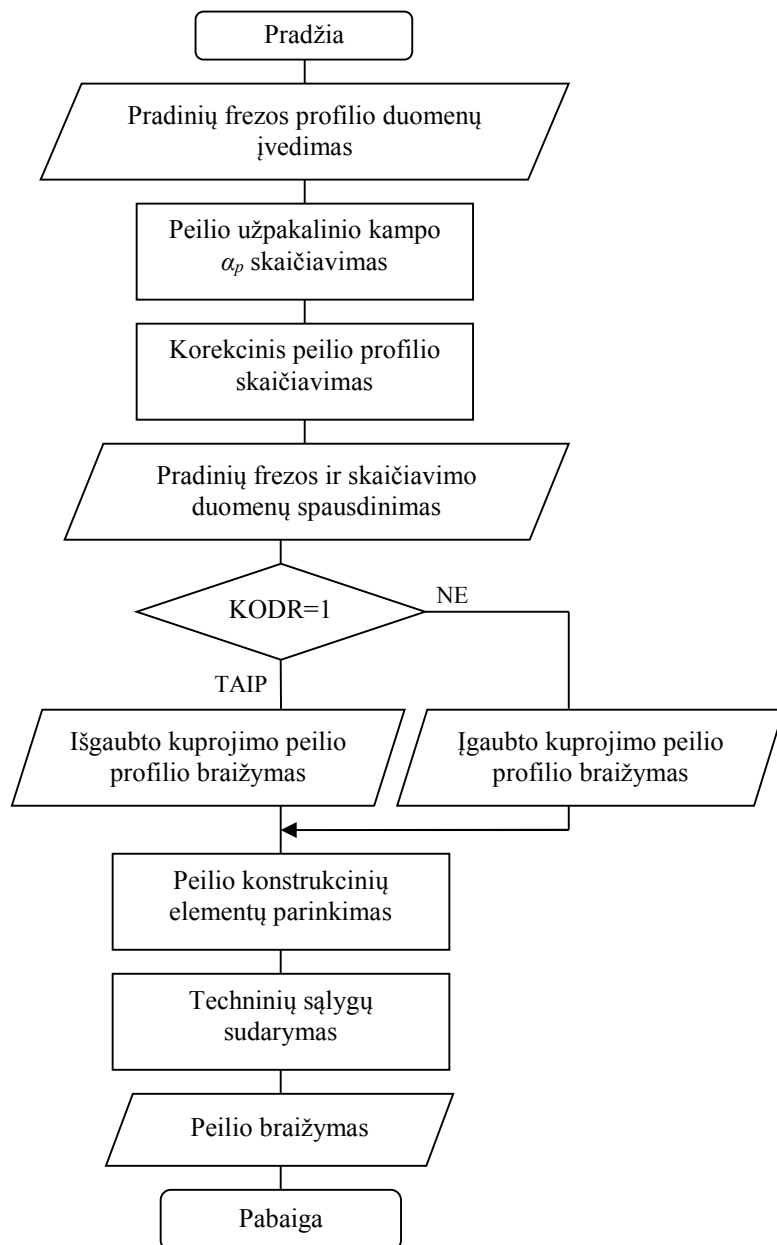
$$\alpha_{f \max} = \operatorname{arctg} \frac{K z}{2 \pi R_N} .$$

Peilio maksimalus užpakalinis kampas darbo plokštumoje:

$$\alpha_{p \max} = \alpha_{f \max} + \alpha_{sk} ;$$

čia α_{sk} – peilio kinematinio kampo reikšmė darbo plokštumoje ($8 \dots 10^\circ$).

Kuprojimo peilių automatizuoto projektavimo algoritmas pateiktas 2 pav.



2 pav. Kuprojo peilių automatizuoto projektavimo algoritmas

3. Kuprojimo peilio profilio skaičiavimas

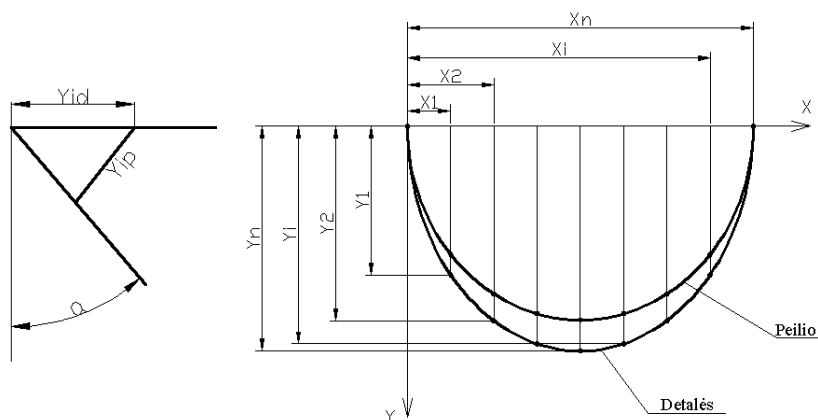
Peilio profilio korekcinis skaičiavimas:

$y'_i = y_i \cdot \cos \alpha_p$, peilio profilio ordinatės $y'_1, y'_2, \dots, y'_i \dots y'_n$;

$y_i = y_i \cdot \cos \alpha_f$, frezos profilio ordinatės $y_1, y_2, \dots, y_i \dots y_n$;

absisės $x_1, x_2, \dots, x_i \dots x_n$;

priekinis kuprojimo peilio kampas $\gamma = 0$.



3 pav. Kuprojimo peilio profilio skaičiavimo schema

4. Išvados

1. Čia projektuojami kuprojimo peiliai yra skirti įgaubtoms ir išgaubtoms frezoms kuproti.
2. Automatizuotas kuprojimo peilių projektavimas sutrumpina projektavimo laiką 5-8 kartus.
3. Kuprojimo peilių projektavimo programa gali būti panaudojama gamyboje ir mechanikos inžinerijos bakalauro studijose.

Literatūra

1. **Bražėnas A., Jurėnas V.** Metalų pjovimo įrankiai. Vilnius: Mokslas. 1991.
2. **Bražėnas A.** Fasoninių įrankių projektavimas. Kaunas: Technologija. 1995.

NESIMETRINIŲ MECHANIŠKAI NEVIENALYČIŲ SUVIRINTŲJŲ JUNGČIŲ ĮTEMPIMŲ IR DEFORMACIJOS SKAIČIAVIMO METODIKA

D. Damaševičius

Kauno technologijos universitetas Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: mechaninis nevienalytiškumas, suvirintasis sujungimas, įtempimų ir deformacijų būvis.

1. Įvadas

Daugumos suvirintųjų sujungimų atskirų zonų mechaninės savybės esti nevienodos, pavyzdžiui., siūlės medžiaga gali būti minkštesnė arba kietesnė už pagrindinį metalą. Be to, suvirinant plienus ties susilydimo linija, susidaro terminio poveikio zona, kuri gali būti minkštesnė arba kietesnė už pagrindinį metalą. Zonos, kurių stiprumas yra mažesnis už pagrindinio metalo, vadinamos minkštais tarp sluoksniais, priešingu atveju – kietais tarp sluoksniais.

2. Nesimetrinis mechaninis nevienalytiškumas

Be simetrinio mechaninio nevienalytiškumo sujungimų, kai minkštas arba kietas tarp sluoksnis iš abiejų pusių yra ribojamas to paties metalo, praktikoje gali būti naudojami ir tokie suvirintieji sujungimai, kurių mechaninis nevienalytiškumas yra nesimetrinis. Toks mechaninis nevienalytiškumas būdingas skirtingų metalų suvirintiesiems sujungimams. Šiuo atveju siūlės stiprumas gali būti didesnis, mažesnis arba tarpinis lyginant su pagrindinių metalų stiprumu. Tarpinis tarp sluoksnis gali būti ir terminio poveikio zona. Suvirininamų termiškai apdirbtų metalų terminio poveikio zona dažniausiai yra minkštas tarp sluoksnis. Virinant perlitinius ir labiau legiruotus plienus, terminio poveikio zona dažniausiai būna kietas tarp sluoksnis. Tempiamų metalų H ir M suvirintųjų sujungimų su tarpiniu tarp sluoksniu MH stiprumas, kai mažėja, prieš suyrant bandiniui, plastiškai deformuotis pradeda ir metalas H. Sujungimo stiprumui nustatyti nurodome empirinę priklausomybę. Sujungimas suyra minkšto metalo pjūvyje, kuriame įtempimų $\sigma_{\chi}^M(\sigma_{\rho}^M)$ yra mažiausi.

3. Įtempimų būvio skaičiavimo metodika

Apskaičiuojant įtempimų būvį, nesimetrinis mechaninis nevienalytis suvirintasis sujungimas gali būti suskirstytas į du simetrinius suvirintuosius sujungimus su skirtingo aukščio tarpsluoksniais ir skirtingais momentinio mechaninio nevienalytiškumo koeficientais. Kai tarpsluoksnis minkštas šių sujungimų santykiniai tarpsluoksnių aukščiai α_1 ir α_2 apskaičiuojami pagal formules:

$$2\alpha = \alpha_1 + \alpha_2; \quad \frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{\tau_{xy}^{*1}}{\tau_{xy}^{*2}} \approx \frac{\sigma_e^{H1}}{\sigma_e^{H2}}. \quad (1)$$

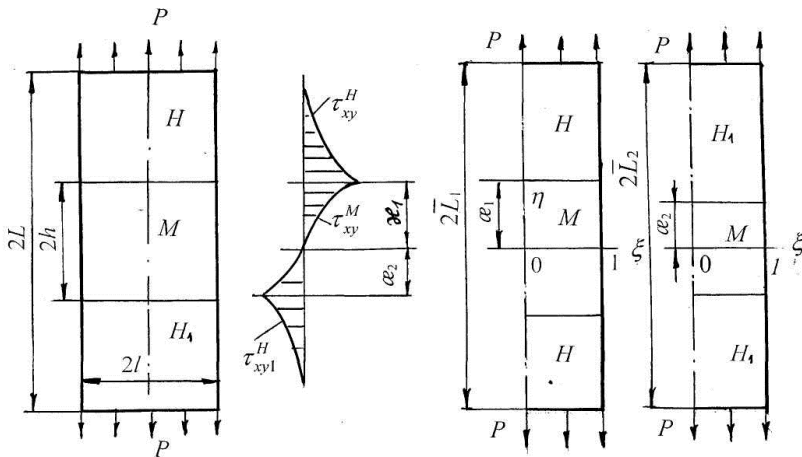
Šiuo atveju įtempimų ir deformacijų būvio komponentai priklauso nuo sujungimo skerspjūvio. Kai tarpsluoksnis minkštas, koordinačių pradžios taškas patikslinamas iš sąlygos:

$$\sigma_i^M(0)_1 = \sigma_i^M(0)_2. \quad (2)$$

Kadangi šiame skerspjūvyje $\tau_{xy}(\tau_{pz}) = 0$, jo deformacijos yra vienodos, kai

$$\sigma_x^M(0)_x = \sigma_i^M(0)_2 \quad (\sigma_p^M(0)_1 = \sigma_p^M(0)_2). \quad (3)$$

Sprendžiant uždavinį, bendras parametras yra vidutinis įtempimas p . Kai deformacija plokščioji, suvirintajam sujungimui su minkštu tarpsluoksniu ši sąlyga išreiškiama priklausomybe



1 pav. Nesimetrinių mechaniškai nevienalyčių suvirintųjų jungčių su minkštu tarpsluoksniu įtempimų deformacijos skaičiavimo schema

$$\begin{aligned} & \frac{f_2(0_1)(\gamma_{N1}-1)}{D^{H1} + f_2(\delta_H) + \gamma_{N1}[f_2(a_1) - D^{M1}]} = \\ & = \frac{f_2(0_2)(\gamma_{N2}-1)}{D^{H2} + f_2(\delta_H) + \gamma_{N2}[f_2(a_2) - D^{M2}]} \end{aligned} \quad (4)$$

Mechaninio nevienalytiškumo koeficientai γ_{N1} ir γ_{N2} nustatomi pagal $\sigma_{i1}^*(0)$ ir $\sigma_{i2}^*(0)$ reikšmes, apskaičiuotas iš priklausomybės, pirmajam priartėjimui į ją įrašius $\gamma_{N1} \approx \sigma_e^{H1}/\sigma_e^M$, $\gamma_{N2} \approx \sigma_e^{H2}/\sigma_e^M$ ir $D^H = D^M = 0$. Tarpsluoksnių aukščius a_1 ir a_2 galima apskaičiuoti pasinaudojant $\sigma_{x(0)}^{M*}$ priklausomybe nuo γ_N .

$$\sigma_{xc}^{M1} = \sigma_{xc}^{M2}, \text{ o } a_1 + a_2 = 2a. \quad (5)$$

Kai sąlyga netenkinama, patikslinama a_1 reikšmė. Santykinį tarpsluoksnių storį a_1 reikia didinti priartėjimo būdu, kol bus pasiekta (5) lygybė norimu tikslumu.

4. Išvados

Apskaičiuojant įtempimų būvį, nesimetrinis mechaninis nevienalytis suvirintasis sujungimas suskirstomas į du simetrinius suvirintuosius sujungimus. Skaičiavimas atliekamas priartėjimo būdu keičiant a_1 reikšmę, kol bus tenkinama sąlyga $\sigma_{xc}^{M1} = \sigma_{xc}^{M2}$.

Literatūra

1. **A. Bražėnas.** „Tamprumo ir plastiškumo teorijų pagrindai“, VŠĮ Šiaulių universiteto leidykla 2003 – 176 p.
2. **A. Bražėnas.** „Strength and Low Cycle Fatigue of Mechanically Heterogeneous Butt Welded Joints, Monograph“ Kaunas, 2002.

AUTOMATIZUOTŲ SISTEMŲ TAIKYMAS NESTANDARTINIŲ REDUKTORIŲ PROJEKTAVIME

V. Sarapas

Kauno technologijos universitetas Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: automatizuotas projektavimas, CAD, kūginis reduktorius, kūginės pavaros.

1. Įvadas

Šiuo metu pasaulyje tobulėjant įvairioms technologijoms vis plačiau naudojamos automatizuoto projektavimo sistemos – CAD/CAM. Yra nemažai plokštuminių ir erdvinių objektų automatizuoto projektavimo ir modeliavimo sistemų. Dauguma jų yra gana universalios ir skirtos projektavimo proceso kompleksiniam automatizavimui, mašinų gamybos ir kitų pramonės šakų produkcijos gamybai ir analizei. Tačiau nėra automatizuoto projektavimo sistemos, kurioje būtų pilnai realizuoti visi reduktorių projektavimo etapai.

2. Automatizuoto projektavimo sistemų apžvalga

AutoCAD 2007 – projektuojant gaminius šiuo metu plačiai naudojama Autodesk firmos automatizuoto braižymo ir projektavimo sistema AutoCAD (Automate Computer Aided Drafting and Design). Šiuo metu AutoCAD yra populiariausia automatizuoto projektavimo sistema Lietuvoje.

AutoCAD turi tobulas dvimačio projektavimo ir brėžinių formavimo priemones, užtikrinančias efektyvų kolektyvinį darbą.

AutoCAD galima sukurti originalias specializuotas programas panaudojant Visual BASIC (VBA), AutoLisp, C++ ir kt. programavimo kalbas. Macros'ų panaudojimas taip pat įgalina automatizuoti kai kuriuos projektavimo etapus. Pakete galima susikurti duomenų bases. AutoCAD'e nėra automatizuoto projektavimo įrankių skirtų reduktorių projektavimui [1,2].

AutoCAD – bazinė sistema, kurios pagrindu sukurta visa eilė taikomųjų programų įvairioms sritims:

- mechanikai (Autodesk Mechanical Desktop);
- elektros inžinerijai (AutoCAD Electrical);
- architektūrai (AutoCAD Architecture);
- statybai (AutoCAD Civil 3D, AutoCAD Land Desktop) ir t.t.

Autodesk Mechanical Desktop 2007 – specializuotas AutoCAD'o programinis modulis, skirtas mechaninių objektų automatizuotam konstravimui. Programoje naudojami nauji paviršių projektavimo ir detalių modeliavimo įrankiai, bei ACIS branduolys pagreitina vaizdų ir modelių kūrimą sudėtingesnėse projekto komponentėse – paviršių perėjimuose, denginiuose ir tempiniuose išilgai kreivės. Dvimačiai vaizdai brėžiniams generuojami automatiškai ir yra abipusiai asociatyvūs. Autodesk Mechanical Desktop žymiai praplėstos modeliavimo galimybės trimatėje erdvėje lyginant su AutoCAD. Paketas turi tipinių standartinių elementų duomenų bazes (varžtų, pleiščių, guolių ir kt.). Yra galimybė suprojektuoti tipinių pavarų elementus: veleną, krumpliaratį, žvaigždutę, skriemulį ir kt.

Autodesk Mechanical Desktop nėra galimybės atlikti stipruminių krumplinių pavarų, pleiščių, išdrožų ir pan. skaičiavimų. [1].

Autodesk Inventor Professional 10 – skirta gaminio modeliavimui, detalizavimui ir surinkimui. Programa teikia pilną įrankių komplektą projektavimui trimatėje erdvėje ir brėžinių paruošimui. Inventor skirtas projektuoti iki 20000 detalių turinčius gaminius.. Gaminio detalėms projektuoti be įprastinių trimačių įrankių yra specializuoti įrankiai: lankstiniams iš lakštinės medžiagos, trimačiam trasavimui vamzdžiams ir kabeliams, surinkimui su suvirimo siūlėmis, ir sudėtingos skulptūrinės formos detalėms, bei jų gaminio formoms. Programa be įprasto parametrinio projektavimo palaiko adaptivių detalių ryšių technologiją, kuri supaprastina surinkimo darbą. Detalės judesys junginiuose leidžia modeliuoti kinematinės užduotis. Programa turi platų standartinių detalių ir profilių katalogą virš 12 klasių pagal 18 šalių standartus (ISO, GOST, DIN, ANSI ir kiti). Duomenų bazėje detalių klasės, kurių yra virš 12, apima varžtus, veržles, poveržles, reguliavimo žiedus, guolius, kaiščius, riedėjimo guolius, veleno elementus ir kiti.[3].

Solid Edge V20 – sistema turi ir gali prisijungti įvairius papildomus automatizuoto projektavimo modulius, kurie leidžia dirbti su lakštiniu metalu, projektuoti atskiras detales, atlikti detalių ir mazgų surinkimą, paruošti (pildyti) konstrukcinę dokumentaciją įvairiais standartais (ISO, DIN, ANSI), sudaryti fotorealius vaizdus ir kt.

Solid Edge komandos suskirstytos į skirtingas funkcijų grupes, atliekant skirtingas operacijas: detalių modeliavimas, surinkimas, brėžinių dokumentacijų sudarymas. Visos darbinės sritys (terpės) glaustai tarpusavyje integruotos ir reikalui esant vartotojas gali lengvai pereiti iš vienos į kitą. Sistema siūloma baziniu rinkiniu Classic Bundle ir gali plėstis papildomais modeliais [4].

Unigraphics NX4 - Automatizuoto projektavimo sistema leidžia lengvai projektuoti net pačias sudėtingiausias geometrines formas, detales. Unigraphics mechaninio apdirbimo moduliai pastoviai aplejami skirtinguose aeronautikos ir automobilių pramonės projektuose, mašinų gamyboje [4].

Unigraphics turi platų spektrą automatizuoto projektavimo modulių.

Dirbant su Unigraphics galimi ir bet kokie pakeitimai, padaryti bet kokiame projektavimo etape su sąlyga, kad bus automatiškai pakoreguotos visos sekančios operacijos. Duomenų bazė palaikoma griežta architektūra, leidžiančia lengvai įterpti naujas funkcines galimybes būsimose automatizuoto projektavimo sistemos versijose.

Solid Works 2007 – tai parametrinio modeliavimo sistema, skirta detalių modeliavimui ir jų surinkimui trimatėje aplinkoje su galimybe atlikti įvairius tipo „ekspres-analizes“, taip pat atlikti konstruktorinės dokumentacijos apipavidalinimą pagal įvairius, tame tarpe ir EKCD standartus.

Naudojantis Solid Works galima modeliuoti tūrinių elementų pagrindu, galimas daugiakūnių detalių modelių kūrimo istorijos valdymas. Rankinis ir automatinis matmenų išdėstymas, taip pat dinamiškas pakeitimų įvedimas realiame laike. Solid Works įgalina bet kokius elementų masyvo kūrimus – apskrito ar linijinio, valdomo lentelėmis ir eskizais, naudojant standartines bibliotekas.

„SolidWorks“ programiniame pakete galima panaudoti tokius programinius produktus, kaip „C++“ ir „Visual Basic“ programavimo kalbomis aprašytus priedus. Antai, programa, parengta su „Visual Basic“ ir vykdoma kartu su „SolidWorks“ ir „Ms Excel“ gali apskaičiuoti ne tik tikimybinį svorio centrą ir inercines savybes, bet kartu vykdyti ir parduodamų detalių apskaitą. Naujai įdiegtos funkcijos, leidžia vartotojui sutaupyti laiko naujų modelių kūrimui, kadangi ši programinė įranga turi detalių standartizuotų komponentų biblioteką, o naujos SWIFT technologijos priemonės ir papildomi priedai padeda tiksliau išspręsti projektavimo metu iškilusias problemas.

Solid Works atlieka ekspres – analizę detalių stiprumui ir mechanizmų kinematikai:

- Įtempimų, deformacijų nustatymas, stiprumo atsargos koeficiento paskaičiavimas;
- Mechanizmų darbo simuliacija, detalių tarpusavio susikirtimo paieška ir kolizijų tarp grandžių analizė.
- Kontaktiniai sąlyčio veiksmai, spyruoklės, gravitacija.

Automatinis modelio matmenų atvaizdavimas, informacinių matmenų „išnešimas“, lengvas detalių specifikacijų generavimas. Analogiškas funkcijas galima atlikti su Solid Edge ir Unigraphics sistemomis.[5].

Pro/ENGINEER Wildfire 3.0 – programinis paketas susidedantis iš eilės programinių modulių, skirtų spręsti konstruktorinius projektavimo uždavinius.

Projektavimas atliekamas trimatėje erdvėje. Projektavimo operacijos išsaugomos projektavimo medyje ir leidžia inžinieriui grįžti į bet kurį darbo etapą ir atlikus svarbius pakeitimus, bus automatiškai pakoreguotos visos sekančios operacijos.

Moduliai suteikia galimybę kurti atskiras detales ir sudėtingas surinkimo konstrukcijas. Jie leidžia projektuoti ir valdyti surinkimų konstrukcijas, kurias sudaro sudėtingos formos ir didelis skaičius surinkimo elementų, taip pat automatiškai atlieka patikrinimus ar teisingai renkama konstrukcija. Tai sumažina projektavimo laiką ir klaidų atsiradimo tikimybę, atliekant projektavimo darbus. Automatizuoto krumplinių pavarų projektavimo rasti nepavyko.[6].

3. Programų palyginimas

Autodesk Mechanical Desktop yra pranašesnis už AutoCAD, nes turi visą eilę tipinių elementų (varžtų, guolių, velenų ir pan.) automatizuoto projektavimo ir braižymo priemones.

SolidWorks 2007, SolidEdge v20 ir Autodesk Inventor Professional v10 yra lygiavertės programos – tai parametrinio modeliavimo sistemos, skirtos detalių modeliavimui ir jų surinkimui trimatėje erdvėje, atlikti įvairaus tipo „ekspres-analizes“, taip pat atlikti konstruktorinės dokumentacijos apipavidalinimą pagal įvairius standartus. Šios programos suskirstytos į skirtingas funkcijų grupes (detalė, surinkimas, brėžinys, lakštų lankstymas ir pan.).

Ne visos programos turi krumplinių pavarų, velenų automatizuoto projektavimo modulius (AutoCAD). Programiniai paketai AutoCAD, Solid Edge, Inventor, Solid Works, Pro/ENGINEER Wildfire ir kiti yra universalūs, o Autodesk Mechanical Desktop specializuotas mechaninių objektų projektavimui. Juo galima suprojektuoti veleną-krumpliaračį, bet atskirai suprojektuoti krumpliaračio nėra galimybių. turintys veleno klasės detalių automatizuoto projektavimo modulius nėra universalūs. Autodesk Mechanical Desktop nėra kūginio krumpliaračio ir slieko automatizuoto projektavimo.

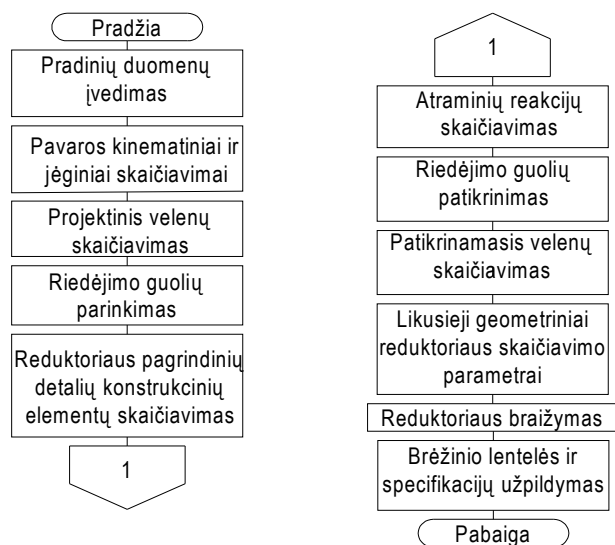
Autodesk inventor professional turi platų standartinių detalių ir profilių katalogą virš 12 klasių pagal 18 šalių standartus (ISO, GOST, DIN, ANSI ir kiti). Duomenų bazėje detalių klasės, kurių yra virš 12, apima varžtus, varžles, poveržles, reguliavimo žiedus, guolius, kaiščius, riedėjimo guolius, veleno elementus ir kiti. Kitos programos turi kuklesnes duomenų bazines.

Programiniuose paketuose skiriasi naujų specializuotų įrankių kūrimo priemonės. AutoCAD'e galima sukurti originalias specializuotas programas panaudojant Visual BASIC (VBA), AutoLisp, C++ ir kt. programavimo kalbas. Kitose programose kaip Solid Work yra tik C++ ir Visual BASIC programavimo kalbos.

Visuose programiniuose paketuose realizuoti tipiniai ir plačiai naudojami elementai automatizuotame projektavime, bet nei viename nėra reduktoriaus korpuso automatizuoto projektavimo ir automatizuoto gaminio surinkimo.

4. Automatizuoto vieno laipsnio kūginio reduktoriaus projektavimo algoritmas

Pagal 1 pav. pateiktą algoritmą bus sukurtas vieno laipsnio kūginio reduktoriaus automatizuoto projektavimo modulis.



1. pav. Automatizuoto vieno laipsnio kūginio reduktoriaus projektavimo algoritmas

4. Išvados

Darbe atlikta automatizuotų sistemų apžvalga. AutoCAD'as šiai dienai yra plačiausiai naudojamas automatizuotame projektavime Panevėžio regione. Todėl reduktoriaus automatizuotas projektavimas bus realizuotas AutoCAD'o terpėje.

Literatūra

1. <http://www.autodesk.com>
2. V. Sinkevičius. AutoCAD 2007. Kaunas, 2007
3. <http://www.autodesk.com/inventor>
4. <http://www.ugs.com>
5. <http://www.solidworks.com>
6. <http://www.ptc.com>

VIDINIŲ PRATRAUKTUVŲ AUTOMATIZUOTO PROJEKTAVIMO METODIKA

D. Gindvilas

Kauno technologijos universitetas Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: vidiniai pratrauktuvai, Visual Basic, skaičiavimas, konstravimas, stiprumas.

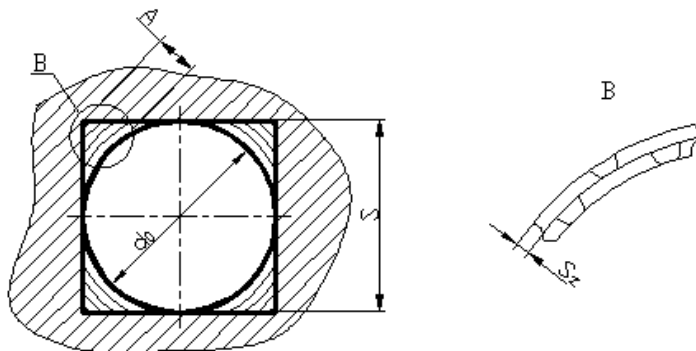
1. Įvadas

Automatizuotas įrankių projektavimas tai šiuolaikinė projektavimo ir gamybos priemonė, kuri žymiai palengvina projektų sudarymą, vartotojui nebereikia atlikti įvairiausių skaičiavimų, brėžimų, sumažėja klaidų atsiradimo tikimybė.

Automatizuotam įrankių projektavimui atlikti yra įvairių metodų. Aš projektavimą atliksiu AutoCAD programa panaudodamas Visual Basic programavimo kalbą. Ji įgalina paskaičiuoti ir parinkti pratrauktuvo konstrukcinius parametrus, bei nubraižyti brėžinį.

2. Kvadratinų pratrauktuvų projektavimo ypatumai

1. *Paskaičiuojama užlaida A* kurią reikia nupjauti (1 pav). Visa užlaida nupjaunama lygiagrečiais sluoksniais, kurios forma skiriasi nuo apdirbtojo paviršiaus formos.



1 pav. Pratrauktuvo pjovimo schema

2. *Dantų kilimo aukščio nustatymas*, tai trauktuvo gretimų dantų aukščio skirtumas. Jis priklauso nuo nupjaunamo sluoksnio storio, medžiagos, jos standumo. Pratrauktuvo schema pasirenkama nuoseklioji, todėl pjaunančiosios dalies dantų kontūrai laipsniškai kinta nuo pradinės skylės formos iki kvadrato formos.

3. *Dantų ir tarpdančių profilio parinkimas* atliekamas atsižvelgiant į tai, kad danties per visą perėjimą nupjauta drožlė tilptų tarpdantyje, dantys būtų pakankamai stiprūs.

4. *Dantų geometrinių parametrų parinkimas*. Dantų priekinis kampas parenkamas atsižvelgiant į apdirbamos medžiagos fizines ir mechanines savybes, jis turi įtakos drožlės formai, deformacijai. Užpakalinio kampo dydis turi įtakos pjovimo briaunos patvarumui ir apdirbamų paviršių kokybei.

5. *Dantų skaičiaus nustatymas*. Vienu metu pjaunančių dantų skaičius turi būti ne mažesnis kaip 3, taip gauname tolygesnį pjovimą. Dantų skaičius priklauso nuo apdirbamo paviršiaus storio, bei medžiagos. Valymo dantų skaičius imamas lygus 3-4. kalibravimo dantų skaičius parenkamas atsižvelgiant į tikslumą.

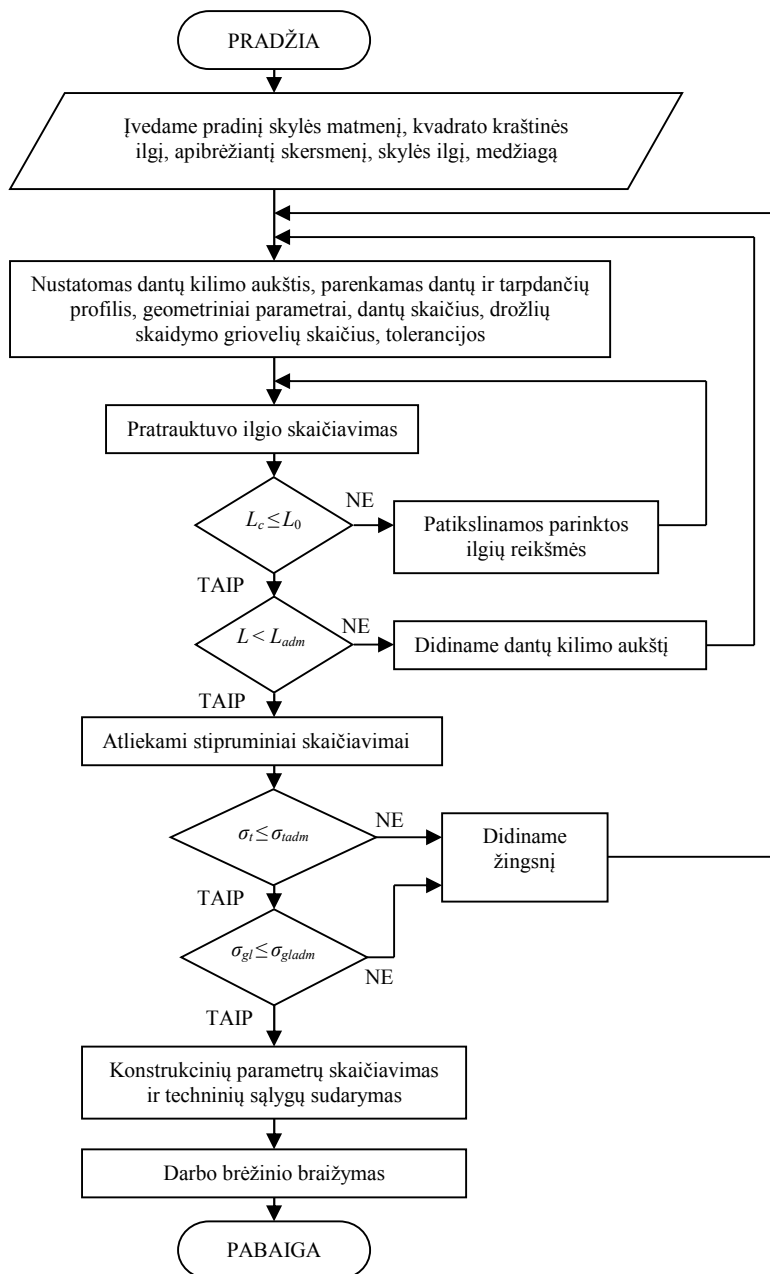
6. *Drožlių skaidymo griovelių skaičiaus parinkimas*. Jie daromi tam, kad plačią drožlę suskaidytų į dalis, tai palengvina trauktuvo darbą, drožlė lengviau telpa tarpdančiuose. Skaičiavimas atliekamas atsižvelgiant į drožlės plotį, kadangi šiuo atveju drožlės plotis kintamas kiekvienam dančiui imsime skirtingą griovelių skaičių.

7. *Pagrindinių matmenų tolerancijų parinkimas*. Pratrauktuvų pagrindinių matmenų tolerancijų dydžiai parenkami standartiniai

8. *Pratrauktuvo ilgio skaičiavimas*. Pratrauktuvo atskirų koto dalių ilgiai parenkami standartiniai iš lentelių, o pjaunančiosios, valančiosios klibruojančios dalies ilgiai paskaičiuojami pagal formules. Gauti ilgiai sumuojami ir gaunamas bendras pratrauktuvo ilgis, kuris neturi viršyti leistinojo ilgio.

9. *Pratrauktuvo stipruminiai skaičiavimai*. Darbo metu pratrauktuvas yra tempiamas tokia jėga, kad nugalėtų pjovimo jėgų pasipriešinimą. Todėl norint atlikti skaičiavimus pirmiausiai paskaičiuojama pjovimo jėga, bei pavojausiai pratrauktuvo skerspjūvių plotai: skerspjūvis ties pirmuoju dantimi, bei kotu. Pratrauktuvas yra tikrinamas tempimo atsparumui, bei koto kakliuko glemžimo atsparumui.

Pratrauktuvo automatizuoto projektavimo algoritmas pateiktas 2 pav.



2.pav. Algoritmo schema

3. Išvados

1. Sudaryta programa pagreitina kvadratinų pratrauktuvų projektavimą, taupo laiką, sumažina klaidų atsiradimo tikimybę.
2. Programą galima panaudoti tiek gamyboje, tiek mechaninių specialybių studentams studijų metu.
3. Programa skirta kvadratinų pratrauktuvų dirbančių pagal nuosekliają pjovimo schemą projektavimui.
4. Projektavimas atliekamas AutoCAD programa panaudojant Visual Basic programavimo kalbą.
5. Bus parašyta programa kuri apskaičiuos ir parinks pratrauktuvo konstrukcinius elementus, bei nubraižys darbo brėžinį.

Literatūra

1. **Bareišis J.** Trauktuvų projektavimas mokymo priemonė. Vilnius 1988. p. 56.
2. **Bražėnas A., Jurėnas V.** Metalų pjovimo įrankiai. Vilnius 1991. p. 336.
3. **Кирсанова Г.Н.** Руководство по курсавому проектированию металлорежущих инструментов. Москва 1986. с. 287.

KVADRATINIO SKERSPJŪVIO SLUOKSNIUOTŲ KONSTRUKCINIŲ ELEMENTŲ OPTIMIZACIJOS UŽDAVINIO FORMULAVIMAS

K. Norkutė

Kauno technologijos universitetas Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: elementai, skerspjūvis, optimizacijos uždavinys

1. Įvadas

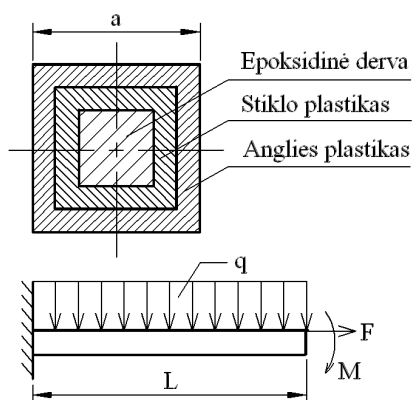
Parenkant sluoksnių medžiagas, keičiant skerspjūvio geometrinius matmenis, nustatant sluoksnių klojimo tvarką – galima gauti optimalią daugiasluoksnę konstrukciją. Tokios sluoksniuotos konstrukcijos daugeliu požiūrių yra pranašesnės už vientisines. Tačiau tam būtina išspręsti daugiasluoksnių konstrukcijos optimizacijos uždavinį, pasirinktų savybių, nusakančių konstrukcijos optimalumą, atžvilgiu [1-3]. Optimizacijos uždaviniui spręsti yra sukurta labai daug ir įvairių metodų [3-5]. Mechaninėse konstrukcijose dažniausiai optimizacijos uždavinio sprendinys yra, pavyzdžiui, didžiausio standumo ir stiprumo, mažiausios masės ir kainos konstrukcija, optimalios formos konstrukcija ir pan. [6-9].

2. Tyrimo objektas

Optimizuojamas konstrukcinis elementas buvo formuojamas iš keturių medžiagų: anglies plastiko A, karšto S_k ir šalto S_s kietėjimo stiklo plastikų bei epoksidinės dervos D. Optimizuojamo kvadratinio elemento matmenys – pastovūs: ilgis L , aukštis, plotis a . Konstrukcinis elementas buvo veikiamas sąlyginių maksimalių apkrovų: ašinės jėgos N , sloginio q ir lenkimo momento M .

Taikant tikslo funkciją su jautrumo ir svarbos koeficientais, buvo atlikta trisluoksnių konstrukcinių elementų optimizacija. Optimalus konstrukcinis elementas buvo renkamas iš 6 konstrukcijų, gautų panaudojant aukščiau paminėtas medžiagas:

- | | | |
|-----------------|----------------------------|----------------------------|
| 1. A- S_k -A; | 3. S_k -A- S_k ; | 5. S_s -A- S_s ; |
| 2. A- S_s -A; | 4. S_k - S_s - S_k ; | 6. S_s - S_k - S_s ; |



1 pav. Nagrinėjamas konstrukcinis elementas

1 lentelė. Parinktų medžiagų fizinės mechaninės savybės

Eil. Nr.	Medžiaga	Tankis ρ , kg/m ³	Stiprumas, MPa				E , GPa	G , GPa
			Tempimui	Gniuždymui	Lenkimui	Šlyčiai		
1.	Stikloplastas (S_s)	2,0	300	100	490	50	15	2,7
2.	Stikloplastas (S_k)	2,2	470	230	770	-	25	-
3.	Anglies plastikas	1,55	1400	1100	-	74	143	5,5
4.	Epoksidinė derva	-	-	-	22,3	-	1,6	-

3. Sluoksniuotų konstrukcinių elementų skaičiavimo metodika

Skaičiavimo metodika remiasi šiomis prielaidomis [4]:

1. Besiformuojančio konstrukcinio elemento skersiniai pjūviai lieka plokšti ir statmeni išilginiams elemento sluoksniams nepriklausomai nuo to, ar sluoksnio medžiaga linijškai tampri;
2. Linijinės išilginės deformacijos konstrukcinio elemento aukštyje pasiskirsčiusios pagal linijinį dėsnį;
3. Sluoksnių sujungimo vietose nėra praslydimo;
4. Sluoksnio mechaninės charakteristikos priklauso nuo kompozito armuojančiosios ir rišamosios medžiagos, kaip visumos, savybių, nustatomų eksperimentiniu būdu;

5. Taikant šią metodiką svarbu žinoti medžiagų charakteristika apkrovos veikimo kryptimi.

Sluoksniuoto konstrukcinio elemento ašinis standumas

$$B = \sum_{i=1}^n A_i E_i; \quad (1)$$

čia A_i – sluoksniuoto skerspjūvio plotas; E_i – sluoksniuoto medžiagos tamprumo modulis; n – sluoksnių skaičius;

Sluoksniuoto konstrukcinio elemento standumas lenkimui

$$D = \sum_{i=1}^n E_i J_i; \quad (2)$$

čia J_i – sluoksnių skerspjūvių inercijos momentai elemento neutralios ašies atžvilgiu

Normaliai įtempimai konstrukcinio elemento sluoksniuose

$$\sigma_{xi} = E_i \left(\frac{N}{B} + \frac{M}{D} \cdot y_i \right); \quad (3)$$

čia N – ašinė jėga; M – lenkimo momentas; y_i – nagrinėjamo pjūvio atstumas iki elemento neutralios ašies.

Tangentiniai įtempimai

$$\tau_{xyi} = \frac{F}{D} \cdot \frac{|C_y|}{b_i}; \quad (4)$$

čia F – skersinė jėga.

4. Optimizacijos uždavinio formulavimas

Sluoksniuotų konstrukcinių elementų optimizavimui taikoma sąlyginė optimizacija, tai yra tikslo funkcijos apribojimai realizuojami užduodant juos sąlygos pavidalu. Kadangi konstrukcinis elementas bus optimizuojamas kelių parametru požiūriu, t.y. standumų B ir D bei masės m ir kainos C , tai reiškia, kad bus sprendžiamas daugiamatės optimizacijos uždavinys. Taigi tikslo funkciją, kuri kokybiškai nusako sluoksniuoto (konstrukcinio) elemento konstrukciją, sudarys keturios funkcijos, iš kurių dvi reikia maksimizuoti (standumus tempiant ir lenkiant) ir dvi – minimizuoti (masę ir kainą).

4.1. Apribojimai

Projektuojamas daugiasluoksnis konstrukcinis elementas turi tenkinti jam keliamus standumo, stiprumo, masės, kainos ir kt. reikalavimus. Tam, kad konstrukcinis elementas atitiktų jam keliamus reikalavimus, tikslo funkcijai

užduodami globaliniai (viso daugiasluoksnio konstrukcinio elemento) ir lokaliniai (kiekvieno konstrukcinio elemento sluoksnio) apribojimai.

Globaliniai apribojimai. Globaliniai apribojimai yra užduodami konstrukcinio elemento standumui tempiant (gniuždant) B , standumui lenkiant D , masei m , kainai C , pagrindinių sluoksniuose kylančių normalinių įtempimų σ_{ix} šuolio, gaunamo pereinant iš vieno sluoksnio į kitą, dydžiui t_σ ir šlyties standumui K .

Lokaliniai apribojimai. Lokaliniai apribojimai yra užduodami konstrukcinio elemento sluoksniuose kylantiems pagrindiniams normaliniams σ_x ir tangentiniams τ_{xy} įtempimams, kurie, veikiant tam tikrai apkrovai, neturi viršyti medžiagos leistinųjų įtempimų; ir sluoksnių medžiagos stiprumo savybių išnaudojimui, apibūdinamam medžiagos stiprumo išnaudojimo koeficientu k_σ .

Aktualiausio optimizacijos kriterijaus apribojimai. Optimizacijos kriterijai – sluoksniuoto konstrukcinio elemento charakteristikos B , D , m ir C , yra lygiaverčiai kriterijai. Projektuojant konstrukciją projektuotojui arba užsakovui dažniausiai svarbiausias būna tik vienas kriterijus, viena charakteristika.

4.2. Optimizacijos kriterijai ir tikslo funkcija

Optimizacijos kriterijai. Optimaliai daugiasluoksnio kompozicinio konstrukcinio elemento konstrukcijai nustatyti buvo parinkti keturi optimalumo rodikliai – elemento ašinis standumas B , standumas lenkimui D , elemento masė m ir kaina C . Šios keturios charakteristikos toliau bus vadinamos optimizacijos kriterijais. Optimalia daugiasluoksnio konstrukcinio elemento konstrukcija bus laikoma tokia konstrukcija, kuri turės didžiausius standumus tempimui (gniuždymui) B ir lenkimui D ir mažiausią masę m bei kainą C . Kiekvienas iš optimizacijos kriterijų yra apibūdinamas funkcija $\varphi_i(P, \delta)$.

Tikslo funkcija. Keturių optimizacijos kriterijų pagrindu sudaryta optimizacijos tikslo funkcija $\Phi(P, \delta)$, kuri skaitiškai įvertina daugiasluoksnio konstrukcinio elemento konstrukcijos racionalumą:

$$\Phi(P, \delta) = f(B, D, M, C) = f(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4) = f(\varphi_i(P, \delta)). \quad (1)$$

Didžiausia tikslo funkcijos reikšmė atitiks optimalią daugiasluoksnio konstrukcinio elemento konstrukciją, pasižyminčią didžiausiu standumu B ir D bei mažiausia elemento mase m ir kaina C . Taigi elemento konstrukcijos optimizacijos uždavinys yra tikslo funkcijos $\Phi(P, \delta)$, maksimizacija.

5. Išvados

1. Konstrukcinių elementų optimizavimui būtų taikoma sąlyginė optimizacija.
2. Parinkus kelis parametrus gali būtų spręsti daugiamatės optimizacijos uždavinį.
3. Formuluoiant uždavinį užsiduoti apribojimai t.y. lokaliniai ir globaliniai.
4. Aptarta metodika, bei tikslo funkcija.

Literatūra

1. **J. Bareišis, D. Garuckas, A. Mikulskas, D. Striukienė.** Trisluoksnių konstrukcinių elementų standumas ir deformacijos. Tarptautinės konferencijos „Mechanika-97“ medžiaga. Kaunas: Technologija, 1997. – p. 257÷264.
2. **Й. Барейшис, Д. Гаруцкас.** Применение многослойных композитных элементов для повышения прочности и жесткости конструкций. Материалы международной научной конференции «Балттехмаш-98». Калининград: КГТУ, 1998. – с. 58÷59.
3. **Поляк Б.Т.** Введение в оптимизацию. -Москва, 1983. -384 с.
4. **Ostaševičius V.** Optimalus konstrukcijų projektavimas. -Kaunas, 1986. -75 p.
5. **Ольхофф М.** Оптимальное проектирование конструкций. -Москва, 1981. -276 с.
6. **Хог Э., Арора Я.** Прикладное оптимальное проектирование. -Москва, 1983. -476 с.
7. **Габасов Р.И., Кириллова А.М.** Методы оптимизации. -Минск, 1975. -280 с.
8. **Гилл Ф., Мюррей У., Райт М.** Практическая оптимизация. -Москва, 1985. -509 с.
9. **Гринев В.Б., Филиппов А.П.** Оптимизация элементов конструкций по механическим характеристикам. -Киев, 1975. -293 с.

GAMINIO GAMYBOS IŠLAIDŲ MAŽINIMASNAUDOJANT RACIONALIUS GAMYBOS PROCESO RODIKLIUS

M. Petravičius

Kauno technologijos universitetas Panevėžio institutas

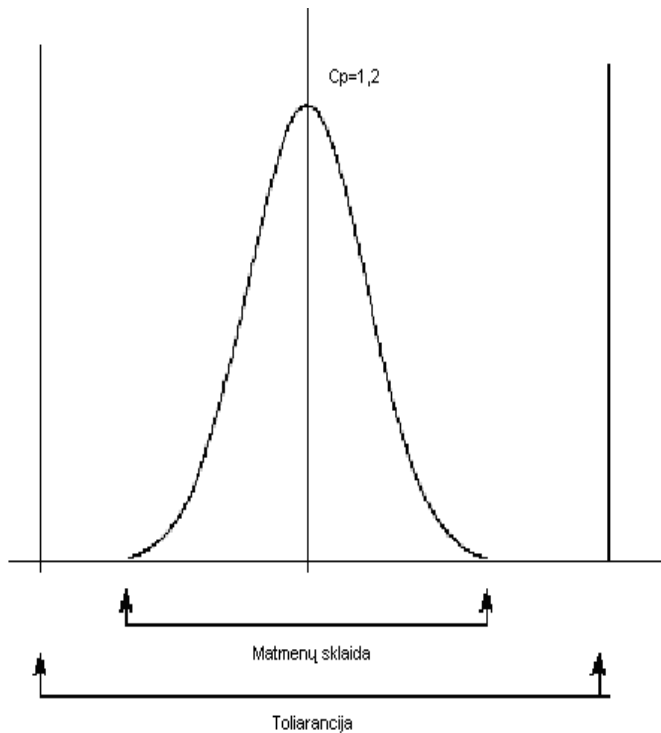
Raktiniai žodžiai: proceso galimybių rodiklis, kontrolė, ekonomiškumas, optimalumas, brokas.

1. Įvadas

Lietuvoje mašinų gamybos pramonė šiuo metu atsidūrusi sunkioje būklėje. Didžiausių mašinų gamybos įmonių gaminama produkcijos kokybė neatitinka pasaulinių standartų lygio yra imli darbui, energijai, nes vykdoma gamyba buvo masinio pobūdžio ir esantys įrengimai, įranga daugiausiai specialūs, specializuoti. Todėl kintant produkcijai, įrangos nebuvo galima perderinti, pritaikyti. Išliko tik tos įmonės, kurios laiku ėmė diegti pažangią technologiją, lanksčios gamybos metodus, susirado gamybos partnerius Vakarų šalyse. Būtina įmones reorganizuoti, atnaujinti gamybinius fondus, diegti pažangias technologijas. Gamyba turi būti lanksti, greitai reaguoti į rinkos poreikius. Įrengimai turi būti lankstūs, universalūs, su programiniu valdymu. Įranga – daugumoje universali, surenkama iš unifikuotų elementų. Reikia taisyti ir diegti žinomų firmų pjovimo įrankius, leidžiančius padidinti darbų spartą.

2. Racionalus proceso rodiklis (Cp)

Gali kilti paprastas klausimas, kas yra racionalus proceso rodiklis? Racionalus proceso rodiklis (Cp) – sieja tolerancija su gamyboje gaunamų matmenų sklaida. Ir padeda išsirinkti optimaliausio variantą, iš keleto galimų, kad gamyba būtų greita, kokybiška ir pelninga. Optimaliausias racionalus proceso rodiklis būna kažkur apie 1,2.



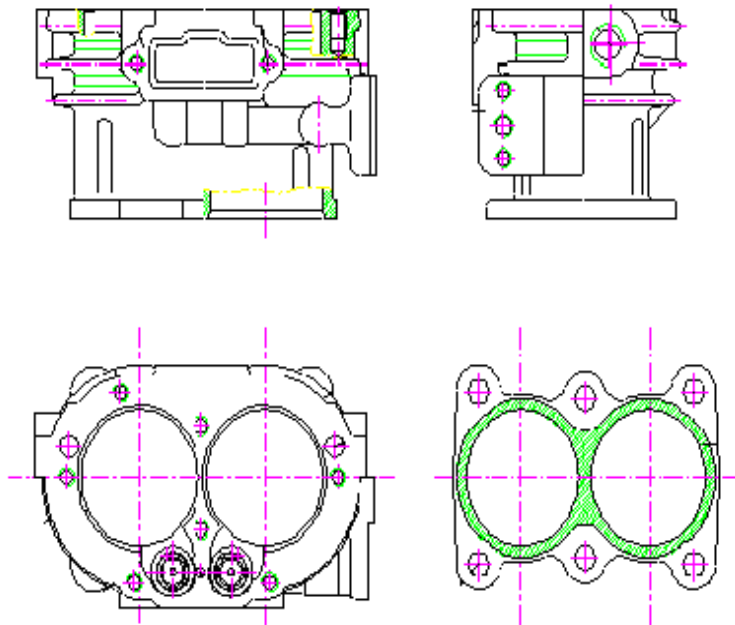
1. pav. Racionalus proceso rodiklio diagrama

3. Tiriamoji detalė

Toliau darbe nagrinėsiu skirtingo tipo detales: kompresoriaus karterį, galvutę, veleną. Kaip pavyzdį šiame darbe pasirinkau nagrinėjamą detalę – kompresoriaus cilindro bloko gamybą. Detalė pateikta 2 pav. Kompresoriaus cilindro bloko gamyba masinė. Atlikus skaičiavimus, gaminant detalę, optimaliausias ruošinys yra liejimas kokilėje.

Kompresoriaus cilindro blokas bus gaminamas dviejuose gamybos sistemose. Pirmoje gamybos sistemoje-1, gamybai naudojamos naujos staklės su programiniu valdymu: Mazak Nekus 410 A, horizontalus apdirbimo centras Huller Hiller ir honingavimo SZXM. Šios gamybos pranašumas, kad gamina kokybiškai ir tiksliai. Gaminat nauja įranga detalė yra greičiau pagaminama ir sutaupomos lėšos, kurių reikia mažiau skirti kontrolei.

Antroje gamybos sistemoje-2, gamybai naudojamos senos modifikacijos staklės. Didžiausias privalumas šios gamybos yra tas, kad ji gamina daug ir greitai. Dėl staklių išsidėstymo nėra užtikrinama detalės



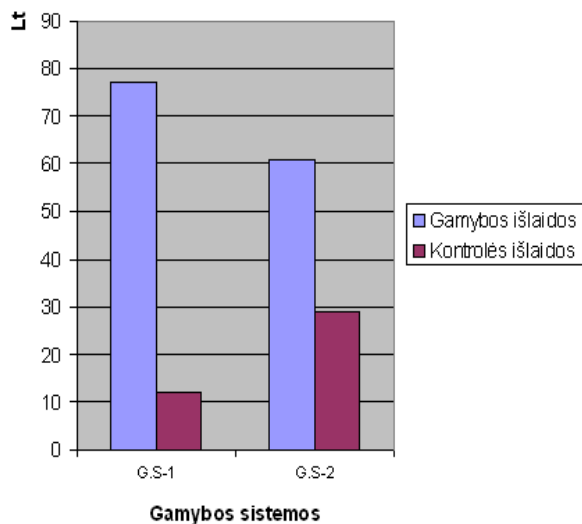
2 pav. Kompresoriaus cilindų blokas

kokybė, todėl reikia kontroliuoti kiekvieną pagamintą detalę. Šioje gamybos dalyje išiekuojamos didelės lėšos kontrolei, kadangi reikia kontroliuoti kiekvieną pagamintą detalę.

Didelė problema - šių gaminių realizacija, nes rinkoje gaunasi didelė konkurencija. Atsiranda tokių konkurentų, kurie superka detales ir visą gaminių surenka patys. Taip jie sutaupo daug lėšų, todėl gamintojui reikia stengtis gaminti kuo pigiau ir kokybiškiau, kad būtų mažiau broko ir išlaikyti aukštą kokybę, kad rinkoje išlaikytų savo konkurenciją.

4. Detalės gamybos išlaidų mažinimas

Gamyboje labai svarbu gaminti greitai ir pigiai, bet svarbiausia nepamiršti kokybės. Diagramoje pavaizduota kaip priklauso gaminio kaina nuo gamybos ir kontrolės išlaidų. Rezultatai nėra tikslūs toliau dirbant jie bus patikslinti. Pirmoje diagramos skiltyje pavaizduota kompresoriaus cilindro bloko gamybos ir kontrolės išlaidos gamybos sistemoje-1. Kadangi cilindų blokas gaminamas su naujomis staklėmis, broką tikrinsime kas šimtąją detalę. Antroje diagramos skiltyje pavaizduota, kompresoriaus cilindų bloko ir kontrolės išlaidos gamybos sistemoje-2. Detalė gaminama senos modifikacijos staklėmis, todėl broką tikrinsime kas penktąją detalę.



3 pav. Kompresoriaus cilindro bloko gamybos ir kontrolės išlaidų diagrama

Kai matyti iš 3 pav. kontrolės išlaidos skiriasi. Nors gaminant detales, senos modifikacijos staklėmis, jų pagaminama žymiai daugiau, greičiau ir pigiau, bet, kaip matyti iš 3 pav., antros diagramos skiltyje smarkiai išauga kontrolės išlaidos. Vadinasi pabrangsta pats gaminys, nes reikia daugiau lėšų skirti kontrolei. Todėl pailgėja ir visos detalės gamyba. Gamybos sistemoje-1 kompresoriaus cilindro blokas gaminamas brangiau, sutaupomos lėšos ir laikas, nes mažiau reikia kontroliuoti broką.

5. Išvados

1. Šio darbo tikslas atrasti tokį sprendimą, kad būtų galima pagaminti detalę kuo pigiau, kokybiškiau ir greičiau.
2. Parodyti, kaip priklauso nuo gamybos apimties racionalus gamybos proceso rodiklis.
3. Pateikti, kaip gamybos sistema užtikrina gaminių kokybę, mažiausiom gamybos sąnaudom.

Literatūra

1. **Davis R. Bothe** MEASURING PROCESS CAPABILITY, Techniques and Calculations for Quality and Manufacturing Engineers.
2. http://en.wikipedia.org/wiki/Process_capability (žiūrėta 2007-05-22)

LOGISTINIŲ ŪKIO SANDĖLIŲ MECHANIZAVIMAS

A. Pieškus, Ž. Bazaras

Kauno technologijos universitetas Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: sandėliavimas, mechanizavimas, autokrautuvai, stelažas, eksplotacinis našumas, faktinis našumas.

1. Įvadas

Logistikoje sandėliavimas suprantamas kaip sandėliavimo sistemos, kurioje turi kurti platesnę prasmę, funkcionavimas. Sandėliavimo sistema yra vadinama visuma techninių, organizacinių ir informacinių priemonių, kuriomis atliekamas produkcijos priėmimas, sandėliavimas, paruošimas išduoti ir išdavimas pristatymui į vartojimo vietas. Ši sistema daugiausia vykdo dvi funkcijas: yra kaip buferis medžiagų ir prekių srauto sistemoje ir kaip tranzito pakopa, kurioje atgabenti kroviniai yra išskirstomi, performuojami ir, jei reikia, papildomos jų atsargos [5].

2. Sandėlių įrengimai

Pagrindinis sandėliavimo uždavinys - prekių sandėliavimas pagaminimo ir pristatymo vartotojui laikotarpiu. Pagal logistikos krovinių srauto principą šis sandėliavimas yra reikalingas tik trumpalaikiam ir nedideliame prekių kiekiui laikyti, tačiau praktiškai tai nėra visuomet įvykdoma. Logistika gali turėti įtaką pagal galimybes optimaliai vykdomoms sandėliavimo funkcijoms. Tai susiję su šiomis funkcijomis:

- saugumo;
- išlyginimo;
- spekuliacinio;
- rūšiavimo.

Kad sandėlių ūkyje šias funkcijas būtų įmanoma įvykdyti, yra reikalingi sandėliavimo įrenginiai, sandėlio technika ir darbo organizavimas. Visa tai yra viena sistema. Tarp materialų logistikos priemonių yra techniniai sandėlių įrenginiai. Sandėlio technika arba sandėlių įrengimo technika nulemia sandėlio rūšį.

3. Stelažinis sandėlis

Stelažiniame sandėlyje pagal stelažų sistemą kroviniai yra laikomi įvairiame aukštyje. Dėl tokio laikymo būdo yra galimybė laisvai paimti bet kuri laikomą krovini -gerai panaudotas sandėlio tūris.

4. Konsolinių stelažų sandėlis

Stelažo pagrindą sudaro stovas, prie kurio iš vienos arba abiejų pusių yra pritvirtintos konsolės. Ant šių konsolių yra sudedami ilgi kroviniai (2-6 m) - vamzdžiai, profiliuotas metalas ir pan. Ant konsolių gali būti sudedami atskiri medžiagų vienetai arba ryšuliai. Tokie stelažai prikraunami šakiniais krautuvais.

Konsolių stelažų privalumai:

- galimybė paimti atskirus krovinius;
- geras priejimas;
- nedidelės investicijos;
- kompaktiškas krovinių laikymas.

Iš trūkumų galima pažymėti, kad reikia daug ploto prikraunant stelažus.

5. Mechanizuotas sandėlis

Jeigu sandėlyje yra naudojami įvairių energijos rūšių, -elektros energijos, degalų, -įrenginiai, laikoma, kad sandėlis yra mechanizuotas. Kai kalbama apie sandėlio mechaninius įrenginius, pirmiausia turimi omenyje sandėliniai gabenimo įrengimai [6].

6. Autokrautuvai

Savaeigis kėlimas – transportavimo įrenginys skirtas krovinių pakrovimui, iškrovimui ir transformavimui nedideliuose atstumuose. Krautuvai naudojami perkrauti kroviniams prekių bazėse, sandėliuose, gamyklose, aerouostuose, geležinkelių stotyse, upių ir jūrų uostuose. Juo galima paimti krovinį, jį transportuoti, pakelti į reikiamą aukštį, pakrauti. Dažniausiai naudojamas paketiniams kroviniams pervežti.

Krautuvai susideda iš kėlimo įrangos ir važiuojamosios dalies. Priklausomai nuo kėlimo įrangos išsidėstymo krautuvai skirstomi į priešakinius ir šoninius. (1. pav.)

Krovinių kėlimo įrangą sudaro (1. pav):

- kėlimo įrenginys (1);
- krovinio paėmėjas – šakės (2).

Priešakiniai krautuvai perveža krovinį ant šakinių griebtuvų (a), šoniniai pakrovėjai ant platformos (b), krovinio pakrovėjas šiuo atveju naudojamas pakrauti krovinį ant platformos.

Vietoje šakių krautuvai gali turėti kitą krovinių pakrovimo įrankį skirtą pakelti buriams kroviniams:

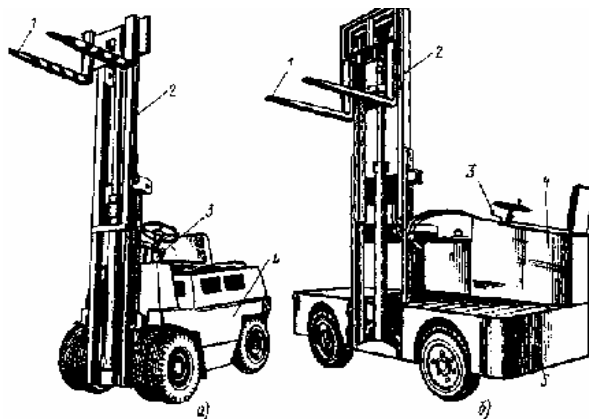
Važiuojamoji krautuvo dalis sudaryta iš rėmo, ant kurio įtaisytas variklis, mazgai ir taip pat varomas tiltas ir ašys su valdomais ratais. Ratai suteikia krautuvui keturias atramas.

Kraunant naudojama mechaninė ir hidraulinė pavaros. Mechaninė pvara perduoda energiją nuo variklio kėlimo mechanizmams. Hidraulinė pvara naudojama perduoti energijai iš hidraulinių siurblių.

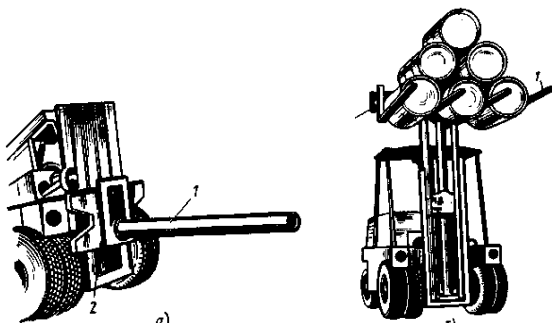
Mechaninė pvara naudojama važiuojamajai daliai ir hidrosiurbliams – kėlimo įrangai ir jos valdymui. Didelės keliamosios galios pakrovėjuose naudojama pneumatinė pvara, naudojanti suspausto oro energiją.

Vienšakiai grėbtuvai (2 pav., a) skirti pakelti tokius krovinius kaip padangas, žiedus, vamzdžius.

Daugiašakiai grėbtuvai (2 pav., b) naudojami pervežti tokiems kroviniams kaip statinės, maišai, ritiniai [4].



1 pav. Autokrautuvai



2 pav. Vienašakiai ir daugiašakiai griebtuvai

7. Krovimo- iškrovimo darbų mechanizavimas

Krovimo- iškrovimo įrenginių klasifikavimas pagal:

- techninius požymius;
- eksploatacinius požymius.

Klasifikavimas pagal techninius požymius leidžia susipažinti su mašinomis, o pagal eksploatacinius požymius- teisingai įvertinti jų taikymo galimybes ir parinkti pakrovimo ir iškrovimo darbų mechanizavimo reikiamą schemą.

8. Pertraukiamo veikimo pakrovimo iškrovimo įrengimų (autokrautuvų) pagrindiniai parametrai

Tai rodikliai pateikti 1 lentelėje, kurie charakterizuoja technines ir technines – eksploatacines įrenginių bei mašinų savybes, kurios įvertinamos parenkant ir nustatant reikalingą jų kiekį duotai užduočiai vykdyti [1-3].

1 lentelė. Autokrautuvų techniniai parametrai [7].

Techniniai parametrai	Matavimo vienetai	Elektros energija varomas autokrautuvas FB16	Dyzelinu varomas autokrautuvas FD20/FD20T
Keliamoji galia	kg	1600	2000
Maksimalus kėlimo aukštis	mm	3000	3000
Šakių pasvyrimas	laipsniai	6° -12°	6° -12°
Maksimalus kelimo greitis	mm/s	300	480
Maksimalus leidimo greitis	mm/s	<600	<600
Maksimalus važiavimo greitis	km/h	15	20
Minimalus sukimosi radiusas	mm	1900	145
Ilgis (su šakėmis)	mm	3205	3600
Plotis	mm	1100	1150
Aukštis su pakeltom šakėmis (atlošas)	mm	4067	4067
Šakių pataisymas (išorėje šakiu)	mm	200-950	225-1040
Laisvas kėlimas	mm	150	325

9. Išvados

Darbe pateikiamas konkretus konsolinių stelažų sandėlio planas. Tokio tipo sandėliuose paprastai kraunami ilgi kroviniai, todėl racionaliausia šių sandėlių krova panaudojant šakinius elektra arba vidaus degimo varikliu varomus autokrautuvus. Darbe pateikiami tikslūs elektra ir dyzelinu varomų autokrautuvų techniniai parametrai. Darbo objektas yra nustatyti ir palyginti pasirinktų šakinių autokrautuvų darbo našumą, įvertinant jų techninius parametrus, taip pat nustatyti kokia energijos rūšimi varomi autokrautuvai optimaliausiai tinka pateiktam sandėlio planui ir kiek tokių transporto priemonių prireiks norint užtikrinti stabilų konsolinių stelažų sandėlio krovą.

Literatūra

1. **Jutkevičius D ir kt.** Kėlimo įrenginiai. V.: Studijos, 1992.
2. **Jutkevičius D., Andriuškevičius A. ir kiti.** Kėlimo mašinų eksploatavimas. V.: Mokslas, 1989.
3. **Spruogis B.** Pakrovimo ir iškrovimo įrenginiai bei mašinos. Handling machinery. V.: Technika, 1993.*
4. **Руденко Н. Ф., Александров, А. Т. Лысяковю.** Курсовое проектирование грузов – подъёмных машин. – Москва, 1971.
5. www.klvtk.lt/gallery/tf_saruno/sand_log_pirma.doc. (2007 balandžio 16 d.)
6. www.klvtk.lt/gallery/tf_saruno/sand_log_trys.doc
7. www.arheda.lt/lt/produktai/auto--krautuvai (2007 gegužės 15 d.)

AUTOMOBILIŲ SUSIDŪRIMŲ MECHANIZMAS SU NEJUDANČIOMIS KLIŪTIMIS IR PĖSČIAISIAIS

M. Ručinskas

Kauno technologijos universitetas Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: automobilis, eismo įvykis, susidūrimas.

1. Įvadas

Lietuvoje pastaraisiais metais ženkliai išaugo automobilių skaičius, tuo pačiu ir autoįvykių skaičius. Dažniausiai avarijose nukenčia transporto priemonių vairuotojai. Taip pat gana didelis procentas nukentėjusiųjų yra pėstieji. Kad išvengtume skaudžių pasekmių yra naudojamos įvairios prevencinės priemonės: gyvenvietėse mažinamas greitis, griežtinama transporto priemonių techninė apžiūra, skatinama įsigyti naujus, saugesnius automobilius.

Svarbu žinoti nuo kokių parametų priklauso susidūrusio automobilio dinamika. Išnagrinėjus šiuos parametrus galima analizuoti autoįvykio priežastis, modeliuoti susidūrimus, tuo pat metu gerinti saugos priemones.

Savo darbe pabandysiu paanalizuoti įvairius susidūrimų mechanizmus, padedančius apskaičiuoti ir įvertinti dinaminis parametrus automobilio susidūrimo metu.

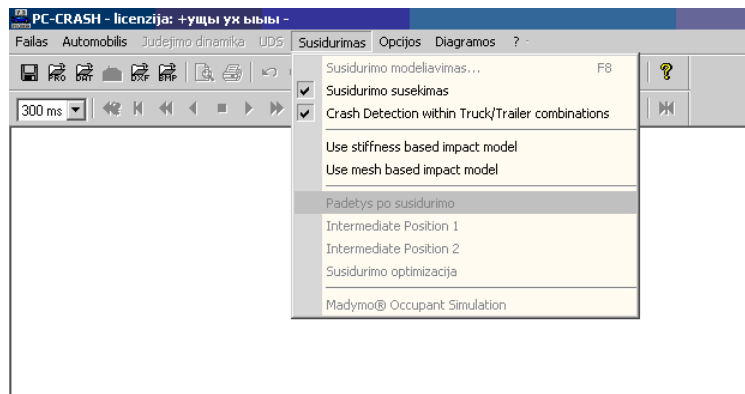
2. Kompiuterinis modeliavimas

Kompiuterinis modeliavimas yra palankesnis nei vadinami „Crash“ testai nes juo sutaupomas:

1. laikas - bandymai atliekami greičiau, nereikia išankstinio pasiruošimo ir specialios įrangos,
2. materialiniai išteklių - nėra daužomi automobilių modeliai.

Kompiuterinio modeliavimo metu yra apskaičiuojami daugelis parametų kurių dėka galima optimizuoti automobilio konstrukciją.

Viena iš tokių programų yra „PC Crash“. Čia galima pasirinkti kelis skirtingus modeliavimo tipus. Modeliuojant galima naudoti tokius duomenis: šoninis vėjas, padangų sukibimas, pavara, kuria automobilis važiuoja, automobilio svorio centras, išoriniai matmenys.

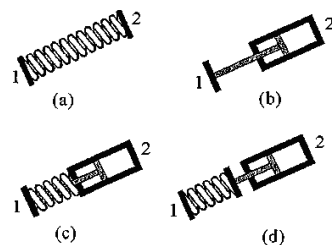


1 pav. „PC Crash“ modeliavimo programos lango fragmentas

3. Susidūrimų mechanizmai

Vienas iš populiariesnių metodų yra „Crash“ testai. Jų metu yra naudojamas transporto priemonės modelis, kuriuo imituojama avarinė situacija. Automobilio modelį galima pakeisti mechaninėmis sistemomis. Susidūrimų modeliavimas naudojamas ištirti automobilio vairuotojo ar keleivių saugumą, esant priekiniam, šoniniam, galiniam susidūrimams ar vertimosi atveju. Taip pat gali būti modeliuojami susidūrimai ir su pėsčiaisiais bei įvertinti galimi sužalojimai.

Analizuojant automobilių susidūrimų dinامينius parametrus yra naudojami įvairūs susidūrimų mechanizmai, kurie gali suteikti informacijos apie automobilio deformaciją, keleivių sužeidimus. Tai energiją sugeriantys mechanizmai, sudaryti iš spyruoklių ar/ir slopintuvo, kurių galai yra įtvirtinti, koncentruotos masės. Spyruoklės parenkamos įvertinant jų standumo koeficientą, o slopintuvai pagal slopinimo koeficientą.



2 pav. Susidūrimų modeliavimo sistemose naudojami elementai: a - spyruoklė, b – slopintuvas, c - Kelvino elementas, d – Maksvelo elementas

Kelvino elementas sudarytas iš spyruoklės ir slopintuvo vienas šalia kito lygiagrečiai, tuo tarpu Maksvelo elemente spyruoklė yra jungiama prie slopintuvo.

3.1. Spyruoklės ir masės sistema

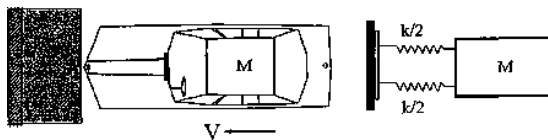
Automobiliui susidūrus su nejudančiomis kliūtimis: stulpais, sienomis, bei pėsčiaisiais. Naudojama masės ir spyruoklių sistema.

Masės ir spyruoklės sistema analizuoja virpamąjį judesį. Šioje sistemoje greičio funkcija yra sinusoidė. Kurio pagrindiniai parametrai yra poslinkis x_1 ir x_2 , pradinis greitis, kuriuo automobilis (šiuo atveju jį atstojanti masė) trenkiasi į nejudančią kliūtį, v .

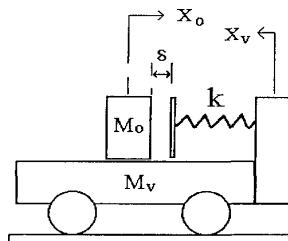
Naudojantis šiuo metodu ir remiantis pagreičio priklausomybe nuo masės ar standumo galima nustatyti, kad susidūrimo metu pagreitis mažėja didėjant kūno (automobilio) masei ir auga didėjant spyruoklės standumo koeficientui.

Deformacija priešingai maksimaliam pagreičio didėjimui. Deformacija didėja tada kai sistemos masė didėja, deformacija mažėja kai mažėja spyruoklės standumas.

Taip pat šis modelis gali būti naudojamas įvertinti deformacijos lygį, automobilio viduje esančio keleivio ar vairuotojo, susidūrimo metu. Tam naudojamas vežimėlis, ir ant jo nepritvirtinta masė, kuri atstoja keleivį (3 pav.).



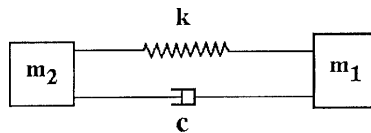
3 pav. Bandymuose naudojama masės su spyruoklėmis sistema, kuria pakeičiamas automobilio modelis.



4 pav. Bandymuose naudojama masės - spyruoklės sistema, naudojama keleivio deformacijoms įvertinti.

3.2. Dviejų masių sistema

Dviems tarpusavyje susiduriantiems automobiliams modeliuoti naudojamas dviejų masių mechanizmo modelis. Automobilius atstoja dvi koncentruotos masės tarpusavyje sujungtos spyruokle ir slopintuvu. Anksčiau minėtoje spyruoklės-masės sistemoje atveju buvo naudojama atitinkamo standumo spyruoklė. Šiame modelyje naudojamas slopintuvas sugeria susidūrimo energiją ir tuo pat mažina spyruoklės keliamus virpesius. Tad šiuo atveju be pradinio greičio, deformacijos, poslinkio yra dar vienas parametras - slopinimo koeficientas.



5 pav. Dviejų masių sistema, kinematinė schema.

4. Išvados

Siekiant pagerinti automobilių saugumą, reikia išanalizuoti kuo įvairesnius susidūrimų mechanizmų modelius, kad būtų galima juos pritaikyti reikiamų parametų skaičiavimams.

Literatūra

1. **O. Lukoševičienė.** Autoįvykių analize ir modeliavimas. Monografija. Vilnius: Technika, 2001.
2. **Matthev Huang** Vehile crash mechanics 2002
3. <http://www.dsd.at/PCCrash.htm> (žiūrėta 2007 gegužės 02 d.)

DVIRAČIŲ TRANSPORTO PRIEMONIŲ ANALIZĖ

H. Vaitkūnas

Kauno technologijos universitetas Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: Transporto priemonė, dviračiai, motoroleris, motociklai, „Segway“.

1. Įvadas

Šiandien mūsų šalies rinkoje dviračių transporto priemonių pasirinkimas yra gana didelis. Savaeigės transporto priemonės visą laiką buvo žmonijos dėmesio centre. Kol nebuvo įvairių tipų variklių, jų tikslas buvo pagreitinti susisiekimą. Dviračiai labai populiarūs transporto priemonė dėl savo pigumo (lyginant su motorinėmis), praktiškumo, tinkamumo perpildytoms miesto gatvėms. Ši dviratė bemotorė, ekologinė transporto priemonė, naudojama pramogai, susisiekimui, laisvalaikio praleidimui, turizmui, sportui.

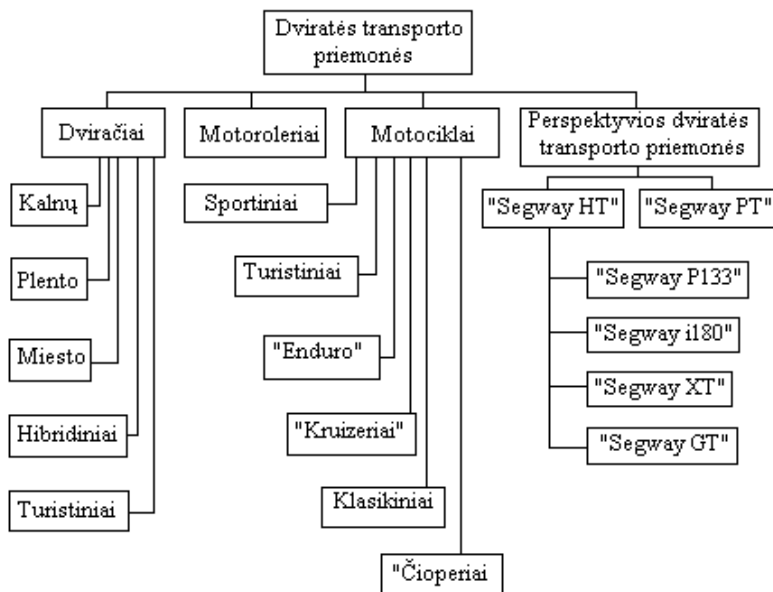
Bėgant laikui keičiasi ir tobulėja technologijos. Kai transporto priemonės su vidaus degimo varikliais tapo pagrindiniais aplinkos teršėjais, savaeigiai ekipažai gali nors iš dalies gelbėti aplinką. Tačiau su motorinėmis transporto priemonėmis galima greičiau ir lengviau įveikti tą patį atstumą nei su raumenų jėgą naudojančiomis transporto priemonėmis.

Šiuo metu išrandama nemažai naujų transporto priemonių ir technologijų, kurios lengvai įsiskverbia į rinką. Gaminamos transporto priemonės su hibridiniais varytuvais, tai ekonomišką ir ekologišką transportą. Populiarėja elektra varomos transporto priemonės. Viena jų, tai dviratė transporto priemonė „Segway“.

Mažėjant naftos resursams ir didėjant gamtos užterštumui reikia naudoti alternatyvius degalus.

2. Dviračių transporto priemonių klasifikacija

Dviračių transporto priemonių yra įvairiausių konstrukcijų, jas galima klasifikuoti į dvi grupes: bio transportą ir motorines transporto priemones. Bio transporto grupei priklauso visos dviratės priemonės varomos žmogaus raumenų jėga, tai įvairių tipų dviračiai.



1 pav. Dviračių transporto priemonių klasifikacijos schema

Supaprastinta suaugusiųjų dviračių kvalifikacija skirstoma į šias kategorijas (ir daugybę smulkesnių):

- kalnų dviračiai (mountain bikes);
- plento (racing road);
- hibridiniai (hybrid);
- turistiniai (touring);
- miesto (city);
- kiti (krovininiai, tandemai, velomobilai ir kita egzotika).

Be šių pagrindinių kategorijų, reikia atskirai išskirti sportinius dviračius su visa jų įvairove [1].

Kai kurių tipų dviračiai naudojami skirtingom reikmėms, bet nei vienas dviračių tipas netinka visoms kategorijoms. Kalnų dviračiai skirti važinėti kalnais, arba bekele, dėl to turintis didelį skaičių pavarų (dažniausiai 21 – 27 pavaros). Dviračio rėmas masyvus ir tvirtas. Plento dviračių rėmai ypač lengvi ir kieti. Montuojami labai ploni ratlankiai. Hibridiniai dviračiai paveldėjo daugelį savybių iš kalnų ir plento dviračių. Šių dviračių rėmas paprastai būna gana sunkus, bet padangos plonesnės nei kalnų dviračių. Turistiniai dviračiai pritaikyti didelių krovinų pervežimui, turi didelį pavarų diapazoną bei stipresnius ratlankius. O paprasčiausi, elementarūs ir patogūs naudoti mieste yra miesto dviračiai. Jie būna didesniais ratais bei su komplektuojama bagažine.

Dviratės motorinės transporto priemonės yra varomos vidaus degimo arba elektros varikliais. Pagal tai galima būtų skirstyti į motociklus, mopedus, motorolerius, motorinius dviračius bei perspektyvias dvirates transporto priemones su elektros varikliu.

Visų dabartinių motociklų proporsenolis – motorinis dviratis. Būdingi bruožai – ratai be amortizatorių, dviračio tipo rėmas, paprastas dvitaktis ar elektrinis varikliukas. Mopedas – šiek tiek rimtesnis aparatas. Nuo motorinio dviračio skiriasi didesniu komfortu, yra amortizatoriai priekyje ir gale, pilnaverčiai stabdžiai. Motorolerių išskirtinis bruožas – variklis yra po sėdyne, dažniausiai sujungtas su galinio rato pakaba.

Motociklų įvairovė yra daug didesnė už keleivinių automobilių: skiriasi jų masė ir variklio galia, variklio tipai ir transporto priemonių tipai. Kadangi duomenų yra tikrai mažai, būtų labai sunku pavaizduoti šiuos skirtumus. Tačiau pagrindiniai motociklai skirstomi į šias klases: sportinius, turistinius, „Enduro“, „Kruizeriai“, klasikiniai, „Čioperiai“.

Sportiniai motociklai turi daug arklio galių, bei didelį sukimo momentą. Pasiiekti 100km/h greitį gali per 3 sekundes. Turistiniai – pasižymi dideliu svoriu, turi gausybę daiktadėžių, ir išsiskiria aukštu stiklu. „Enduro“ – tai lengvi ir galingi „krosiniai“ motociklai. „Kruizeriai“ motociklai turi V2 formos, didelio darbo tūrio variklį bei ilgą ratų bazę. Klasikiniai – tai seno tipo, „stipinuotais“ ratais bei su minimalaus plastiko kiekiu motociklai. „Čioperiai“, tai „kruizerių“ atmaina. Visi aksesuarai, kurie suteikia papildomo svorio yra pašalinami iš didelio, masyvaus „kruizerio“ ir gauname stilingą, su aukštai iškeltu vairu – „čioperį“. Šį sąrašą kiekvienais metais pasipildo, nes atsiranda gamintojų, kurie siekdami universalumo sujungia kelis motociklų stilius. Taip gaunami net triračiai ar keturračiai motociklai.

Viena iš naujausių dviračių transporto priemonių – „Segway“. Tai pirmoji tokio tipo transporto priemonė – automatiškai išlaikanti pusiausvyrą, naudojanti elektros energiją. Skirtingai nei automobilis, turi tik du ratus ir labiau panaši į rankinį vežimėlį.



2 pav. Motociklas „Suzuki gsx-r 600“



3 pav. Dviratė transporto priemonė „Segway HT“

3. Dviračių transporto priemonių varytuvai

Priversti dviratę transporto priemonę judėti reikalingas varytuvas. Varytuvas sukimo momentą per pavarų dėžę ir perdavimo pavara suteikia sukimosi judesį ratams. Varytuvo funkcija gali atlikti žmogaus raumenų jėga, vidaus degimo, bei elektros varikliai. Šiose priemonėse naudojami dvitakčiai ir keturtakčiai, aušinami skysčiais ir oru, vidaus degimo varikliai. Priklausomai nuo dviratės transporto priemonės paskirties yra parenkamas variklis. Jis gali būti nuo mažo iki didelio galingumo. Mažesnio galingumo variklius turi „motoriniai dviračiai, mopedai, motoroleriai“.

Iki 1960 m. motocikluose daugiausia buvo naudojami keturių taktų varikliai. Jų pranašumas prieš tuometinius dviejų taktų variklius buvo akivaizdus. „Dvitakčiai“, turėdami daug mažiau besisukančių ir besitrinančių detalių, pasižymėjo lengvumu ir paprastumu, tačiau tuo metu turėjo vieną svarbų trūkumą. Dvitakčio variklio cilindro užpildymo ir išmetimo procesas vyksta vienu metu, todėl nemaža dalis darbinio mišinio susimaišiusi su išmetimo dujomis negrįžtamai „palikdavo“ variklį. Panaudojama dvitakčiams varikliams rezonansinę išmetimo sistemą, kuri grąžina prarastą darbinio mišinio dalį ir vos ne dvigubai padidina jau esančių variklių galingumą.

Keturtakčiai varikliai su ovalinės formos stūmokliais yra gerokai galingesni už klasikinio tipo variklius. Bet jų gamyba yra pakankamai brangi, todėl mažai tikėtina, kad tokie varikliai bus plačiai naudojami serijinėje gamyboje. Tam, kad sulygtinti "ovalinių" ir "klasikinių" variklių galimybes reglamente numatyti skirtingi šių motociklų svoriai [2].



4 pav. Motorinės dviratės transporto priemonės sukimo momento perdavimo schema

Dviratėms transporto priemonėms sukimo momentą galima išgauti panaudojus elektros variklius, jį aprūpinant akumuliatoriaus baterijomis, kurios teiktų elektros energiją varikliui. Motociklų pramonėje tai kol kas naujiena, bet skatinimas taupyti ir mažinti taršą. Rinkoje jau yra pasirodžiusių dviračių transporto priemonių su elektros varikliais, kurie aprūpinami akumuliatoriais.

Hibridinėse transporto priemonėse ratų sukimo momentus galima išgauti vidaus degimo ir elektros varikliais. Hibridinio transporto kūrėjai sujungė benzininį variklį su elektriniu varikliu (ar net keliais varikliais). Startuojant yra naudojamas elektrinis variklis, kuriam energija perduodama iš elektros baterijos. Pasiekus normalų greitį valdymo sistema stebi ir kontroliuoja optimaliausią kuro eikvojimą, o papildoma energija kaupiama baterijoje. Prireikus transporto priemonei įsibėgėti panaudojama elektros baterijos energija. Lėtėjant ar stabdant elektrinis variklis veikia kaip generatorius ir įkrauna elektros bateriją (taip kinetinė stabdymo energija nėra iššvaistoma). Prieš pat sustojant benzininis variklis yra išjungiamas (veikia elektrinis variklis), tai užtikrina kuro ekonomiškumą bei ekologiškumą.

4. Perspektyvos

Dviratės transporto priemonės lyginant su automobiliais yra žymiai mažesnių gabaritų, užima mažesnę važiuojamosios gatvės dalį, be to šiose transporto priemonėse panaudojama viena iš perspektyviausių kuro rūšių – elektros energija. Dirbant elektros varikliams netešiamas oras. Naujausios elektra varomos transporto priemonės naudoja švino arba nikelio ir kadmio baterijas, o tai yra ilgiausiai naudojamos technologijos. Greičiausiai elektra varomuose transporto priemonėse ateityje bus naudojama nikelio ir metalo baterija. Ji turi didelę galią ir didelį energijos tankį, ilgai tarnauja, bet palyginti su švino baterija yra labai brangi.

Viena iš tokių elektra varomų transporto priemonių, neseniai pasirodžiusių rinkoje, yra „Segway“. Tai unikali ir gamtą tausojanti transporto priemonė – yra panaši į dviratį, tačiau važiuojant ja nereikia minti pedalų. Ji lengvai įveikia ir neasfaltuotas kelio dangas. Skirtingai nei automobilis, turi tik du ratus; jis labiau panašus į rankinį vežimėlį, tačiau sugeba išlaikyti pusiausvyrą ir nenuvirsti. „Segway“ veikimo pagrindas – įvairių daviklių kombinacija, valdymo sistema ir variklis. Pirminė daviklių sistema – giroskopų rinkinys. Pagrindinis giroskopas – besisukantis krumpliaratis ir tvirtas rėmas aplink jį. Visa informacija apie posvyrius, taip pat ir papildomų posvyrio daviklių informacija perduodama mašinos smegenims. Smegenys – tai du elektros grandinės valdiklio skirstikliai, kuriuos sudaro daugybė mikroprocesorių. Mikroprocesorius sudaro pažangios technologijos programinė įranga, kuri valdo transporto priemonę. Ši programa kontroliuoja giroskopų daviklių perduodamą informaciją apie stabilumą ir, reaguodama į ją, pritaiko kelių elektros variklių greitį. Elektriniai varikliai, veikiantys dėl poros įkraunamų nikelio hidrido (NiMH ar *Saphion* Li-ion) akumuliatorių, kiekvieną ratą gali pasukti atskirai ir skirtingu greičiu.

Ši transporto priemonė manevringa, ja paprasta naudotis, nereikalingas joks vairuotojo pažymėjimas, bei nebrangi eksploatacija.

5. Išvados

1. Transporto priemonės, varomos žmogaus raumenų jėgos, mažiausiai kenkia gamtai.
2. Naudojant elektros energiją varomus varytuvus, transporto priemonėse, neteršiamas oras.
3. Naudojant transporto priemones su hibridiniais varytuvais yra užtikrinamas kuro ekonomiškumas ir ekologiškumas.
4. Dviratės transporto priemonės užima mažiau važiuojamosios kelio dalies ir parkavimo aikštelės.
5. Transporto priemonėse, su vidaus degimo varikliais, reikėtų naudoti alternatyvius degalus.

Literatūra

1. <http://www.2ratai.lt>
2. <http://www.roadracing.50megs.com>
3. <http://www.motomanai.lt>
4. <http://www.supersegway.com>
5. <http://www.biteplius.lt>
6. <http://eu-portal.net/material>
7. „MOTO plius“, žurnalas, No. 1, Balandis, 2007
8. **K.Giedra, A.Kirka, S.Slavinskis.** Automobiliai, Kaunas, 2002.
9. **A.Jurkauskas.** Transporto priemonių varikliai, Kaunas, 2003.
10. **A.Jurkauskas.** Transporto raida, Kaunas, 2002.
11. **A.Butkus.** Vidaus degimo varikliai, Vilnius, 2006.

APŠVIETIMO IR RYŠIO ATRAMŲ SKAIČIAVIMAI IR ANALIZĖ

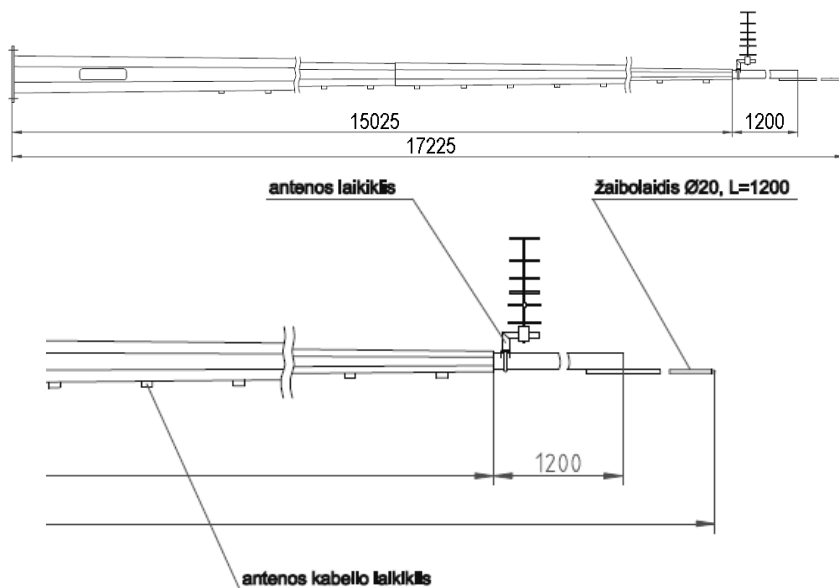
P. Breimelis

Šiaulių Universitetas

Raktiniai žodžiai: atramos, įtempimai, ribinis būvis, įtempimų ir deformacijų būvis, baigtiniai elementai, įrąžos.

1. Įvadas

Apšvietimo atramos skirtos mobiliojo ryšio antenoms arba šviestuvams laikyti. Jos projektuojamos 15 m aukščio. Atramos konstrukciją sudaro siaurėjantis į viršų plieninis plonasienis kevalas lygiakraščio aštuonkampio skerspjūvio. Numatyta, kad atramos konstrukcija gali būti surenkama iš 2 arba 3 dalių. Atrama remiasi ant plieninės 30 mm storio plokštės. Su pamatu atrama jungiama inkariniais varžtais.



1 pav. Ryšio atrama

2. Pagrindiniai skaičiavimo principai ir vertinimo kriterijai

Skaičiuojant atramą buvo taikomi tokie principai:

- Visos statinės apkrovos pridedamos konservatyviai (nekinamos laike);
- Pulsacinė vėjo slėgio dedamoji pridedama kvazistatiškai;
- Nagrinėjama įtempimų ir deformacijų būvio tiesinė analizė;
- Tampriųjų virpesių skaičiavimo rezultatu laikomas žemiausias konstrukcijos savasis dažnis;
- Atrama su pamatu sujungta standžiai.

Užduotis reglamentuoja atramos horizontalius ribinius poslinkius, veikiant nusistovėjusiam vėjo srautui (tiksliai statinė ir vėjo apkrovos dedamoji), ir laikomąją galią, veikiant nenusistovėjusiam vėjo srautui (kartu statinė ir pulsacinė vėjo apkrovos dedamosios):

- Konstrukcijos horizontaliu ribiniu poslinkiu laikomas poslinkis, sudarantis 1/100 atramos aukščio.
- Ribiniu įtempimu laikomas padaugintas iš konstrukcinio elemento patikimumo koeficiento 0,9 skaičiuojamas stipris.
- Skaičiavimuose priimta, kad šio statinio patikimumo koeficientas yra 1,00.
- Ribinė savųjų svyravimų dažnio reikšmė sudaro 3,8 Hz.

Skaičiuojant įtempimus atsižvelgta į pirmojo ribinio būvio reikalavimus, skaičiuojant poslinkius – į antrojo [3].

Pagrindinis šių skaičiavimų tikslas – išanalizuoti pasiūlytų konstrukcijų tinkamumą statyti tokias konstrukcijas 1, 2 ir 3 Lietuvos vėjo rajonuose pagal STR 2.05.04:2003 ir pateikti siūlymus ir rekomendaciją dėl šių konstrukcijų pakeitimo, siekiant užtikrinti jų eksploatacinių ir projektinių parametrų atitikimą galiojančių projektavimo normų reikalavimams.

3. Medžiagos

Atramos plieno fiziniai ir mechaniniai rodikliai:

- Tankis – 7,58 t/m³;
- Tamprumo modulis – 206 GPa;
- Šlyties modulis – 78 GPa;
- Skersinio plėtimosi koeficientas – 0,3.

Atramos konstrukcinių elementų medžiagų geometrijos ir stiprumo parametrai:

- Atramos kamienas – lakštinis plienas 4, 5 bei 6 mm storio C255 ir lakštinis plienas 8 mm storio C345 pagal GOST 27772-88;
- Atraminė plokštelė – lakštinis plienas 30 mm storio, C255 pagal GOST 27772-88;

- Standumo briaunos – lakštinis plienas 16 mm storio, C255 pagal GOST 27772-88;
- Inkariniai varžtai – M36, plienas O9Г2C pagal GOST 19281-73*

4. Skaičiuojamosios schemos

Konstrukcijos mechaniniam būviui analizuoti buvo taikomi du skirtingi baigtinių elementų modeliai:

1. Erdvinė strypinė vienmačių baigtinių elementų sistema. Skaičiuojant buvo taikoma kompiuterinė programa STAAD.Pro 2002 sertifikuota pagal ISO 9000 ir RST standartus.
2. Erdvinė plonasio kevalo baigtinių elementų sistema. Skaičiuojant buvo taikoma kompiuterinė programa COSMOS/M.

Atramos konstrukcijos įtempimų ir deformacijų būviui apibūdinti buvo taikoma vienmačio modelio, t. y. Gembės tipo kintamo skerspjūvio strypo, analizė. Atraminio mazgo sudėtingo įtempimų ir deformacijų būviui (įtempimų konsentrasija, vietinis stabilumas) analizuoti buvo taikoma erdvinio kevalo modelio analizė.

5. Skaičiuojamosios apkrovos bendrieji nuostatai

Skaičiavimai atliekami remiantis Lietuvoje galiojančių projektavimo normų nuorodomis bei reikalavimais [1].

Skaičiuojant nagrinėtos apkrovos:

- Nuolatinė – konstrukcijos savasis svoris;
- Laikinoji ilgalaikė – kopėčių svoris;
- Laikinoji trumpalaikė – techninės įrangos (šviestuvų arba antenų ir kabelių) svoris;
- Laikinoji trumpalaikė – vėjo apkrovos statinė ir pulsacinė dedamosios.

Atramas numatyta statyti Lietuvos teritorijoje, todėl tolesniais skaičiavimais atsižvelgiama į tris galimus atramos konstrukcijos variantus, priklausomai nuo vėjo rajono.

Atramos bei antenų masės pridedamos automatiškai, atsižvelgiant į pateiktus strypų svorio bei medžiagos tankio rodiklius.

Vėjo statinės dedamosios poveikis apskaičiuotas, atsižvelgiant į projektavimo normų reikalavimus ir pateiktas normų metodikas. Vėjo apkrova (statinis slėgis nuo 0,5 - 1,6 kPa) pridedama prie atramos kamieno ir prie šviestuvų ar antenų.

Vėjo apkrovos statinis poveikis su pulsacine dedamąja apskaičiuotas, atsižvelgiant į atramų geometriją, žemiausių savųjų virpesių dažnį ir atramos masę. Ši apkrova (0,5 – 3,4 kPa) pridedama prie atramos stovio ir antenų ar šviestuvų.

Nustatant didžiausius įtempimus nagrinėjamos skaičiuojamosios apkrovos, nustatant poslinkius – skaičiuojamieji jų didumai dalinami iš vėjo apkrovos dalinio saugumo patikimumo koeficiento.

6. Skaičiavimo rezultatų apžvalga

Suskaiciavus, užfiksuotos kelios būdingos zonos, kuriose yra pavojingiausi parametrai: didžiausias įtempimas; didžiausias linijinis poslinkis horizontaliaja kryptimi; didžiausioji deviacija. Taip pat buvo fiksuojamos konstrukcijos atraminės reakcijos, pagal kurias papildomai suskaiciuotos inkarinių varžtų didžiausios įrašos.

Analizuojant skaičiavimų rezultatus atramos konstrukcijoje buvo išskiriamos pavojingos zonos ties skerspjūvio pakeitimo vietomis (kamieno dalių sujungimo zonos) ir ties įtempimų koncentratoriais (kamieno ir atraminės plokštelės sandūra, sąstandų su kamieniu ir atramine plokšte jungimo sritis). Skaičiavimų rezultatai pateikti 1 lentelėje.

Savųjų virpesių žemiausieji dažniai yra: 2,12 Hz, 7,92 Hz, 19,43 Hz (ribinė dažnio reikšmė sudaro 3,8 Hz).

Didžiausieji normuojami atramos kamieno įtempimai 101 Mpa yra atramos apačioje.

Didžiausias normuojamas linijinis poslinkis – 141 mm yra 15 m aukštyje.

Vieno inkarinio varžto didžiausioji tempimo jėga sudaro 39,5 kN.

1.lentelė. Atramos skaičiavimo rezultatai

Mechaninio būvio parametrai	Mato vienetai	Skaičiavimo rez.		Atsarga, %
		Statika	Dinamika	
Didžiausias lenkimo momentas (apatinė dalis)	kNm	75	158	n.
Didžiausias lenkimo momentas (viršutinė dalis)	kNm	22	50	n.
Didžiausias įtempimas (apatinė kamieno dalis)	MPa	44	98	55
Didžiausias įtempimas (viršutinė kamieno dalis)	MPa	47	101	53
Didžiausias linijinis poslinkis	mm	63	141	21,6
Didžiausia deviacija	laipsn.	0,38	0,85	n.
Atraminė ašinė jėga	kN	12,6	12,6	n.
Atraminė skersinė jėga	kN	7,2	13,3	n.
Atraminis lenkimo momentas	kNm	75	158	n.
Atraminis sukimo momentas	kNm	0,36	0,91	n.

7. Išvados

1. Statiniai ir dinaminiai įtempimų skaičiavimai pagal pirmąjį ribinį būvį parodė, kad konstrukcijos stiprumas yra užtikrintas.
2. Skaičiuojant konstrukcijos poslinkius pagal antrąjį ribinį būvį gauta, kad didžiausias konstrukcijos poslinkis, veikiant statinei vėjo apkrovai, mažesnis už ribinį.
3. Statiniai bei dinaminiai stabilumo skaičiavimai parodė, kad bendras ir vietinis konstrukcijos stabilumas yra užtikrintas.
4. Virpesių skaičiavimai parodė, kad žemiausia savoji forma yra mažesnė už ribinę.

Literatūra

1. **STR 2.05.04:2003**. Poveikiai ir apkrovos. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2004, 103p.
2. **СНП II-23-81***. Стальные конструкции. Москва: ЦИТП Госстроя СССР, 1991, 96 с.
3. **СНП 2.01.07-85**. Нагрузки и воздействия. Москва: ЦИТП Госстроя СССР, 1995, 34 с.

DVISLUOKSNIŲ STRYPŲ SKAIČIAVIMO METODIKŲ PAKLAIDOS

N. Partaukas
Šiaulių universitetas

Raktiniai žodžiai: dvisluoksniai strypai, ašinis tempimas (gniuždymas), kontaktinis slėgis, storasieniai cilindrai, triašis įtempių būvis.

Įvadas

Dvisluoksniai strypai (toliau DS) priklauso didelei konstrukcijų grupei vadinamai daugiasluoksniais konstrukciniais elementais (toliau DKE). DKE - konstrukcinis elementas sudarytas iš dviejų, ar daugiau, medžiagų ir atlaikantis išorines apkrovas tarsi vientisas kūnas.

Lyginant su įprastais elementais, jie pasižymi daugeliu privalumų. Pirmiausia tuo, kad keičiant sluoksnių medžiagą ir išdėstymą galima pakeisti visos konstrukcijos mechanines charakteristikas: stiprumą, standumą, patvarumą, atsparumą dilimui. Antra vertus nesunku pakeisti nemechaninius parametrus: laidumą šilumai, atsparumą cheminiam, terminiam poveikiui, estetinę išvaizdą. Bet svarbiausia, jog DKE panaudojimas įgalina sumažinti konstrukcijos kainą, masę, efektyviau panaudoti medžiagas.

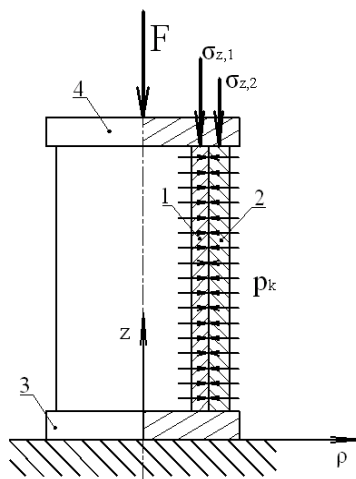
Norint minėtų privalumų realizuoti praktiškai reikia aiškiai suvokti DKE deformavimo metu vykstančius procesus, žinoti kokie ryšiai sieja konstrukcijos mechanines charakteristikas su elementų geometrija, medžiagų savybėmis. Tam reikia turėti metodiką leidžiančią nustatyti poslinkius, deformacijas ir įtempius bet kuriame konstrukcijos taške.

Dėl didelės DKE įvairovės, sudėtingumo ir naujumo tokių metodikų nėra daug. Pavyzdžiui daugiasluoksniams strypams skaičiuoti yra sukurta apytikslė metodika [1] atsižvelgianti į medžiagos tamprumo modulį (E) skirtumą, bet nevertinanti Puasono koeficientų (ν), radialinės įvaržos įtakos. Realiose DS šie dydžiai skiriasi todėl tarp kontaktinių paviršių atsiranda slėgis, medžiagoje susiformuoja erdvinis įtempių būvis [2].

Šiame straipsnyje nagrinėjama kokią įtaką apskrito skerspjuvio dvisluoksniu strypo įtempių būvio komponentams daro Puasono koeficientų (χ), tamprumo modulio (ϕ) santykis. Lyginami apytikslės [1] ir patikslintos [2] metodikų rezultatai, gaunamų paklaidų vertės. Nustatomos sąlygos kurioms esant galima naudotis supaprastinta, o kada reikia naudoti patikslintą skaičiavimo metodiką.

2. Puasono koeficientų įtaka

Panagrinėkime DS apkrautą ašine jėga (žr. 1 pav.). Strypą sudaro du koncentriniai apskritimai 1, 2. Apkrova kūnams 1, 2 perduodama per plokšteles 3, 4. Jei šios plokštelės gerokai standesnės už cilindrus 1, 2 tai pastarųjų ašinės deformacijos – vienodos. Tarkime kad pradiniu momentu tarp cilindrų nėra nė įvaržos, nei tarpo. Gniuždant (tempiant) dvisluoksnį strypą, kurio medžiagų Puasono koeficientų vertės skiriasi, tarp sluoksnių susidaro kontaktinis slėgis. Susidaręs kontaktinis slėgis, ne tik paverčia linijinių įtempių būvį į erdvinį, bet ir pakeičia ašinių įtempių $\sigma_{z,1}$, $\sigma_{z,2}$ vertes.



1 pav. Strypo schema

Iš to kas pasakyta seka išvada, kad naudojant supaprastintą metodiką DS kurio medžiagų Puasono koeficientų vertės skiriasi ($\nu_1 \neq \nu_2$), daroma metodinė paklaida. Panagrinėkime kaip ši paklaida kinta keičiant Puasono koeficientų santykį $\chi = \nu_2 / \nu_1$. Imkime pilnavidurę konstrukciją kurios: $E_1 = E_2$, $\nu_1 = 0,25$, $\nu_2 \in (0 \ 0,5)$. Cilindrų spinduliai: 0; 22,36 mm ir 31,62 mm. Tokiu atveju skerspjūvio plotai: $A_1 = A_2$. Ašinė jėga $F = -50$ kN (gniuždymas).

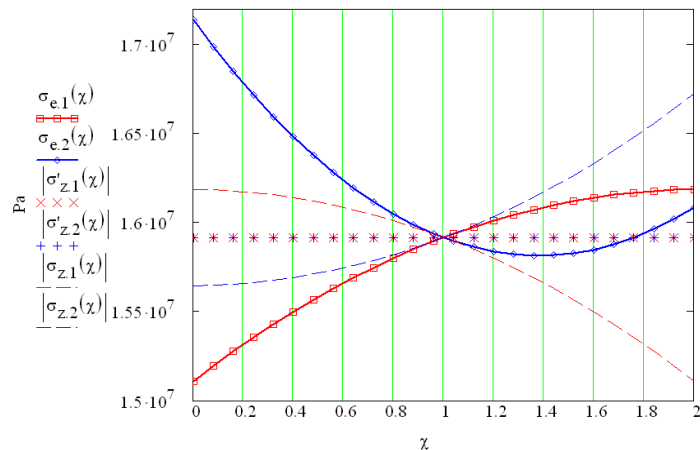
Remiantis supaprastinta metodika, DS stiprumas nustatomas pagal ašinių įtempių σ' dydį (žr. 2 pav.). Įvertinus kontaktinio slėgio poveikį, gaunama, kad ašiniai įtempiai priklauso nuo koeficiento χ . Tiesioginio tipo konstrukcijoje (toliau TTK)¹ vidinio cilindro ašiniai įtempiai ($\sigma_{z,1}$) gaunami didesni, o išorinio ($\sigma_{z,2}$) mažesni (lyginant su σ'). Atvirkštinio tipo konstrukcija (ATK) priešingai: $\sigma_{z,1}$ yra mažesni, o $\sigma_{z,2}$ didesni. Jei stiprumą vertintume pagal ašinius įtempius tai didesnes paklaidas gautume ATK. Iš tikrųjų paklaidos ATK yra gerokai mažesnės nei TTK kai stiprumą vertiname pagal ekvivalentinius įtempius².

¹ TTK vadinama konstrukcija kurios vidinio cilindro Puasono koeficientas didesnis už išorinio cilindro t.y. $\nu_1 \geq \nu_2$. Atitinkamai ATK: $\nu_1 \leq \nu_2$.

² Energetinė stiprumo teorija.

Palyginsime kiek skiriasi rezultatai tarp metodikų esant įvairioms santykio χ vėrtėms. Kaip matyti iš 2 pav. skirtumai tuo didesni, kuo labiau skiriasi koeficientai ν_1 ir ν_2 . Vadinasi didžiausi skirtumai bus gauti kai $|\nu_1 - \nu_2| \rightarrow 0,5$. Praktiškai labai sunku gauti tokį skirtumą, todėl imkime: $|\nu_1 - \nu_2| = 0,48$.

Visais atvejais paklaidos TTK gaunamos didesnės nei ATK. Svarbu tai, kad ašinių ir ekvivalentinių įtempių paklaidos ATK, net esant tokiam dideliame Puasono koeficientų vėrčių skirtumui, nevirsija 6 %. Tuo tarpu TTK ašiniai įtempiai skiriasi apie 8 %, o ekvivalentiniai 20 %.



2 pav. Ašiniai ir ekvivalentiniai įtempiai kontakto zonoje, keičiant parametą χ

1 lentelė. Apytikslės metodikos įtempių paklaidų rėžiai, pilnavidurėje konstrukcijoje, keičiant santykį χ

	$\nu_1 = 0,49, \nu_2 = 0,01, \chi = 0,02$	$\nu_1 = 0,01, \nu_2 = 0,49, \chi = 49$
$\Delta\sigma_{z,1}$	7,69 %	-5,88 %
$\Delta\sigma_{z,2}$	-7,69 %	5,88 %
$ \sigma_{r,1} / \sigma_{z,1} $	15,35 %	11,76 %
$ \sigma_{r,2} / \sigma_{z,2} $	15,35 %	11,76 %
$ \sigma_{\theta,1} / \sigma_{z,1} $	15,35 %	11,76 %
$ \sigma_{\theta,2} / \sigma_{z,2} $	46,06 %	35,29 %
$\Delta\sigma_{e,1}$	-7,66 %	5,88 %
$\Delta\sigma_{e,2}$	20,08 %	2,56 %

Didelį ekvivalentinių įtempių skirtumą TTK galima paaiškinti įtempių komponentų ženklų įtaka. Vidiniame cilindre visi komponentai neigiami, todėl intensyvumas sumažėja. Išoriniame ašiniai ir radialiniai įtempiai – neigiami, o žiediniai – teigiami, intensyvumas padidėja.

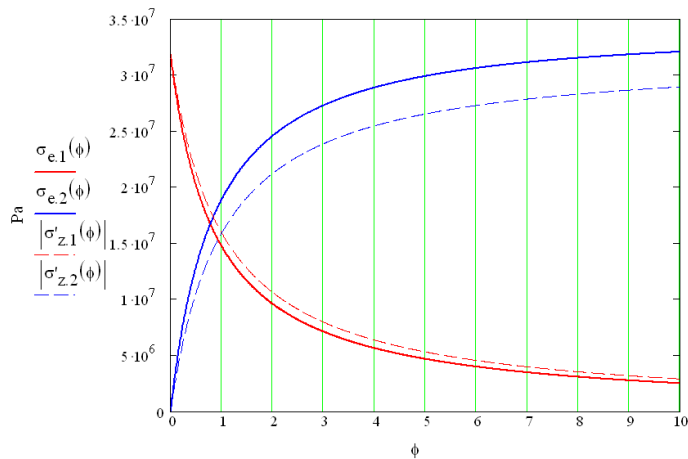
3. Tamprumo modulių įtaka

Anksčiau matėme kaip keičiasi įtempiai konstrukcijoje kurios tamprumo moduliai vienodi. Dažnai skiriasi ne tik medžiagų Puasono koeficientai, bet ir tamprumo moduliai (pastarieji netgi labiau). Todėl svarbu žinoti kokią įtaką įtempių vertėms daro santykis $\phi = E_2/E_1$.

Kad gautume didesnę skirtumą tarp metodikų imkime $|v_1 - v_2| = 0,48$.

Iš 3 pav. matome jog išorinio cilindro įtempių intensyvumas skiriasi gana daug, o vidinio mažiau.

Tuščiaavidurėje konstrukcijoje paklaidos panašios tik nežymiai mažesnės. Neįprastai didelės ašinių įtempių paklaidos gaunamos pilnavidurėje TTK kai $\phi = 10$. Tai galima paaiškinti tuo, kad gniuždant tokį strypą vidinio sluoksnio medžiaga yra artimam hidrostatiniam gniuždymui būvyje t.y. visomis kryptimis veikia panašaus dydžio ir vienodo ženklo įtempiai. Pagal supaprastintą metodiką ašiniai įtempiai sluoksnyje proporcingi tamprumo moduliui. Jei vidinio sluoksnio tamprumo modulis nykstamai mažas lyginant su išorinio, tuomet ir įtempiai artimi nuliui. Paklaidos išreikštos santykiniais vienetais, todėl padalijus skirtumą tarp rezultatų iš nykstamai mažo dydžio gauname dideles paklaidas. ATK įtempių komponentų ženklai skirtingi tad ir



3 pav. Ekvivalentinių įtempių priklausomybė TTK nuo santykio ϕ

2 lentelė. Apytikslės metodikos įtempių paklaidų režiai, pilnavidurėje konstrukcijoje, keičiant santykį ϕ

	$\nu_1 = 0,49, \nu_2 = 0,01, \chi = 0,02$		$\nu_1 = 0,01, \nu_2 = 0,49, \chi = 49$	
	$\phi = 0,1$	$\phi = 10$	$\phi = 0,1$	$\phi = 10$
$\Delta\sigma_{z,1}$	0,17 %	114,98%	-1,36 %	-3,86 %
$\Delta\sigma_{z,2}$	-1,93 %	-11,50 %	1,93 %	0,39 %
$ \sigma_{r,1} / \sigma_{z,1} $	1,57 %	128,80%	1,52 %	36,02 %
$ \sigma_{r,2} / \sigma_{z,2} $	15,71 %	12,88%	1,23 %	3,60 %
$ \sigma_{\theta,1} / \sigma_{z,1} $	1,57 %	70,03%	1,52 %	70,03 %
$ \sigma_{\theta,2} / \sigma_{z,2} $	47,14%	38,64%	45,7 %	10,81 %
$\Delta\sigma_{e,1}$	-1,40 %	-13,82%	0,16 %	32,15 %
$\Delta\sigma_{e,2}$	26,35 %	10,77%	-11,63 %	-2,41 %

paklaidos gerokai mažesnės. Tuščiavidurėje konstrukcijoje šis efektas nepasireiškia, kadangi minkštesnė medžiaga gali deformuotis ertmės kryptimi. Nagrinėdami vienodų medžiagos standumo modulių DS matėme, jog ekvivalentiniai įtempiai labiausiai skiriasi TTK. Kai tamprumo moduliai nevienodi didžiausia ekvivalentinių įtempių paklaida gaunama ATK ir siekia net 32 %.

Tokiu būdu, išnagrinėjome kaip kinta apytikslės metodikos paklaidos, atsižvelgiant į DS sluoksnių medžiagos Puasono koeficientų ir tamprumo modulių santykius. Nustatėme maksimalias paklaidų vertes, atvejus kada juos gaunamos.

Išvados

1. Kai sluoksnių medžiagos tamprumo moduliai vienodi, maksimali ekvivalentinių įtempių paklaida, kuri gaunama neįvertinant Puasono koeficientų įtakos, siekia 20 %. Ji gaunama pilnavidurės TTK išoriniame cilindre. ATK paklaidos gerokai mažesnės (apie 6 %). Tuščiavidurėje konstrukcijoje paklaidų dydžiai mažesni nei pilnavidurėje.
2. Kai Puasono koeficientai skiriasi, tuomet paklaidų vertėms nemažą įtaką daro tamprumo modulių santykis. Jei tamprumo moduliai skiriasi dešimt kartų, tuomet didžiausia ekvivalentinių įtempių paklaida siekia 32 %, kuri gaunama pilnavidurės ATK vidiniame cilindre. TTK ši paklaida sudaro apie 26 % nuo ašinių įtempių.
3. Be tamprumo modulių santykio, Puasono koeficientų verčių, paklaidų dydžiui įtaką daro strypo skerspjuvio plotų santykis, cilindro radialiniai matmenys. Tačiau šių parametų įtaka gerokai mažesnė.

4. Žymią įtaką įtempių komponentų vertėms daro radialinė ir ašinė DS įvarža. Ji gali atsirasti dėl matmenų nesutapimo, mechaniškai surenkant cilindrus, arba dėl temperatūros poveikio (kai medžiagos temperatūrinio plėtimosi koeficientai skirtingi). Nagrinėta apytikslė metodika nėra skirta tokiom įtakom vertinti, todėl gautas įtempių verčių skirtumai negali būti laikomi metodinėmis paklaidomis.
5. Dažnai Puasono kai koeficientai skiriasi nežymiai reikia žinoti ar galima naudoti apytikslę metodiką ir kokių paklaidų galima tikėtis. Galima rekomenduoti tokia orientacines ekvivalentinių įtempių paklaidų vertes:
 - a) jei $|v_1 - v_2| = 0,1$ tuomet $\Delta_{\max} \approx 4\%$ ($\phi = 0,1$); $\Delta_{\max} \approx 3\%$ ($\phi = 1$); $\Delta_{\max} \approx 9\%$ ($\phi = 10$);
 - b) jei $|v_1 - v_2| = 0,2$ tuomet $\Delta_{\max} \approx 8\%$ ($\phi = 0,1$); $\Delta_{\max} \approx 6\%$ ($\phi = 1$); $\Delta_{\max} \approx 16\%$ ($\phi = 10$).

Tikrosios paklaidos gali būti mažesnės. Tai priklauso nuo konstrukcijos tipo (pilnavidurė ar tuščiavidurė), medžiagų išdėstymo (ATK ar TTK), DS geometrijos.

Verta atkreipti dėmesį, kad skaičiuojant DS baigtinių elementų metodu (BEM) reikia įvertinti ne tik BEM'o metodines, skaičiavimo, bet ir pasirinkto matematinio modelio neatitikimo fiziniam objektui, sąlygotas paklaidas.

Literatūra

1. **J.Bareišis.** Design and Stress State of Tensions in Multilayer Bars. Journal of COMPOSITE MATERIAL, Vol.38, No.5/2004. ISSN 0021-9983. p. 389-397.
2. **N.Partaukas, J.Bareišis.** Patikslinta tempiamų-gniuždomų strypų skaičiavimo metodika. Jaunųjų mokslininkų darbai, Šiaulių universiteto leidykla, priimta spaudai, ISSN 1648-8776.

VAKUUMINĖS SISTEMOS ELEKTRODINAMINIŲ PROCESŲ TYRIMAS IR PANAUDOJIMAS VALDYME

L. Bosaitė

Kauno technologijos universitetas Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: emisija, elektrovaros jėga ev_j , zondas, pastovioji dedamoji.

1. Įvadas

Vakuume garinant medžiagas aukštesnėje temperatūroje visuomet atsiranda termo elektroninės emisijos elektronų srautas. Šis atsiradęs srautas patenka į kondensuojamos medžiagos paviršių ir gali būti panaudotas kondensato elektrinių savybių tyrimui [1]. Tačiau vakuuminio įrenginio kameroje termo elektroninės emisijos elektronų srautą veikia garintuvo kintamos srovės sukurtas elektromagnetinis laukas bei garintuvo maitinimo įtampos sukurtas elektrostatinis laukas. Šie laukai yra natūralūs ir jų poveikį sumažinti nėra galimybės. Veikiant šiems laukams elektronų srauto kryptis ir jo srovės tankis tampa kintami ir kinta periodiškai kartu su garintuvą maitinančios įtampos kitimu.

Teorinis tyrimas modeliuojant visą vakuuminę sistemą yra gana komplikotas, kadangi joje yra daug įvairios konfigūracijos metalinių konstrukcijų, pats garintuvas sudėtingos konstrukcijos [2, 3] ir sistemos viduje veikia kintami elektromagnetiniai ir elektrostatiniai laukai. Todėl buvo pasirinktas eksperimentinis būdas ištirti, kokių būdų galima panaudoti natūralios termo elektroninės emisijos srautus informacijai apie garinimo ir kondensacijos procesų eigą.

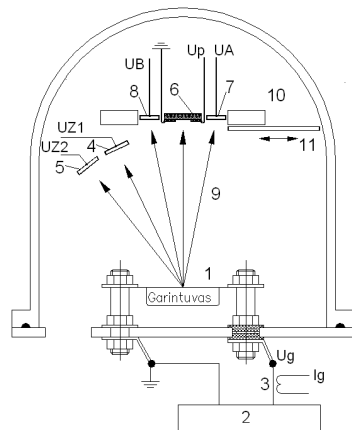
2. Eksperimentinis tyrimas

Eksperimentai buvo atliekami vakuuminio garinimo įrenginio kameroje (1 Pav.). Joje patalpinti visi matavimo zondai ir padėklas, ant kurio kondensuojasi garinamos medžiagos garai. Varžinis garintuvas 1 kaitinamas kintama elektros srove, kurią valdo tiristorinis keitiklis 2. Garintuvo įtampa U_g matuojama garintuvo gnybtuose, o garintuvu tekanti srovė i_g – srovės transformatoriumi 3. Virš garintuvo yra du skritulio formos metaliniai zondai 4 ir 5. Jie išdėstyti taip, kad neužstotų viršuje esančių padėklo 6 ir zondų 7 ir 8, o

jų plokštumos statmenos linijai, jungiančiai jų plotų centrus ir garintuvo paviršiaus centrą. Įkaitęs garintuvo 1 paviršius sukuria termoelektroninės emisijos elektronų srautą 9, kuris, veikiamas garintuvu tekančios srovės sukurto kintamo magnetinio lauko, atlenkiamas nuo vertikalios krypties. Geometriškai perstumti zondai 4 ir 5 leidžia tirti šio magnetinio lauko įtaką termoelektroninės emisijos srautui, kuris patenka į padėklą 6 ir zondus 7 ir 8. Virš garintuvo laikiklyje 10 įtvirtinti padėklas 6 ir zondai 7, 8, kurių išmatuotos U_A ir U_B įtampos panaudotos elektronų srauto 9, krentančio į padėklą 6, identifikacijai.

Eksperimento pradžioje tiriamasis padėklas 6 ir zondai 7, 8 uždengti nuo garintuvo sklende 11. Įjungus tiristorinį keitiklį 2, garintuvu tekanti srovė įkaitina jį ir garinamą medžiagą, esančią jame. Kai zonde 4 pasiekiamas reikiama termoelektroninės emisijos srovės sugeneruota įtampa, atidaroma sklendė 11. Medžiagos garų ir elektronų srautas nekliudomai patenka į padėklą 6 ir zondus 7, 8. Kai tiriamo padėklo įtampa sumažėja iki minimumo, tada išjungiamas garintuvo maitinimo įtampa arba uždaroma sklendė 11.

Zondų A ir B paskirtis identifikuoti termo elektrovaros evj E ir elektronų srauto varžą r_E , todėl jie yra šalia padėklo. Įtampos U_A ir U_B periodo metu keičiasi veikiamos garintuvo srovės sukurto magnetinio lauko. Tačiau elektronų srautas, pasiekiantis šiuos zondus, tik nedideliame laiko intervale yra neveikiamas garintuvo srovės sukurto magnetinio lauko ir yra nusistovėjęs. Iš šio intervalo ir imamos įtampų U_A ir U_B reikšmės sprendžiant termoelektroninės emisijos parametrų identifikavimo uždavinį.



1 pav. Eksperimentinio tyrimo įrenginys: 1 – garintuvas, 2 – tiristorinis keitiklis, 3 – srovės transformatorius, 4, 5 – garintuvo temperatūros matavimo zondai, 6 – padėklas kondensacijos procesų tyrimui, 7, 8 – zondai termoelektroninės emisijos parametrų identifikacijai, 9 – termoelektroninės emisijos elektronų srautas, 10 – padėklo ir zondų laikiklis, 11 – sklendė

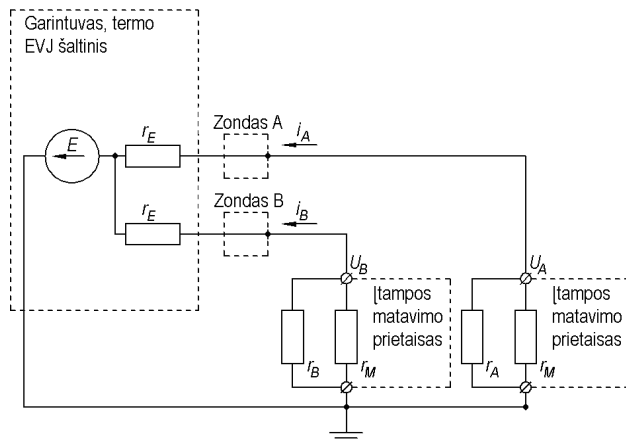
3. Ekvivalentinė matavimo schema

Ekvivalentinė elektrinė matavimo schema, skirta identifikuoti termoelektroninės emisijos parametrus, pateikta 2 pav. Termo elektroninės emisijos šaltinis – įkaitusio garintuvo paviršius, pakeistas ekvivalentiniu šaltiniu E , o elektronų išėjimo darbo ir erdvinio krūvio įtaka emisijos srovei pakeista ekvivalentine šaltinio vidaus varža r_E . Zondų įtampas U_A ir U_B matuojančių modulių įėjimuose prijungtos šuntuojančios varžos r_A ir r_B . Vidinė modulių įėjimo varža yra r_M . Šių lygiagrečiai sujungtų varžų atstojamoji varža pažymėta r_{MA} ir r_{MB} atitinkamai.

Atliekant eksperimentus buvo pastebėta, kad gaunami signalai turi skirtingas pastovias dedamąsias, kurios sukelia papildomus nuokrypius identifikuojant parametrus. Siekiant panaikinti pastovių dedamųjų įtaką buvo suskaičiuotos šių dedamųjų reikšmės tada, kai garintuvo maitinimo įtampa neįjungta, imant pikines reikšmes iš eksperimentų signalų ir visų periodų diskretines reikšmes. Įtampų U_A ir U_B pastovios dedamosios abiem būdais gautos vienodų reikšmių. Todėl iš išmatuotų įtampų U_A ir U_B atėmus gautas pastoviųjų dedamųjų reikšmes buvo gautos tikrosios šių įtampų reikšmės.

Lygčių sistema, aprašanti zondų A ir B ekvivalentines elektrines grandis yra tokia:

$$\begin{cases} U_A = E \cdot \frac{r_{MA}}{r_E + r_{MA}} \\ U_B = E \cdot \frac{r_{MB}}{k_s \cdot r_E + r_{MB}} \end{cases} \quad (1)$$



2 pav. Ekvivalentinė elektrinė termo elektroninės emisijos parametrų matavimo schema

Koeficientas k_s įvertina zondų geometrinės padėties garintuvo atžvilgiu skirtumą. Iš lygčių sistemos (1) išreiškiame zondų A ir B įtampų santykį:

$$\frac{U_A}{U_B} = \frac{r_{MA} \cdot (k_s \cdot r_E + r_{MB})}{r_{MB} \cdot (r_E + r_{MA})}. \quad (2)$$

Iš lygties (2) išreiškiame termo elektrovaros šaltinio (įkaitusio garintuvo paviršiaus) ekvivalentinės vidaus varžos r_E priklausomybę nuo išmatuotų U_A ir U_B įtampų:

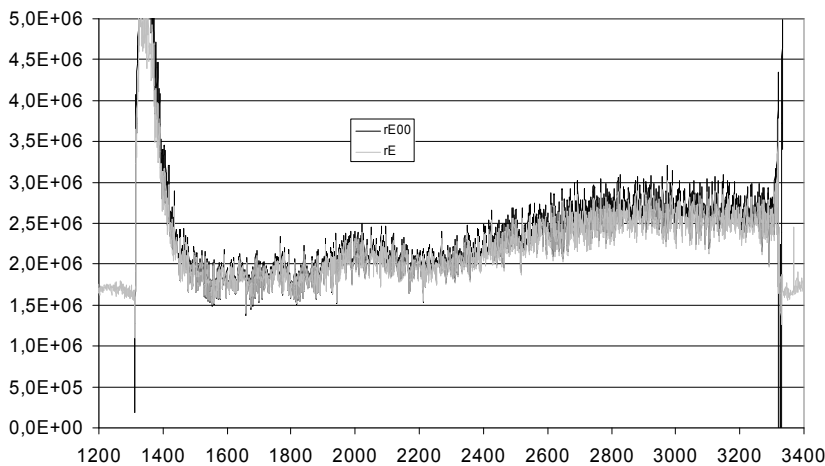
$$r_E = \frac{\frac{U_B - U_A}{U_A} - \frac{r_{MA}}{r_{MB}}}{\frac{r_{MA}}{r_{MB}} - 1}. \quad (3)$$

Skaičiavimo rezultatai, panaudojant išraiškoje (3) eksperimento rezultatus, pateikti 3 pav. Pačioje pradžioje, kai tik sklendė atidaroma, lygtimi (3) gauti rezultatai negali būti panaudoti r_E identifikavimui, kadangi elektronų srautai dar nenusistovėję.

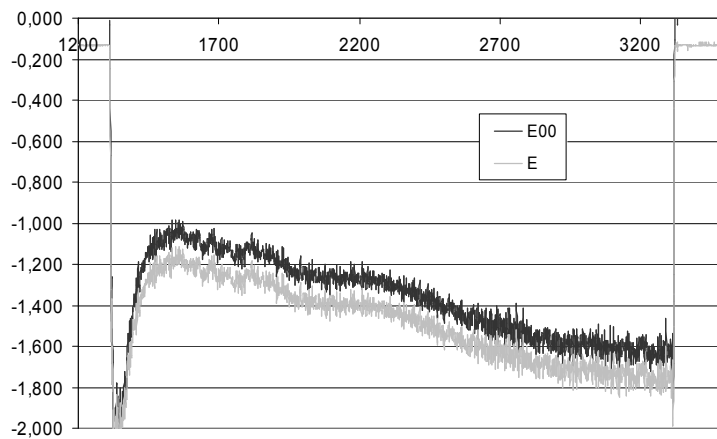
3 pav. matoma, kad eliminavus pastovias išmatuotų įtampų dedamąsias termo elektrovaros šaltinio varžos r_E reikšmės yra didesnės iki 11%. Iš lygčių sistemos (1), turėdami identifikuatą r_E , išreiškiame termo evj E priklausomybę tokiu būdu:

$$E = U_A \cdot \frac{r_E + r_{MA}}{r_{MA}}. \quad (4)$$

Panaudojant išraišką (4), r_E reikšmės, apskaičiuotas išraiška (3), ir išmatuotas įtampų U_A ir U_B reikšmės, apskaičiuotas termo evj E reikšmės kitimas viso kondensacijos proceso metu (4 pav.).



3 pav. Identifikuotas ekvivalentinės termoelektroninės emisijos šaltinio vidaus varžos kitimas proceso metu ir pastovią dedamąją prilyginus nuliui



4 pav. Identifikuotas termo elektroninės emisijos šaltinio evj kitimas proceso metu ir pastovią dedamąją prilyginus nuliui

Čia matoma, kad eliminavus pastoviąsias įtampų dedamąsias, apskaičiuota termo evj E reikšmė sumažėja 10%.

5. Išvados

1. Signalų pastovios dedamosios pašalinimas skaičiavimo rezultatams įtakos turėjo, nes termo elektrovaros šaltinio varža pakito 1 – 41%, o termo evj E pakito 2 – 17%.
2. Pateiktas termo evj ir ekvivalentinės varžos identifikavimo metodas neduoda patikimų rezultatų ir tai greičiausia todėl, kad ekvivalentinės varžos į zondus A ir B nevienodos.
3. Numatyta eksperimentų serija, kurios tikslas ištirti ekvivalentinės varžos priklausomybės nuo zondų potencialų.

Literatūra

1. **D. Virzonis, V. Sinkevicius.** Increasing the observability of the thin films manufacturing process // Electronics and Electrical Engineering. - 2004, N 4(53), P. 42-45.
2. **P. Tarvydas, E. Pacesaitė, A. Noreika.** Modeling of Magnetic Field created by Coil in 3-D space // Electronics and Electrical Engineering. - 2004, N 7(56), P. 29-32.
3. **P. Tarvydas, V. Markevičius, A. Noreika, E. Pacesaitė.** Modeling of Electric Field created by Electronic Optical System // Electronics and Electrical Engineering. - 2005, N 1(57), P. 20-23.

MIKROSKOPINIŲ VAIZDŲ ANALIZĖS IR KLASIFIKAVIMO AUTOMATIZAVIMAS

S. Skindzerienė

Kauno technologijos universitetas Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: atominės jėgos mikroskopija, Matlab.

1. Įvadas

Atominės jėgos mikroskopija (AJM) yra šiandien plačiausiai naudojama ir universaliausia skenuojančios mikroskopijos technologija [1]. Ji leidžia mažomis laiko bei materialinėmis sąnaudomis gauti turtingą kiekybinę informaciją apie medžiagos paviršių [2]. AJM naudojama tiek medžiagos paviršiaus charakterizavimui, tiek nanodarinių vizualizavimui ir nanomatavimams. Tipinė lateralinė AJM skiriamoji geba yra dešimtosios nanometro dalys [3].

AJM naudojama ne tik fundamentiniuose tyrimuose, bet ir technologiniame medžiagų bei paviršių charakterizavime. Kuriant reikiamomis savybėmis pasižyminčios medžiagos sintezės technologiją (pavyzdžiui, plazmocheminę silicio nitrido sintezę) dažnai kyla poreikis charakterizuoti dideles bandinių serijas. Tam reikalingos didelės laiko sąnaudos. Todėl AJM tyrimai reikalauja automatinio vaizdų interpretavimo, kuris būtų parankesnis ir universalesnis, negu su yra paprastai su mikroskopu komplektuojama programinė įranga.

Vienas svarbiausių mikroskopinio vaizdo parametrų yra vaizde stebimų darinių dydis, jų kiekis ir statistinis pasiskirstymas pagal dydį. Šio parametro automatizavimui buvo atliktas šiame straipsnyje aprašytas tyrimas.

2. Metodų aprašymas

Viena iš galimybių automatizuoti AJM vaizdų analizę yra pasitelkti vaizdų analizės įrankius esančius Matlab aplinkoje, naudojant įrankius iš vaizdų apdorojimo įrankinės (Image processing toolbox – IPT).

Mikroskopiniame vaizde stebimų darinių dydį patogiausia nustatyti pagal informaciją, kurią suteikia paveikslo šviesumo profilis. Minėtoje IPT yra

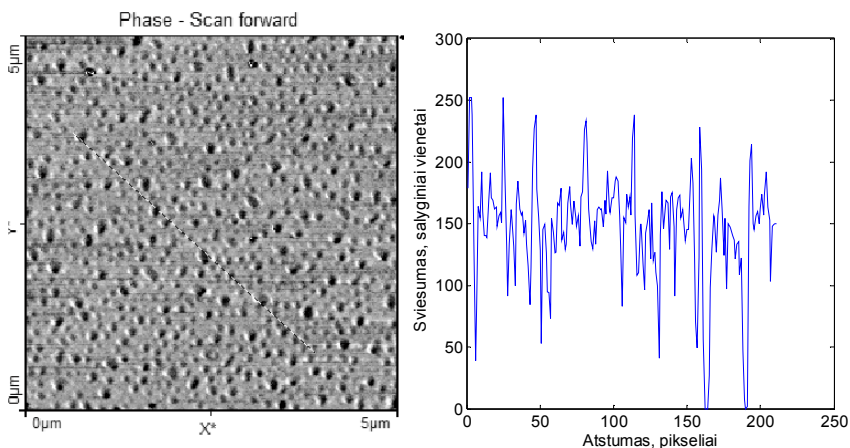
instrumentinė funkcija `improfile`, kurios pagalba galima gauti šviesumo profilį iš norimos paveikslų vietos.

Paveikslą analizei į Matlab terpę galima įkelti pasinaudojant funkcija `imread` (pavyzdžiui, `I=imread('paveikslas.bmp')`). Ši funkcija nuskaito iš disko bet kokio grafinio formato failą, jį paveikslą duomenis įrašo į masyvą *I*. Funkcija `imshow(I)` atvaizduoja nuskaitytą paveikslą Matlab Figure lange.

Kadangi daugelis šiuolaikinių mikroskopų duoda spalvotą vaizdą, duomenys masyve *I* saugomi specialiu RGB formatu, t.y. dvimatėje trijų stulpelių matricioje. Kiekvienos spalvos intensyvumas (šviesumas) šioje matricioje atvaizduojamas 8 bitų skaičiais (nuo 0 iki 255). Kadangi analizei reikalinga ne atskirai kiekvieno spalvinio kanalo informacija, o bendras paveikslų šviesumas, patogiau prieš pradedant analizę paveikslą paversti į pilkumo gradacijų (grayscale) formatą. Tam galima pasinaudoti funkcija `rgb2gray` (1 pav.).

Funkcija `improfile` gali būti naudojama dviem būdais: interaktyviu arba automatinio. Naudojant pirmąją funkcijos formą, funkcija išskviečiama be parametrų, o vartotojas turi pelės žymekliu nurodyti norimą paveikslų vietą (1 pav.).

Dirbant automatinio režimu, `improfile` reikia nurodyti masyvą, kuriame saugoma paveikslų informacija (mūsų atveju masyvas *I*) bei koordinates, per kurias turi eiti norima profilio linija. Dirbant interaktyviu režimu, funkcija `improfile` automatiškai, kitame figure lange atvaizduoja paveikslų profilį, o į Matlab darbinę terpę skaičių masyvu grąžina to profilio vertes. Dirbant automatinio režimu profilio vaizdas į ekraną neišvedamas automatiškai; tai galima padaryti programiškai, pavyzdžiui, `plot(I_profile)`.



1 pav. Pelės žymekliu nurodyta vieta, pagal kurią gauname vaizdo intensyvumo profilį

Automatizuojant aptartus veiksmus buvo parašyta Matlab funkcija, pateikiama žemiau.

```
function read_and_profile(image_file);
    i=imread(image_file);
    imshow(i)
    whos
    % Spalvos intensyvumas (sviesumas) isreikstas matrica
    i_juodas=rgb2gray(i);
    whos
    imshow(i_juodas)
    % Gautas nespaltotas vaizdas
    l_profilis=improfile;
    display ('Peles kursioriumi nurodyti profilio linija')
    plot(l_profilis);
    subplot(1,2,1)
    imshow(i_juodas)
    subplot(1,2,2)
    plot(l_profilis)
```

3. Rezultatų aprašymas

Automatizuojant paveikslo analizę buvo sukurtas specializuotas profilio analizės algoritmas, kurio pagalba buvo išmatuoti šviesių zonų, esančių vaizde, dydis. Šios automatinės analizės rezultatai buvo kontroliuojami lygiagrečiai rankiniu būdu matuojant ir skaičiuojant minėtų objektų dydį. Lentelėje pateiktas abiejų metodų palyginimas.

1 lentelė. Salelių dydžiai matuoti ir skaičiuoti

Plotis, mm	Tarpas, mm	Plotis, pikseliais	Tarpas, pikseliais
1,3	7,0	0,47	2,52
0,75	6,3	0,27	2,27
1,0	10,05	0,36	3,62
2,0	10,05	0,72	3,62
1,0	13,0	0,36	4,68
1,0	1,5	0,36	0,54
0,5	4,0	0,18	1,20
0,5	6,5	0,18	2,34
1,0	3,0	0,36	1,08

4. Išvados

Automatinės analizės būdu surasti vaizdo parametrai atitinka su rankiniu būdu išmatuotais ir apskaičiuotais parametrais ne blogiau kaip 92%. Pasirinktas analizės metodas leidžia iš vaizdo šviesumo profilio surasti vaizdo detalių matmenis ir atstumus tarp jų.

Literatūra

1. **E.H. Synge**, "A suggested method for extending microscopic resolution into the ultra-microscopic region," *Phil. Mag.* 6, pp.356-62 (1928).
2. **E.A. Ash** and **G. Nicholls**, "Super-resolution aperture scanning microscope," *Nature* 237 (5357), pp.510-13 (1972).
3. **E. Betzig, J.K. Trautman, T.D. Harris, J.S. Weiner, R.L. Kostelak**, "Breaking the diffraction Barrier: Optical Microscopy on a Nanometric Scale," *Science* 251, pp.1468-70 (1991).

PLONŲ SILICIO IR JO JUNGINIŲ PLĖVELIŲ ĮTEMPIŲ MATAVIMO AUTOMATIZAVIMAS

D. Andrejūnaitė

Kauno technologijos universitetas Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: mechaniniai įtempiai, ploni sluoksniai, Matlab'as, interferometras.

1. Įvadas

Mikroelektronikoje, optikoje, mikromechaninėse sistemose ir kitur plačiai naudojamos dielektrinės, metalinės, puslaidininkinės plėvelės, kurių storiai nuo kelių dešimčių nanometrų iki keleto mikronų. Plėvelės dengiamos ant padėklų cheminiais, elektrocheminiais bei fizikiniais metodais. Priklausomai nuo pasirinktos plėvelės užnešimo technologijos ir padėklo bei plėvelės medžiagos, darinyje padėklas – plėvelė atsiranda mechaniniai įtempiai. Šie įtempiai įtakoja mechanines, elektrines bei optines darinių savybes, nulemia jų patikimumą ir ilgaamžiškumą. Dėl įtempių darinys padėklas – plėvelė deformuojasi. Jei plėvelė užnešama ant ilgo, siauro ir plono padėklo, tai priklausomai nuo įtempių ženklo, bandinys išlinksta į vieną ar kitą pusę. Susitarta, kad gniuždantieji įtempiai yra neigiami, o tempiamieji – teigiami. Atliekant daug bandymų įtempių matavimas tampa sudėtingas, todėl norint palengvinti mokslininkų darbą, nutartą jį automatizuoti. Automatizavimui panaudojama Matlab'o matematinio paketo vaizdų apdorojimo programinė įranga.

2. Įtempių matavimo prietaisai ir metodai

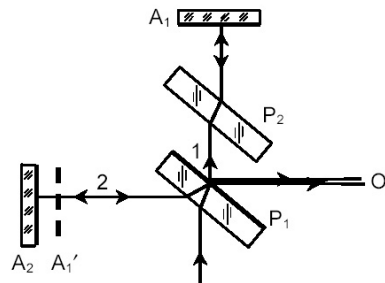
Įtempius galima išmatuoti pasinaudojant pagrindo išlinkio metodu [2]. Bandinio išlinkimas yra atvirkščias dydis jo kreivumo spinduliui. Nustačius kreivumo spindulį, įtempius plėvelėje, užneštoje ant ilgo, siauro ir plono padėklo patogiau skaičiuoti pasinaudojant Stoney formule:

$$\sigma = \frac{E_s d_s^2}{6(1-\nu) d_f} \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right); \quad (1)$$

čia E_s ir ν – padėklo Jungo modulis ir Puasono koeficientas, d_s ir d_f – padėklo ir plėvelės storiai, R_1 – padėklo kreivumo spindulys prieš užnešant plėvelę, R_2 – struktūros plėvelė-padėklas kreivumo spindulys (Stoney formulė gerai tinka tik tada, kai $d_s \gg d_f$).

Matuojant pagrindo išlinkį, kurį sukelia ant jo nusodinta plonasluoksni medžiaga (medžiagos storis mažesnis už $1\ \mu\text{m}$), reikalingas matavimo prietaisas, galintis išmatuoti mikrometro dalies išlinkius. Tam tinka šviesos bangų interferencija pagrįsti ilgio matavimo prietaisai, vadinami optiniais interferometrais. Interferometrai leidžia nustatyti koordinatės pasikeitimą šimtų nanometrų tikslumu – priklausomai nuo naudojamos šviesos bangos ilgio. Tam reikia dviejų koherentiškų lazerio pluoštelių, sudedamų ekrane arba fotodetektoriaus paviršiuje (1 pav.). Vienas pluoštelis visada nueina tą patį kelią, o kito, matuojamojo pluoštelio kelias kinta. Ekrane dėl to atsiranda interferencinis vaizdas, kuris leidžia išmatuoti atstumą arba judesį.

Maikelsono interferometro schema [1]: svarbiausią interferometro dalį sudaro plonu, pusiau skaidriu sidabro sluoksniu padengta vienodo storio plokštelė P1. Iš šviesos šaltinio 45° kampu į šią plokštelę krinta monochromatinė šviesa. Ji padalina šviesos pluoštą į du vienodo intensyvumo pluoštus. Vienas iš jų, atspindėjęs nuo veidrodžio A1, sugrįžta į plokštelę P1 ir atspindi nuo jos stebėjimo objekto O linkme. Antrasis pluoštelis krinta į veidrodį A2, atspindi nuo jo ir pereina atgal į plokštelę P1, stebėjimo objekto O kryptimi. Kadangi abu spinduliai (1 ir 2) susidaro iš vieno šviesos pluoštelio, jie yra koherentiniai ir gali interferuoti. 2 spindulys pereina plokštelę P1 tris kartus, o 1 spindulys – vieną kartą. Spinduliai sąveikauja taip, kad išsukia interferencinių juostelių atsiradimą.



1 pav. Maikelsono interferometro schema: A1, A2 – veidrodžiai; A1', A2' – menami veidrodžio atvaizdai; 1 – spinduliai; P1, P2 – sidabro sluoksniu padengtos plokštelės; O – stebėjimo objektas.



2 pav. Tipinis interferometrinis vaizdas ant 4 mm pločio bandinio

Pagal interferencines plokšteles (2 pav.) galima išmatuoti bandinio išlinkį ir apskaičiuoti kokie įtempiai veikia plokštelę.

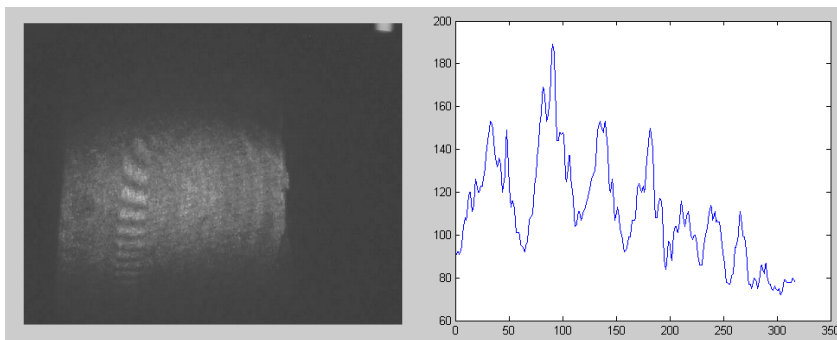
3. Įtempių matavimo automatizavimo metodas

Atliekant eksperimentus, ieškant geriausių medžiagų savybių, įtempių matavimams skirtų bandinių kiekis siekia dešimtis vienam eksperimentui. Todėl, siekiant operatyvaus informacijos apdorojimo, svarbu matavimo procesą automatizuoti. Imliausias darbui ir daugiausia kruopštumo reikalaujantis matavimo etapas yra interferometrinio vaizdo kiekybinis vertinimas. Jį ir bus siekiama automatizuoti. Tam gerai tinka funkcijos, esančios Matlab vaizdų apdorojimo įrankinėje (IPT - Image processing toolbox). Į Matlab terpę paveikslą galima įkelti pasinaudojant funkciją `imread`. (pavyzdžiui, `I=imread('Image.bmp')` – nuskaito iš disko bet kokio grafinio formato failą, jo duomenis įrašo į masyvą *I*). Funkcija `imshow(I)` atvaizduoja nuskaitytą paveikslą Matlab Figure lange.

Norint teisingai įvertinti interferometrinį vaizdą yra svarbu surasti vaizdo šviesumo maksimumus, todėl patogiau yra dirbti su pilkumo gradacijas turinčiu paveikslu, o ne su spalvotu paveikslu. Tam naudojama funkcija `rgb2gray` (3 pav.).

Informacija apie plokštelės išlinkį yra gaunama išmatuojant atstumus tarp interferencinės juostos šviesumo maksimumų. Tai patogu padaryti surandant šviesumo profilį. Tam naudojama funkcija `improfile`, kuri gali būti naudojama dviem būdais: interaktyviu arba automatinio. Naudojant interaktyviąją funkcijos formą, ji išskviečiama be parametrų, o vartotojas turi pelės žymekliu nurodyti norimą paveikslo vietą (3 pav.).

Dirbant antruoju režimu, `improfile` reikia nurodyti masyvą, kuriame saugoma paveikslo informacija (šiuo atveju masyvas *I*) bei koordinatas, per kurias turi eiti norima profilio linija. Dirbant interaktyviu režimu, funkcija `improfile` automatiškai, kitame Matlab Figure lange atvaizduoja paveikslo profilį,



3 pav. Interferencinių juostų ir profilio vaizdas

o į Matlab darbinę terpę skaičių masyvu grąžina to profilio vertes. Dirbant automatinio režimu profilio vaizdas į ekraną neišvedamas automatiškai; tai galima padaryti programiškai, pavyzdžiui, `plot(L_profile)` (3 pav.)

Paveikslo analizės automatizavimui reikalinga funkcija, kuri vaizdo profilio duomenų masyve atpažintų šviesumo maksimumus, išmatuotų atstumus tarp jų ir gautą informaciją perskaičiuotų į matavimo plokštelės kreivumo spindulį. Žemiau pateikiama paveikslo su interferometrinio vaizdu nuskaitymo iš disko profilio vietos pažymėjimo bei jo atvaizdavimo funkcija.

```
function read_and_profile (filename)
    I=imread(filename);
    I_gray=rgb2gray(I);
    figure(1)
    imshow(I_gray);
    display('Peles kursoriu pazymeti sriti');
    I_profile=improfile;
    plot(I_profile);
```

4. Rezultatai

Išmatavus 3 paveiksle atvaizduoto interferometrinio vaizdo profilio duomenis, buvo gauta tokia informacija:

1 lentelė. Įtempių skaičiavimas

		Silicis		
		Jungo modulis	Puasono koef.	
h_s , mm	Y , GPa	E , GPa	ν	Orientacija
0,4	263,394109	187,8	0,287	<111>
		Silicio nitridas		
h_f , nm	h_f , nm	h_f , nm		
300	330	350		
Pavad.	R su danga	R be dangos	Įtempimai	
063.3	238,3	483,6	0,049835721	

3. Išvados

Pasinaudojant IPT funkcijomis galima automatizuoti įtempių matavimo metu gautų interferometrinių vaizdų kiekybinį vertinimą. Tolesniuose darbo etapuose, surinkus patikimą matavimų statistiką, bus atliktas automatizuoto vertinimo patikimumo tyrimas.

Literatūra

1. V. A. Šalna, „Optikos laboratoriniai darbai“
2. Л. Майссел Р. Глзна „Технология тонких пленок“

GARINTUVO TEMPERATŪROS DINAMINIŲ PROCESŲ TYRIMAS

M. Jasiūnas

Kauno technologijos universitetas Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: garintuvas, vakuumas, modeliavimas.

1. Įvadas

Plonų sluoksnių technologijos plačiai taikomos pramonės ir gamybos srityse, naudojant jas medžiagų apdirbimui, gamybai, mikroelektronikoje, optikoje, energetikoje, elektronikoje, dekoratyvinių apsauginių dangų formavime. Šių plėvelių suformavimui reikia išgarintą medžiagą nusodinti ant apdirbamo paviršiaus. Medžiagos išgarinimui naudojami įvairių tipų ir formų garintuvai.

2. Garintuvai

Garintuvo tipą, konstrukciją reikia pasirinkti kiekvienam konkrečiam atvejui, atsižvelgiant į garinamos medžiagos savybes, plėvelės stochiometriją ir parametrus, technologinę įrangą, technologinį režimą ir t.t. Garintuvo tipą ir konstrukciją lemia išgarinamos medžiagos savybės (iš kokios fazės – skystos ar kietos – vyksta išgarinimas), išgarinimo greitis, jo pastovumas laikui bėgant ir kt. Jeigu išgarinimas vyksta iš kietos fazės (sublimacija), naudojami tiesioginio kaitinimo garintuvai. Garintuvas, pvz., chromo, kadmio vielelė, kaitinama praleidžiant elektros srovę. Šiuo atveju plėvelė mažiausiai užteršiama priemaišiniais atomais. Kai medžiaga neturi sublimacijos savybės, naudojami netiesioginio kaitinimo garintuvai, t.y. išgarinama medžiaga kaitinama kaitintuvu.[1]

Rezistyviniai kaitintuvai įkaista, pratekant pro juos srovei, Džaulio šilumos dėka. Kadangi medžiagos išgarinimas vyksta gana aukštose temperatūrose, kaitintuvams keliami tokie reikalavimai:

- a) kaitintuvo medžiagos garų slėgis turi būti žymiai mažesnis už išgarinamos medžiagos garų slėgį garintuvo temperatūros diapazone;
- b) išgarinama ir kaitintuvo medžiaga neturi tarpusavyje sudaryti cheminių junginių garintuvo temperatūros diapazone.

Rezistyvinius kaitintuvus galima suskirstyti į vielinius, juostelės tipo ir tiglinius. Vieliniai kaitintuvai gaminami iš sunkiai besilydančių metalų (W, Mo, Ta) vielos, suteikiant jiems “V” formos, cilindrinės spiralės, kūginės spiralės ir kitokią formą. Vielos diametras 0,5 – 1,5 mm. Vielinio kaitintuvo

konstrukciją lemia garinamos medžiagos savybės. Jie naudojami, kai išgarinama medžiaga, esanti skystoje fazėje, gerai drėkina kaitintuvą. Dažnai naudojami fokusuoto elektronų pluošto garintuvai. Tai įgalina gauti labai didelį galingumą ir aukštą temperatūrą, todėl garuoja net sunkiai besilydantys metalai. Garinant elektronų pluoštu, paprasta reguliuoti ir kontroliuoti išgarinimo greitį. Garinant metalus arba jų lydinius, galima panaudoti išgarinimą iš vielos. Reguluojant jos padavimo greitį, galima gauti norimus plėvelės parametrus.

3. Garintuvo veikimas

Garinimo įrenginį sudaro vakuuminė kamera, varžinis garintuvas, garintuvo galios šaltinis valdomas tiristorinio keitiklio, zondai termo evj fiksavimui, padėklas ir laikikliai jam fiksuoti.[2]

Garinimo įrenginio darbo metu yra paduodama įtampa ir srovė į volframinį garintuvą ir šis įkaista. Į garintuvą įdėtas metalo gabaliukas kaista kartu su juo. Pasiekus tam metalui būdingą garavimo temperatūrą jis pradeda emituoti atomus. Kartu su garinamos medžiagos dalelėmis emituoja ir elektronai iš garintuvo. Šie elektronai judėdami užgarinamos plokštelės link sukuria elektrinį lauką. Sukuriama emisijos srovė. Emisijos srovė priklauso nuo garintuvo temperatūros.

4. Modeliavimas

Tyrimui pasirinktas volframinis spiralės formos garintuvas (1 pav.). Darbe tiriamas rezistyvinis garintuvas, o tiksliau kaip priklauso garintuvo temperatūra nuo kaitinimo įtampos dažnio ir šuolinių įtampų. Tai leis geriau suprasti kaip ir kokios temperatūros pasiskirsto garintuvo paviršiuje.

Mums aktualiausios yra garintuvo medžiagos savybės. Nuo jų priklauso kaip įkaista ir atvėsta garintuvas. Volframo savybės pateiktos 1 lentelėje.

Sudarytas garintuvo matematinis modelis jo temperatūros pasiskirstymo skaičiavimui. Bus sprendžiamas terminis-elektrinis uždavinys su radiacija. Tam naudosime radiacinės matricos metodą. Todėl tyrimo metu



1 pav. Garintuvas

1 lentelė. Volframo savybės

Tankis	19,25 g/cm ³
Šiluminė talpa	130 J/(K·mol)
Šiluminis laidis	174 W/(m·K)
Lydimosi temperatūra	3695 K
Lydimosi šiluma	35,4 kJ/mol
Virimo temperatūra	5828 K
Garavimo šiluma	824 kJ/mol

2 lentelė. Garintuvo ir aplinkos parametrai

Dydis ir matavimo vnt.	Žymėjimas	Reikšmė
Srovė, A	I	≈ 1
Įtampa, V	U	4 ... 12
Slėgis kameroje Pa	P	iki 10^{-6}
Aplinkos temperatūra, °C	T	20

programa AutoCAD buvo nubraižytas garintuvo karkasas ir sudarytas jo trimatis modelis. Šis modelis buvo įkeltas į programinio paketo ANSYS aplinką.

Karkasą reikia padalinti į nustatytą skaičių baigtinių elementų. Tačiau jis negali viršyti 12 000 paviršinių elementų.

Kadangi mums svarbiau yra kaip temperatūros pasiskirsto spiralės zonoje, todėl, kad gauti tikslesnius rezultatus, garintuvo spiralę padaliname į didesnę skaičių baigtinių elementų. O kojelėms skiriame mažiau elementų.

Padalinę garintuvą baigtiniais elementais ir sudarę radiacinę matricą užduodame garintuvo ir aplinkos parametrus. Garintuvo ir aplinkos parametrai pateikti 2 lentelėje.

4. Išvados

Sudarytas volframo garintuvo matematinis modelis įgalinantis atlikti garintuvo temperatūros pasiskirstymo skaičiavimus baigtinių elementų metodu.

Literatūra

1. [www.eik.ktu.lt/personalas/anilionis/doc/Elektronikos%20technologijos%201%20knyga/3.Vakuumine%20ir%20plazmine%20technologijos\(32-40psl\)geras.doc](http://www.eik.ktu.lt/personalas/anilionis/doc/Elektronikos%20technologijos%201%20knyga/3.Vakuumine%20ir%20plazmine%20technologijos(32-40psl)geras.doc) (žiūrėta 2007-05-03).
2. **Sinkevičius, Vytenis; Viržonis, Darius; Šumskienė, Lina; Jukna, Tomas.** Research of electrodynamic processes in vacuum evaporation system // Electronics and Electrical Engineering = Электроника и электротехника = Elektronika ir elektrotechnika. ISSN 1392-1215. –Kaunas. 2007, Nr. 4(76), p. 75-78.

AUGANČIŲ KONDENSATŲ ELEKTRINIŲ REIKŠMIŲ IR JŲ PANAUDOJIMO VALDYME TYRIMAS

V. Chreptavičius

Kauno technologijos universitetas Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: emisija, elektrovaros jėga evj, zondas, pastovioji dedamoji, laiko pastovioji.

1. Įvadas

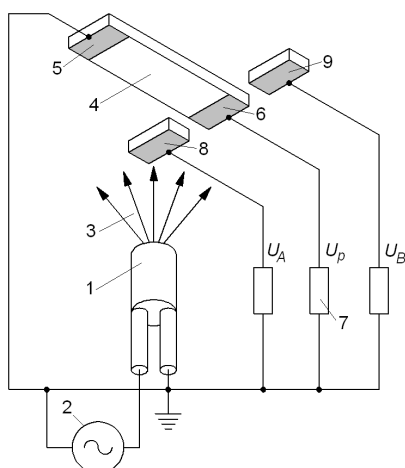
Kondensuojant medžiagos garus ant įvairių medžiagų padėklų, gaunami saleliniai, monoatominiai sluoksniai ar saviorganizuojantys dariniai. Šie sluoksniai yra per ploni, kad būtų galima naudoti tradicinius sluoksnių varžos ar storio matavimo būdus. Tyrimo metu daugeliu atveju kondensacijos procesas yra nutraukiamas ir atliekamas kondensato būsenos tyrimas atominių jėgų mikroskopu (AFM), rentgeno difrakcijos metodais [1], tačiau tai pakeičia tolimesnes kondensacijos sąlygas ir toks pertraukiamas būdas netinka pramoniniams įrenginiams. Netiesioginiai kondensuotos medžiagos storio matavimo būdai, naudojantys kvarco padėklą [2], neduoda informacijos apie kondensato struktūrą, be to garų kondensacijos sąlygos kiekvienos rūšies padėklo paviršiuje yra skirtingos [3]. Augančios kondensuotos plėvelės savybės ir struktūra taip pat priklauso nuo padėklo paviršiaus temperatūros [4], todėl tyrinėjant kondensacijos procesus būtina procesą atlikti nuosekliai, nepertraukiant jo tarpiniams matavimams. Įprastiniai kondensato varžos matavimo metodai [5, 6, 7] naudojantys dviejų ar keturių kontaktų metodą, leidžia išmatuoti metalinių plėvelių kondensato varžą ir aptikti jos kitimo ryšį su kondensato būsena. Tačiau matavimo metu prijungta įtampa pakeičia kondensacijos sąlygas.

Medžiagos garinimo metu susidaro ne tik atomų srautas, bet ir termo elektroninės emisijos emituotų elektronų srautas. Šį natūraliai gautą neigiamų krūvių srautą galima panaudoti beinvaziniam kondensato varžos matavimui ir nenaudoti jokių papildomų įtampos šaltinių. Eksperimentų rezultatai parodė, kad net pradinėse kondensacijos sąlygose įmanoma gauti informaciją apie kondensato varžą. O išmatuoto signalo ekstremumas yra kaip tik tuo metu, kai kondensatas yra salelinės struktūros. Be to šis metodas suteikia papildomos informacijos apie garinimo proceso būseną [8], sudaro galimybę valdyti medžiagos garinimo intensyvumą.

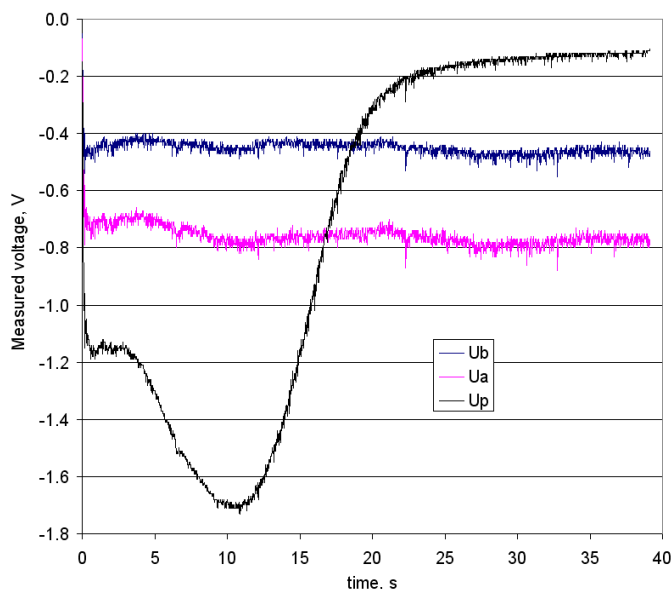
2. Eksperimentinis tyrimas

Eksperimentui buvo panaudota tokia matavimo schema (1 pav.). Varžinis garintuvas 1 kaitinamas kintama srove, kurią valdo tiristorinis keitiklis 2. Įkaitęs garintuvo 1 paviršius ir jame esanti garinama medžiaga sukuria termoelektroninės emisijos elektronų srautą 3 į padėklo 4 plokštumą. Padėklas 4 stačiakampės formos ir galuose turi dvi metalizuotas kontakto aikšteles 5 ir 6. Padėklo plokštumoje 4 ir kontaktų aikštelėse kondensuojasi garinamos medžiagos garai. Čia patenka ir termoelektroninės emisijos emituoti elektronai. Kontakto aikštelė 5 įžeminta, o aikštelė 6 sujungta su įtampos matavimo prietaiso 7 jėgimu, kuris matuoja įtampą U_p . Metaliniai zondai 8 ir 9 panaudoti kaip papildoma priemonė identifikuoti termo evj dydį E ir termo evj šaltinio vidaus varžą r_E . Pastarieji abu dydžiai eksperimento metu yra tarpusavyje susieti, tačiau kintantys priklausomai nuo garintuvo temperatūros ir garinamos medžiagos paviršiaus ploto.

Eksperimento pradžioje padėklas 4, jo kontakto aikštelės 5, 6 ir papildomi zondai 8 ir 9 yra uždengti sklende. Ši sklendė, kai garintuvas ir garinama medžiaga pasiekia reikiamą temperatūrą ir nusistovi garavimo greitis, patraukiama į šalį. Tada krūvių bei medžiagos garų srautas nekliudomai patenka į padėklo, kontaktų aikštelių plokštumas ir papildomus zondus. 2 pav. pateiktas tipiško eksperimento, kondensuojant Cr metalo plėvelę, rezultatas.



1 pav. Eksperimentinio tyrimo schema: 1 – garintuvas, 2 – garintuvo galios šaltinis, 3 – emituotų elektronų ir jonizuotų garinamos medžiagos atomų srautas, 4 – padėklas kondensatui, 5 – įžeminta padėklo kontakto aikštelė, 6 – padėklo aikštelė matuojamai įtampai, 7 – matavimo prietaiso jėgimo varža, 8, 9 – papildomi zondai termo evj ir vidaus varžos identifikavimui



2 pav. Padėklo kontakto aikštelės įtampos U_p ir papildomų zondų įtampų kitimo priklausomybės

Eksperimentinis kondensato būsenos tyrimas parodė, kad tuo metu, kai U_p įtampa pasiekia ekstremalią reikšmę, kondensatas yra tik salelininis – nėra ištisinio sluoksnio. Šioje būsenoje kondensato varža yra dešimčių mega omų eilės ir tradiciniais beinvaziniais matavimo metodais išmatuoti sluoksnio varžą ar jo būseną dar neįmanoma. Tačiau būtent ši būseną labiausiai ir domina konstruojant saviorganizuojančius nanodarinius. Išmatuotų įtampų reikšmės bei identifikuotų parametrų dydžiai priklauso nuo matavimo modulio įėjimo varžų, todėl būtina žinoti šių varžų tiksliai reikšmes.

3. Matavimo modulio įėjimo varžų identifikavimas

Matavimo modulio įėjimo varžų dydžių identifikavimui buvo atliktas eksperimentas, kurio schema pateikta 3 pav. Bandydams buvo naudoti du šaltiniai – 9 V ir 1.5 V. Jungikliu SB1 užkraunamas kondensatorius C1 ir po to maitinimo šaltinis atjungiamas. Įtampos matavimo modulis matuoja prijungto C1 kondensatoriaus išsikrovimo procesą, kuris vyksta per modulio įėjimo varžą. Po to maitinimo šaltinis buvo apsuktas – sukeistas poliariškumas. Buvo atlikti po 3 matavimus teigiamai ir neigiamai įtampoms.

Tipiškas kondensatoriaus įtampos išsikrovimo procesas parodytas 2 pav. Kadangi tai aperiodinė grandis su laiko pastoviaja T , tai šis procesas gali būti aprašytas tokia lygtimi:

$$U(t) = (U_c - U_0) \cdot e^{\frac{-(t-\Delta t)}{T}} \quad (1)$$

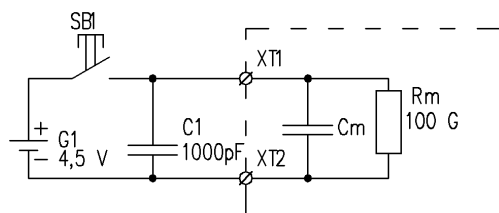
čia: U_c – įtampa, kuria buvo įkrautas kondensatorius prieš atjungiant SB1 jungiklį; Δt – išsikrovimo pradžios laikas, U_0 – matavimo modulio nulinis nuokrypis.

Įtampa U_c apskaičiuojama iš keliasdešimties išmatuotų U_i reikšmių vidurkio prieš pat atjungiant SB1 jungiklį. Įtampa U_0 apskaičiuojama iš keliasdešimties išmatuotų U_i reikšmių vidurkio pačioje išsikrovimo proceso pabaigoje. Iš tikro, tai reiktų užtrumpinti to kanalo įėjimą tam, kad išmatuoti tikrąjį U_0 . Dabar, turint U_c ir U_0 skaitines reikšmes, panaudojant eksperimento metu išmatuotas U_i reikšmes laiko momentai t_i , identifikuosime Δt ir T . Tam panaudosime suminio kvadratinio nuokrypio funkciją:

$$\delta(\Delta t, T) = \sum_{i=n}^m \left(U_i - (U_c - U_0) \cdot e^{\frac{-(t-\Delta t)}{T}} \right)^2 \quad (2)$$

Išraišką (2) minimuosime keisdami Δt ir T . Realiesiems skaičiavimams panaudotas Excel Solver priemonė. Funkcijos (1) grafikas su identifikuotais Δt ir T parodyta 4 pav.

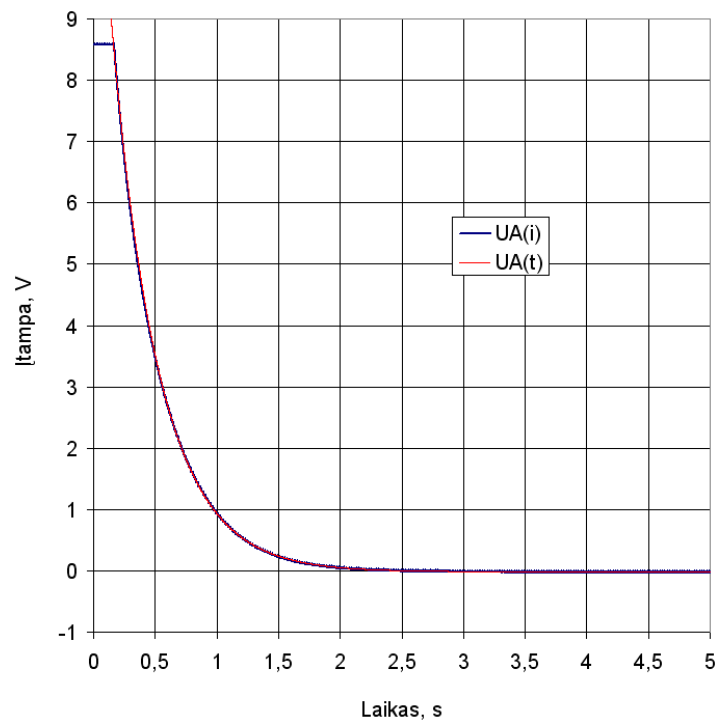
Identifikuotos laiko pastoviosios su panaudojant 1,5V įtampos šaltinį pateiktos 1 lentelėje, o 9V šaltinio pavaizduotos 2 lentelėje.



3 pav. Matavimo schema

1 lentelė. Identifikuotos laiko pastoviosios su 1,5V įtampa.

Nr.	Kanalas UA		Kanalas UB		Kanalas Up	
	+1,5V	-1,5V	+1,5V	-1,5V	+1,5V	-1,5V
1.	0,19439	0,19284	0,32190	0,32291	0,92541	0,98346
2.	0,19452	0,19261	0,32253	0,32284	0,90649	0,95185
3.	0,19487	0,19248	0,32292	0,32317	0,92974	0,95332
T, s	0,19459	0,19264	0,32245	0,32298	0,92055	0,96288
R_s, Ω	1649127	1632610	2732669	2737118	781296	8160000
Vidurkis R_s, Ω	1640858		2734894		7980648	



4 pav. Kondensatoriaus išsikrovimo procesas

2 lentelė. Identifikuotos laiko pastoviosios su 9V įtampa.

Nr.	Kanalas UA		Kanalas UB		Kanalas Up	
	+9V	-9V	+9V	-9V	+9V	-9V
1.	0,38071	0,35393	0,23373	0,23709	1,12906	1,14162
2.	0,38115	0,37206	0,23590	0,23751	1,12655	1,14174
3.	0,38187	0,37578	0,23447	0,23684	1,12987	1,14581
T, s	0,38125	0,37392	0,23470	0,23715	1,12849	1,14306
R, Ω	3230940	3168964	1989008	2009745	9563542	9686974
Vidurkis R, Ω	3199902		1999377		9625258	

4. Išvados

1. Pagal identifikuotų varžų prie 1,5V ir prie ankstesnių bandymų matyti, kad įėjimo varža netiesinė, todėl būtina atlikti daugiau eksperimentų su skirtingomis įtampomis.
2. Identifikuotos varžų reikšmės, panaudojant su teigiamas ir neigiamas įtampas, yra skirtingos.
3. Numatyta eksperimentų serija, kurios tikslas nustatyti įėjimo modulių varžą.

Literatūra

1. **R. Brajpuriyaa, S. Tripathi, A. Sharma, T. Shripathi, S.M. Chaudhari.** Thickness dependent structural and magnetic properties of ultra-thin Fe/Al structures // The European Physical Journal B, 2006 – N 51. P. 131–136
2. **E. Dobierzewska-Mozrzyimas, E. Pieciul, P. Bieganski, G. Szymczak.** Conduction Mechanisms in Discontinuous Pt Films // Crystal Research Technology, 2001 –N. 8-10(36). – P. 1137–1144
3. **T. Burkov, H. Vinzelberg, J. Schumann, T. Nakama, K. Yagasaki.** Strongly nonlinear electronic transport in Cr-Si composite films // Journal Of Applied Physics, 2004 – N 12(95). – P. 7903-7907
4. **G. Bishay, W. Fikry, H. Hunter, H. F. Ragie.** Temperature coefficient of the surface resistivity of two-dimensional island gold films // J. Phys. D: Appl. Phys., 2000 V.33. – P. 2218–2222
5. **D. Dayal, P. Rudolf, P. Wibmann.** Thickness dependence of the electrical resistivity of epitaxially grown silver films. // Thin Solid Films, 1981 V.79. – P. 193-199
6. **M. Schuisky, J. W. Elam, S. M. Georgea.** In situ resistivity measurements during the atomic layer deposition of ZnO and W thin films // Applied Physics Letters, 2002 N 1(81). – P. 180- 182
7. **G. Palasantzas, Y. Zhao, G. Wang, T. Lu, J. Barnas, J. Th. M. De Hosson.** Electrical conductivity and thin-film growth dynamics // Physical Review B 2000 N 16(61) P. 109 – 117
8. **D. Virzonis, V. Sinkevicius.** Increasing the observability of the thin films manufacturing process // Electronics and Electrical Engineering. - 2004, N 4(53), P. 42-45.

PAVIRŠINIO MIKROMONTAVIMO TECHNOLOGIJOS TYRIMAS

T. Urlakis

Kauno technologijos universitetas Panevėžio institutas

Raktiniai žodžiai: paviršinis mikromontavimas, giluminis mikromontavimas, mikrosistemos, silicis.

1. Įvadas

Mechanines mikrosistemas suprantame tokius įrenginius kaip mikrodivikliai ir mikrovydykliai, sugebantys reaguoti į aplinkos pasikeitimus, tam naudodami vidines valdymo priemones. Be tradicinių mikroelektroninių komponentų juose dar yra antena valdymo signalams priimti, valdo elektromechaninių mikrodalių darbą reikiamoms funkcijoms atlikti. Į mikrosistemas dar įeina maitinimo mikrošaltiniai, mikrorelės ir signaliniai mikroprocesoriai. Mikrokomponentai padidina greitaeigiškumą ir sistemos patikimumą, daro ją pigesnę ir duoda galimybę padaryti labai sudėtingas funkcijas [1].

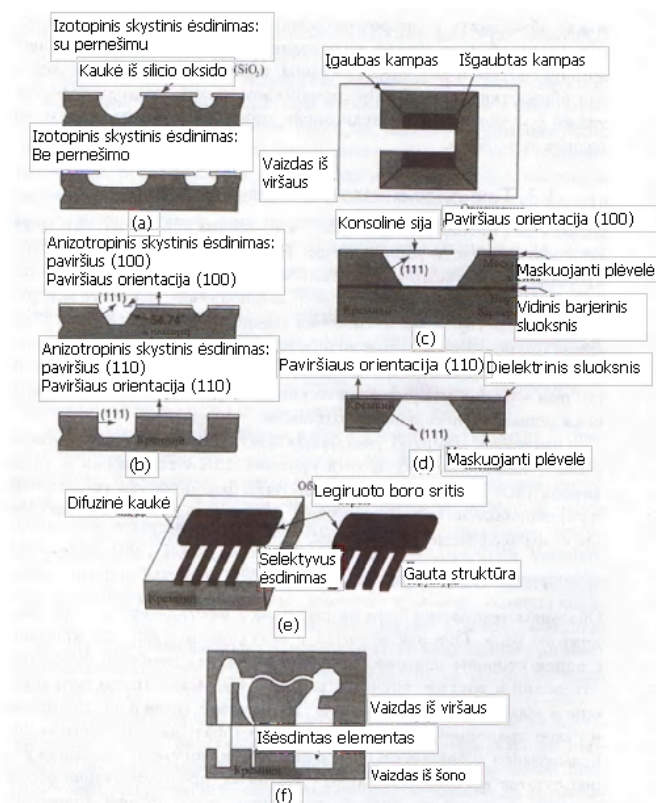
Silicio mikroapdirbimo metodų išdirbimas padarė greitą progresą mikrosistemų srytyje. Silicio mikroapdirbimo terminu galime teigti formavimasi mikroskopinių mechaninių elementų silicio plokštelės viduje arba ant jos paviršiaus. Egzistuoja dvi technologijos silicio mikroapdirbimo: giluminis mikroapdirbimas, kuriame sistemos elementai išstumiami silicio plokštelėje, ir paviršinis mikroapdirbimas, kuriame mikromechaniniai sluoksniai formuojasi iš plėvelių, nusodintų ant plokštelės paviršiaus. Giluminis ir paviršinis mikroapdirbimas yra dvi pagrindinės silicio apdirbimo technologijos.

2. Giluminis mikromontavimas

Giluminio mikromontavimo esmė yra pasirenkamo išėdinimo silicio iš vienos pusės plokštelės membranų, skylių ir kitų struktūrų formavimui (1 pav.). Yra dvi rūšys giluminio mikromontavimo silicio: skystinis (drėgnasis) ėsdinimas ir sausasis ėsdinimas. Drėgnam ėsdinimui naudojami skysti ėsdinimo reagentai, tai yra vandeningi skysčiai cheminių reaktyvų, o sausajam ėsdinimui naudojami reagentai garų ir plazmos būsenos.

Ši technologija naudojama daugelio komercinių prietaisų gamybai – beveik visi slėgio davikliai ir silicio vožtuvai, o taip pat 90 % silicio akselerometrų.

Skystinis ęsdinimas vykdomas taip panardinant plokštele į ęsdinimo vonelę arba ją apipurškiant ęsdinimo reagentais, kurie gali būti šarmais arba rūgštys. Skystinis ęsdinimas gali būti izotropinis arba anizotropinis priklausomai nuo ęsdinimo reagentų ir plokštelės medžiagos struktūros. Jeigu medžiaga amorfinė arba polikristalinė, skystinis ęsdinimas yra izotropinis (1 pav., a). Skystinio ęsdinimo metu rūgštiniais skysčiais ęsdinimo reagentais vyksta tik dalinis pašalinimas rezisto. Monokristaliniam siliciui galime naudoti anizotropinį ęsdinimą. Gaunamų struktūrų forma nustatoma ęsdinimo greičiu,

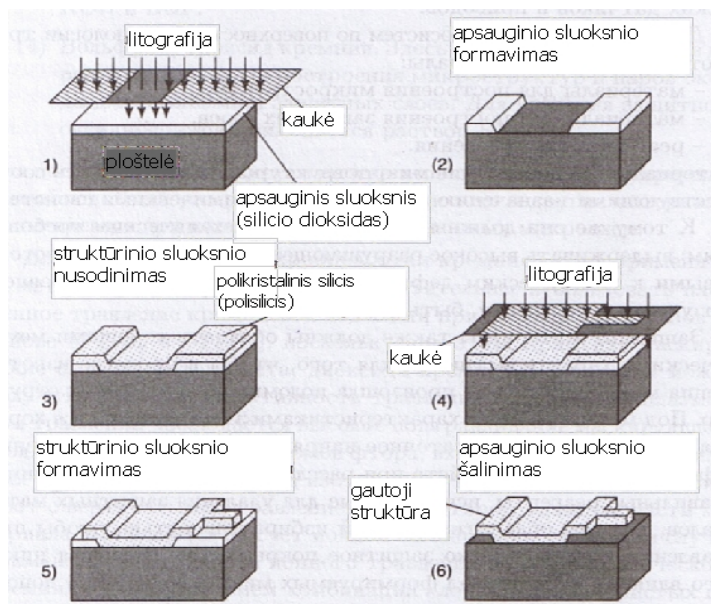


1 pav. Giluminis silicio mikroapdirbimas: (a) izotropinis ęsdinimas, (b) anizotropinis ęsdinimas, (c) anizotropinis ęsdinimas su vidiniu barjeriniu sluoksniu, (d) dielektrinė membrana, gaunama giluminio mikroapdirbimo iš apatinės plokštelės pusės metodu, (e) selektyvusis skystinis ęsdinimas, (f) anizotropinis sausasis ęsdinimas [2]

kuris priklauso nuo silicio kristalų orientacijos. Patį mažiausią ėsdinimo greitį turi silicis su orientacija (111). Tokiu būdu pasirenkant silicio plokšteles su skirtinga kristalų orientacija gaunasi skirtingos trimatės struktūros (1 pav., b ir c). Silicio anizotropiniam ėsdinimui dažniausiai naudojami šie ėsdinimo reagentai: įvairūs šarminiai tirpalai (KOH, NaOH ir t.t.), amonio hidrato tirpalai (NH_4OH , $\text{TMAH}[(\text{CH}_3)_4\text{NOH}]$ ir t.t.). Sujungiant kelis metodus anizotropinio ėsdinimo, pavyzdžiui, ėsdinti įdėjus boro (sudarome P+ barjerinį sluoksnį) ir ėsdinti su elektrocheminiu barjeriniu sluoksniu, galima sudaryti įvairias silicio trimates mikrostruktūras (1 pav.).

3. Paviršinis mikromontavimas

Paviršinio mikromontavimo principas yra mikrostruktūrų sudarymas ant silicio paviršiaus nusodinant plonas plėveles apsauginių (aukojamų) ir struktūrinių sluoksnių, ir proceso gale pašalinant apsauginius sluoksnius, kad gauti reikiamą mechaninę struktūrą (2 pav.). Mikrostruktūrų geometriniai matmenys, padaryti paviršiniu mikromontavimu, gali būti šiek tiek mažesni, negu mikrostruktūrose, gautose giluminiu mikromontavimo metu. Pagrindinis komponentų privalumas, realizavus silicio paviršinio mikromontavimo metodo pagalba yra paprastai įdiegiama į integralines schemas, nes jos gali būti padarytos vienoje plokštelėje. Bet reikia pabrėžti, kad dėl mažų elementų



2 pav. Tipinio silicio paviršinio mikromontavimo etapų eiliškumas [3]

matmenų, pagamintų paviršiniu mikromontavimu, jų masė bus taip pat maža, kas gali padaryti jų naudojimą neįmanomu kai kuriems atvejams kokybiškų mechaninių jutiklių ir mikrovykdiklių.

Mikrosistemų gaminimui paviršinio mikromontavimo metodu reikalingos tokios medžiagos:

- medžiagos mikrostruktūrų sudarymui,
- medžiagos apsauginių sluoksnių sudarymui,
- ėsdinimo reagentai.

Mikrosistemų gaminimui paviršinio mikromontavimo metodu naudojamos tos pačios medžiagos, kaip ir gaminant daugelį integralinių schemų:

- (1) Polisilicis / silicio dioksidas. Šiuo atveju naudojama cheminiu nusodinimu polisilicio iš dujų fazės esant žemam slėgiui mikrostruktūrų sudarymui ir oksido garų apsauginių sluoksnių sudarymui.
- (2) Poliimidai / aliuminis. Čia poliimidai naudojami kaip struktūrinė medžiaga, o aliuminis – kaip apsauginis. Aliuminio sluoksnio pašalinimui naudojami rūgštiniai reagentai.
- (3) Silicio nitridas / polisilicis. Silicio nitridas naudojamas kaip struktūrinė medžiaga, o polisilicis – apsauginis.
- (4) Volframas / silicio dioksidas. Čia vyksta volframo nusodinimas ant mikrostruktūros o oksido garai apsauginio sluoksnio realizacijai.

5. Išvados

1. Susipažinta su silicio giluminio mikromontavimo metodu.
2. Susipažinta su silicio paviršinio mikromontavimo metodu.
3. Susipažinta kokios yra mikroelektromechaninės sistemos.
4. Numatyta eksperimentų serija, kurios tikslas ištirti silicio giluminio ir paviršinio mikromontavimo metodus.

Literatūra

1. **Варадан В., Виной К., Джозе К.** Мир электроники: ВЧ МЕМС и их применение // Техносфера. – 2004. VII (03), 24 – 36 с.
2. **Goldsmith C.L., Eshelman S., Dennston D.** Performance of low loss RF MEMS capacitive switches. 1998
3. **Stix G.** Trends in micromechanics: micron machinations. 1992

AUTORIAI

A

Andrejūnaitė D. 120

B

Balodis J. 51

Bazaras Ž. 85

Bosaitė L. 111

Breimelis P. 100

C

Chreptavičius V. 127

D

Damaševičius D. 64

G

Gindvilas D. 72

J

Jasiūnas M. 124

Jaškūnas Ž. 30

Juška M. 19

K

Katuškevičius V. 48

Kundelis T. 34

M

Maskvytytė R. 13

N

Norkutė K. 76

Nosovienė A. 38

P

Palavenis G. 55

Partaukas N. 105

Petravičius M. 81

Pieškus A. 85

R

Revotas D. 42

Ručinskas M. 90

S

Sarapas V. 67

Skindzerienė S. 116

Š

Švežikas T. 24

T

Tilindis J. 7

U

Urbonavičiūtė M. 60

Urlakis T. 133

V

Vaitkūnas H. 94