

YUPQA TOK O'TKAZUVCHI PLASTINKANING MAGNITOELASTIK DEFORMASIYALANISHI MODELI

Narkulov Akram Sidikovich

*Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot
texnologiyalari universiteti Samarqand filiali dotsenti*

Shodiyev Azizbek Olim o'g'li

*Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot
texnologiyalari universiteti Samarqand filiali magistri*

Annotatsiya. Maqolada magnit maydonida o'tkazuvchanlik xossalari ortotropiyasini hisobga olgan holda elektrodinamik kuchlar ta'sirida bo'lgan tok o'tkazuvchi plastinka shaklidagi konstruktiv mikroelementning magnitoelastik deformatsiyalanishi masalasi qaralgan. Magnitoelastik tenglamalari Lagranj shaklida tahlil qilingan, hamda tok o'tkazuvchi halqaviy plastinkaning kuchlanganlik–deformatsiyalanganlik holatini ifodalovchi hal qiluvchi tenglamalar sistemasi keltirilgan va mos chiziqlimas chegaraviy masala shakllantirilgan.

Kalit so'zlar: magnit maydoni, plastinka, deformatsiya, ortotropiya, magnitoelastik.

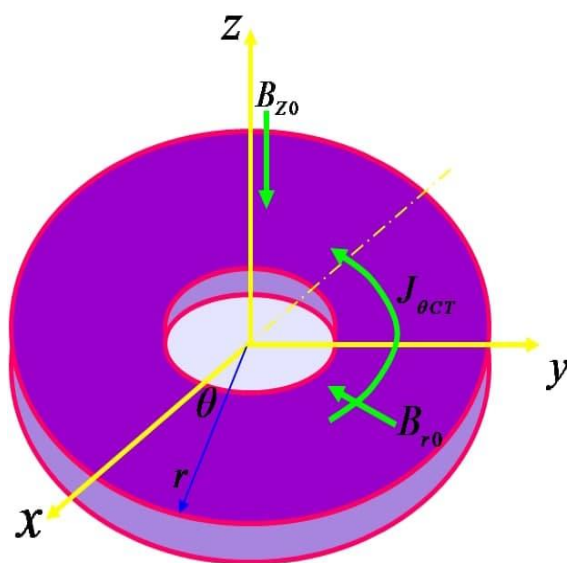
Magnit maydoni ta'sirida bo'lgan yupqa tok o'tkazuvchi plastinka shaklidagi konstruktiv mikro-elementlarning keng ko'lamda qo'llanilishi muhim dolzarblikni kasb etadi. Bu sohaga bo'lgan qiziqish mexanik, elektromagnit maydonlarining o'zaro ta'sirlarini baholash va o'rganishning muhimligi bilan bir qatorda, shuningdek, ularning zamonaviy mikrotexnikaning har xil sohalarida yangi texnologiyalarni ishlab chiqishda, elektronika, mikroelektronika, o'lchagich tizimlarida va boshqalarda qo'llanilishi bilan ham izohlanadi.

Magnit maydonida tok o'tkazuvchi jism deformatsiyalanish jaryonini matematik modellashtirish va jismda paydo bo'ladigan elektromagnit effektlarni tadqiq qilish amaliy jihatdan muhim ahamiyatga ega. Bunda magnit maydonining plastinka bilan o'zaro ta'siri tufayli paydo bo'ladigan elektromagnit effektlar salmoqli o'rin egallaydi.

Plastinka va qobiqlarning kuchlanganlik-deformatsiyalanganlik holatlari, tebranishlari, turg'unliklarini tadqiq qilish muammolari magnitoelastiklikning katta sinf masalalarini tashkil etadi.

O'zgaruvchan elektrodinamik va mexanik kuchlar ta'sirida bo'lgan radiusi bo'yicha qalinligi o'zgaruvchan xalqaviy plastinkaning magnitoelastik deformatsiyalanishi masalasini qaraymiz. Elastik plastinka materiali chekli elektr o'tkazuvchan bo'lib, o'zgaruvchan elektromagnit maydoni ta'sirida bo'lsin. Plastinka tekis taqsimlangan tashqi begona elektr tokini o'tkazuvchi tok o'tkazgich hisoblanadi.

Boshlang'ich holatda magnitostatika masalasi yechilgan, ya'ni tashqi va ichki sohalar uchun magnit induksiyasi vektori aniqlangan deb hisoblaymiz. Koordinata tekisligi sifatida, qutb koordinatalari kiritilgan o'rta tekislikni tanlaymiz. γ - koordinata o'rta tekislikning normali bo'yicha yo'nalgan. Plastinkaning qalinligi $h = h(r, \theta)$ - ikkita yo'nalish bo'yicha o'zgaradi.



1-rasm. Elektrodinamik kuchlar ta'sirida bo'lgan tok o'tkazuvchi halqaviy plastinka

Plastinka elastik ortotrop, elektr o'tkazuvchan materialdan tayyorlangan. Shuningdek, plastinka tekis taqsimlangan \vec{J}_{cm} - zichlikli tashqi begona elektr tokini ham o'tkazadigan bo'lsin. Bu holda plastinka Lorens kuchi, tashqi magnit maydoni mexanik kuchlardan tashkil topgan kombinirlangan yuklanish ta'sirida bo'ladi (1-rasm).

$$\rho \vec{F}^{\wedge} = \sigma_{ij} [(\vec{E} + \vec{V} \times \vec{B}) \times \vec{B}]$$

O'tkazuvchanlik xossalarining orotropiyasini hisobga olgan holda, tok o'tkazuvchi jism chiziqlimas magnitoelastiklik masalasining uch o'lchamli qo'yilishi uchun boshlang'ich fizik va matematik holatlar, munosabatlarni ishlarga asoslangan holda shakllantiramiz. Qutblanish hamda magnitlanish xossalariga ega bo'lmagan anizotrop tok o'tkazuvchi jism uchun magnitoelastiklik tenglamalari quyidagicha yozish mumkin. [10]:

$$\text{rot } \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \text{rot } \vec{H} = \vec{J} + \vec{J}_{cm}, \text{div } \vec{B} = 0, \text{div } \vec{D} = 0, \rho \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = \rho (\vec{f} + \vec{f}^{\wedge}) + \text{div } \hat{\sigma}. \quad (1)$$

Bunda elektr maydoni kuchlanganligi vektori \vec{E} ; magnit maydoni kuchlanganligi vektori \vec{H} ; elektr induksiyasi vektori \vec{D} ; magnit induksiyasi vektori \vec{B} ; \vec{J}_{cm} - begona elektr toki zichligi; \vec{f} - hajmiy kuch; \vec{f}^{\wedge} - hajmiy Lorens kuchi; \vec{J} - elektr toki zichligi; $\hat{\sigma}$ - ichki kuchlanish tenzori.

O'tkazuvchanlik xossalarning anizotropiyasini hisobga olgan holda, elektromagnit xarakteristikalarining aniqlovchi tenglamalari va tok o'tkazuvchanlik uchun kinematik munosabatlar, shuningdek ponderomotor kuchi quyidagi ko'rinishda yozish mumkin.

$$\vec{B} = \mu_{ij} \vec{H}, \quad \vec{D} = \varepsilon_{ij} \vec{E}, \quad \vec{J} = \sigma_{ij} (\vec{E} + \vec{V} \times \vec{B}), \quad \rho \vec{f} = \sigma_{ij} (\vec{E} + \vec{V} \times \vec{B}) \times \vec{B}. \quad (2)$$

Bu yerda $\sigma_{ij}, \varepsilon_{ij}, \mu_{ij}$ – mos holda chiziqli anizotrop toktashuvchi jismning elektr o'tkazuvchanlik, dielektrik va magnit singdiruvchanlik tenzorlari ($i, j=1,2,3$).

O'tkazuvchanlik xossalarning ortotropiyasini hisobga olgan holda tashqi magnit maydonda joylashgan qutblanish va magnitlanish xossalarga ega bo'lmagan tok o'tkazuvchi egiluvchan xalqaviy plastinka yechiladigan differensial tenglamalar sistemasini quyidagi ko'rinishda olamiz:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial r} &= \frac{1 - \nu_r \nu_\theta}{e_r h} N_r - \frac{\mathcal{G}_\theta}{r} u - 0,5 \mathcal{G}_r^2, \quad \frac{\partial w}{\partial r} = -\mathcal{G}_r, \quad \frac{\partial \mathcal{G}_r}{\partial r} = \frac{12(1 - \nu_r \nu_\theta)}{e_r h^3} M_r - \frac{\nu_\theta}{r} \mathcal{G}_r, \\ \frac{\partial N_r}{\partial r} &= \frac{1}{r} (\nu_\theta - 1) N_r + \frac{e_\theta h}{r^2} u - P_r - h J_{\theta cm} - \\ &- \sigma_1 h \left[E_\theta B_z - \frac{\partial u}{\partial t} B_z^2 + 0,5 \frac{\partial w}{\partial t} (B_r^+ + B_r^-) B_z \right] + \rho h \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \\ \frac{\partial Q_r}{\partial r} &= -\frac{1}{r} Q_r - P_z - 0,5 h J_{\theta cm} (B_r^+ + B_r^-) + \sigma_2 h \left[0,5 E_\theta (B_r^+ + B_r^-) + 0,25 \frac{\partial w}{\partial t} (B_r^+ + B_r^-)^2 + \right. \\ &+ \left. \frac{1}{12} \frac{\partial w}{\partial t} (B_r^+ - B_r^-)^2 - 0,5 \frac{\partial u}{\partial t} (B_r^+ + B_r^-) B_z \right] + \rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}, \\ \frac{\partial M_r}{\partial r} &= \frac{1}{r} (\nu_\theta - 1) M_r + \frac{e_\theta h^3}{12 r^2} \mathcal{G}_r + Q_r + N_r \mathcal{G}_r, \\ \frac{\partial B_z}{\partial r} &= -\sigma_2 \mu \left[E_\theta + 0,5 (B_r^+ + B_r^-) \frac{\partial w}{\partial t} - B_z \frac{\partial u}{\partial t} \right] + \frac{B_r^+ - B_r^-}{h}, \quad \frac{\partial E_\theta}{\partial r} = -\frac{\partial B_z}{\partial t} - \frac{1}{r} E_\theta. \end{aligned} \quad (3)$$

(
3
)

m
u Nostatsionar magnit va mexanik yuklanishlar ta'sirida bo'lgan halqaviy plastinkaning kuchlanganlik– deformatsiyalanganlik holatini aniqlash masalasini fikirlangan vaqt momentlari uchun yechamiz. Buning uchun tok tashuvchi halqaviy plastinkaning butun harakati jarayonini vaqt bo'yicha kichik bosqichlarga bo'lamiz va har bir vaqt bosqichida masalani ketma–ket yechgan holda deformatsiyalanish jarayonini kuzatamiz. Vaqt bo'yicha o'zgaruvchilarni ajratish uchun turg'un bo'lgan ahekli ayirmali Nyumark sxemasini qo'llaymiz. Nyumark sxemasini qo'llaganimizda, ya'ni vaqtning birinchi qadamida ($t=0$ bo'lganda), vaqt bo'yicha birinchi tartibli

hosilalardan tashqari, vaqt bo'yicha ikkinchi tartibli hosilalarni ham bilish zarurdir. Boshlang'ich vaqt momentida jismni absalyut tinch turibdi deb, t -bo'yicha ikkinchi tartibli hosilalar bu vaqt momentida nolga teng deb qabul qilamiz. Vaqt bo'yicha navbatdagi qadamlarda bu hosilalar aniqlangan bo'ladi, ya'ni oldingi qadamda hosil qilingan yechimlar olinadi.

Plastinka va qobiqlarning chiziqlimas chegaraviy masalalarini yechishda har bir qadamda chiziqli chegaraviy masala yechiladigan iteratsion jarayonlarni qo'llash effektiv hisoblanadi. Chiziqlimas chegaraviy masalalarni yechishning bunday usullaridan biri chiziqlilashtirish usulidir.

Chiziqlilashtirish usuli oldingi ma'lumotlardan foydalangan holda, navbatdagi yaqinlashish uchun, har bir qadamda chiziqli chegaraviy masalani yechish uchun iteratsion jarayon ko'rinishiga asoslangan.

O'zgaruvchan $h = 5 \cdot 10^{-5} (1 - \gamma r^2 / r_0)$ m qalinlikli boroallyuminiydan yasalgan plastinka magnit induksiyasi B_{z_0} normal tashkil etuvchisi ta'siridagi masala sonli hisoblangan. Magnit induksiyasi normal tashkil etuvchisi quyidagicha o'zgaradi deb olingan: $B_{z_0} = (0.1, 0.2, 0.5)$. Ortotrop plastinkaning magnit induksiyasi B_{z_0} normal tashkil etuvchisining o'zgarishidan bog'liq bo'lgan kuchlanganlik holatini tadqiq qilamiz.

Chegaraviy shartlarni quyidagi ko'rinishda olamiz:

$$u = 0, w = 0, \mathcal{G}_r = 0, B_z = 0.5 \sin \omega t, r_0 = 0.005 m, \\ N_r = 0, Q_r = -100, M_r = 0, E_\theta = 0, r_N = 0.009 m.$$

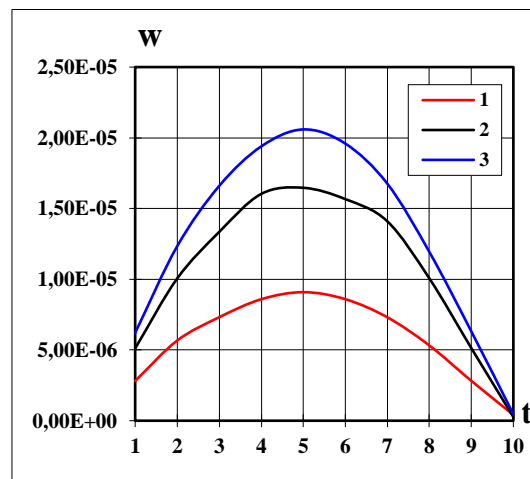
Boshlang'ich shartlarni quyidagicha olamiz:

$$\vec{N}(r, t) \Big|_{t=0} = 0, \dot{u}(r, t) \Big|_{t=0} = 0, \dot{w}(r, t) \Big|_{t=0} = 0, \dot{\mathcal{G}}(r, t) \Big|_{t=0} = 0.$$

Plastinkaning fizika-mexanikaviy parametrlarini quyidagicha olamiz:

$$r_0 = 0.005 m; r_1 = 0.009 m; h = 5 \cdot 10^{-4} (1 - \gamma r^2 / r_0) m; \gamma = 10, \gamma = 0.06, \\ \gamma = 0.7, \sigma_1 = 0.454 \cdot 10^8 (oM \times M)^{-1}, \sigma_2 = 0.200 \cdot 10^8 (oM \times M)^{-1}, \nu_r = 0.262; \nu_\theta = 0.320; \\ e_r = 22.9 \cdot 10^{10} H / M^2; e_\theta = 10.7 \cdot 10^{10} H / M^2; \omega = 314.16 c^{-1}; \\ P_z = 5 \cdot 10^3 \sin \omega t H / M^2; P_r = 0; \tau = 1 \cdot 10^{-2} c; \mu = 1.256 \cdot 10^{-6} \Gamma H / M; \\ \rho = 2600 \kappa z / M^3; J_{oCT} = 3 \cdot 10^7 \sin \omega t A / M^2; B_r^\pm = 0.5 Tn.; B_{r_0} = 0.5 \sin \omega t.$$

Qo'yilgan xalqaviy plastinka masalasining yechimi $\tau = 0 \div 10^{-2} c$ vaqt intervalida aniqlangan, vaqt bo'yicha integrallash qadami $\Delta t = 1 \cdot 10^{-3} c$ ga teng deb olingan. Maksimal qiymatlar vaqt bo'yicha $t = 5 \cdot 10^{-3} c$ qadamda hosil qilingan. Quyida keltirilgan 2- rasmdagi (1,2,3) grafiklar tashqi magnit induksiyasi normal tashkil etuvchisining quyidagi variantlariga mos keladi: 1. $B_{z_0} = 0.1$; 2. $B_{z_0} = 0.2$; 3. $B_{z_0} = 0.5$.



2-rasm. Tashqi magnit induksiyasi normal tashkil etuvchisining

1. $B_{z0} = 0.1$; 2. $B_{z0} = 0.2$; 3. $B_{z0} = 0.5$ qiymatlari uchun $w(t)$

egilishining vaqt bo'yicha o'zgarishi grafiklari

2-rasmda plastinkaning radial koordinatasi bo'yicha $t = 5 \cdot 10^{-3} c$ vaqt momentidagi tashqi magnit induksiyasi normal tashkil etuvchisining uchta qiymatlari uchun $w(r)$ egilishning o'zgarishi grafiklari keltirilgan. 2-rasmda $r = 0.0058 m$ teng bo'lganda tashqi magnit induksiyasi normal tashkil etuvchisining uchta qiymatlari uchun plastinka $w(t)$ egilishining vaqt bo'yicha o'zgarishi grafiklari keltirilgan. 2-rasmda keltirilgan grafiklarni tahlil qilib tashqi magnit induksiyasi normal tashkil etuvchisining qiymatlari oshishi bilan plastinka egilishining oshishini ko'rishimiz mumkin.

Tok o'tkazuvchi yupqa plastinkaning kuchlanganliklik holatini tadqiq qilish imkonini beradigan magnitoelektiriklikning bog'liqlik masalalarini sonli usullarni qo'llagan holda yechilgan. Hosil qilingan tenglamalarga va olingan sonli natijalarga asoslangan holda tashqi begona tokning yo'nalishi va zichligi miqdorini tanlab, shuningdek, magnit induksiyasini o'zgartirib elektromagnit maydoni ta'siridagi yupqa plastinkaning egilishini minimallashtirishga erishish mumkinligi baholangan.

ADABIYOTLAR

1. Indiaminov, R., Narkulov, A., Butaev, R. Magnetoelastic strain of flexible shells in nonlinear statement // Journal AIP Conference Proceedings, 2021, 2365, 02 0002.

2. Indiaminov R., Kholjigitov S., Narkulov A. S. Nonlinear vibrations of a currentcarrying anisotropic cylindrical shell in a magnetic field // ISJ Theoretical & Applied Science, 01 (81), - P. 205-211. Philadelphia, USA, 2020.

3. Индиаминов Р.Ш., Наркулов А.С., Саидкулов Э. Магнитоупругое деформирование тонких оболочек в магнитном поле // Международный научный журнал «Инновационная наука». - Уфа, 2017. - С. 15-20.