FUNKSIONAL GRADIYENTLI SENDVICH PLASTINKALARNING TERMOELASTIK EGILISHI: MODELLASHTIRISH YONDASHUVLARI VA OCHIQ MASALALAR

Saloxiddinova Farida Bolidin qizi[1]
[1] *Sharof Rashidov nomidagi Samarqand Davlat universiteti, Samarqand, O‘zbekiston*
e-mail: faridasaloxiddinova1@gmail.com

Annotatsiya. *Ishda funksional gradiyentli material (FGM) qoplama yoki o‘zakka ega sendvich plastinkalarning termoelastik egilishiga oid so‘nggi tadqiqotlar tahlil qilinadi. Nazariy modellar, qoplama va o‘zak sxemalari hamda elastik asos va vaqt bo‘yicha o‘zgaruvchan harorat yuklari ta’sirini hisobga oluvchi ishlar tizimlashtiriladi. Tahlil asosida FGM sendvich plastinkalarga xos hal etilmagan masalalar ajratib ko‘rsatiladi.*

Kalit so‘zlar: *funksional gradiyentli material, FGM sendvich plastinka, termoelastik egilish, Pasternak asosi, yuqori tartibli siljish nazariyasi.*

Abstract. *The paper reviews recent studies on thermoelastic bending of sandwich plates with functionally graded material (FGM) face sheets or core. Works on theoretical models, face/core configurations and the effect of elastic foundations and time-dependent thermal loads are systematised. Based on the review, open problems specific to FGM sandwich plates are identified.*

Keywords: *functionally graded material, FGM sandwich plate, thermoelastic bending, Pasternak foundation, higher-order shear deformation theory.*

Kirish. FGM larda tarkibiy qismlarning hajmiy ulushi va shu bilan birga material xossalari qalinlik bo‘yicha uzluksiz o‘zgaradi. Natijada xossalar qatlamlar chegarasida sakrab o‘zgarmaydi, qatlamlararo kuchlanish konsentratsiyasi va qatlamlanish (delaminatsiya) xavfi kamayadi. Shu sababli FGM sendvich plastinkalar yuqori haroratli sharoitda ishlovchi konstruksiyalar uchun istiqbolli hisoblanadi. Amaliyotda ikki sxema keng tarqalgan: FG qoplamalar va bir jinsli o‘zak hamda bir jinsli qoplamalar va FG o‘zak. Darajali qonun (P-FGM) bo‘yicha keramika hajmiy ulushi $V_c(z) = [(z - h_n)/(h_{n+1} - h_n)]^k$ ko‘rinishida beriladi, bu yerda k — gradiyent ko‘rsatkichi; samarali xossalar esa odatda aralashmalar qoidasi bilan aniqlanadi: $P(z) = P_m + (P_c - P_m)V_c(z)$. Soha bo‘yicha tadqiqotlar Swaminathan va Sangeetha hamda Birman va Kardomateas sharh maqolalarida umumlashtirilgan [1, 2].

Ishning maqsadi — FGM sendvich plastinkalarning termoelastik egilishini modellashtirish yondashuvlarini tizimlashtirish va hal etilmagan masalalarni aniqlash.

Asosiy qism. Mavjud ishlarni quyidagi yo‘nalishlarga ajratish mumkin.

Nazariy modellar. Mantari va Granados ilg‘or, jumladan FG sendvich plastinkalar uchun 5 noma’lumli kvazi-3D gibrid HSDT asosida analitik yechimlar olgan [3]. Shariyat boshlang‘ich nomukammallikka ega sendvich plastinkalarning termomexanik yuklar ostidagi nochiziqli egilishi va ustuvorligini yo‘qotishi uchun umumlashgan yuqori tartibli global-lokal nazariyani taklif qilgan [4]. Bu nazariya FGMga xos bo‘lmasa-da, ko‘ndalang kuchlanishlarni qatlamlar bo‘yicha aniqlashtirish uchun FG tuzilmalarga tatbiq etishga asos bo‘la oladi.

Qoplama va o‘zak turlari. Rebai va hammualliflar izotrop o‘zak va Ti/ZrO_2 FG qoplamalardan iborat P-FG sendvich plastinkalarning termoelastik egilishi uchun atigi to‘rt noma’lumli integral HSDT ni ishlab chiqqan [5]. Tenglamalar virtual ishlar prinsipidan olinib, Navye usulida yechilgan; turli simmetrik sxemalar uchun parametrik natijalar keltirilgan.

Tashqi muhit va dinamik yuklar. Sobhy va Zenkour Pasternak elastik asosida yotgan, bir jinsli o‘zakli uch qatlamli FGM sendvich plastinkalarning yuqori sirtiga qo‘yilgan, vaqt bo‘yicha garmonik sinusoidal temperatura maydoni ta’siridagi termoelastik deformatsiyalarini tahlil qilgan [6]. Klassik va turli siljish nazariyalari asosida vaqt parametri, gradiyent ko‘rsatkichi, sirtlar harorati nisbati, tomon/qalinlik nisbati va asos parametrlarining dinamik egilishga ta’siri o‘rganilgan.

Ochiq masalalar. (1) Xossalarning haroratga bog‘liqligini va issiqlik o‘tkazuvchanlik tenglamasidan aniqlangan nochiziqli temperatura maydonini birgalikda hisobga olish. (2) Samarali xossalarni baholash modeli (aralashmalar qoidasi yoki Mori–Tanaka sxemasi) tanlovining ko‘ndalang kuchlanishlarga ta’sirini baholash. (3) Elastik asos, dinamik termal yuklar va kvazi-3D kinematikani yagona modelda birlashtirish. (4) Natijalarni 3D aniq yoki chekli elementlar yechimlari bilan tizimli verifikatsiya qilish.

Xulosa. FGM sendvich plastinkalarning termoelastik tahlili faol rivojlanayotgan yo‘nalishdir. Kam noma’lumli integral va kvazi-3D nazariyalar samarali vosita bo‘lsa-da, ularning ishonchliligi temperatura maydonini real modellashtirish, xossalarning haroratga bog‘liqligini hisobga olish va 3D yechimlar bilan taqqoslash orqali tasdiqlanishi lozim. Bu masalalar keyingi tadqiqotlarning asosiy vazifalari bo‘lib qoladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Swaminathan K., Sangeetha D.M. Thermal analysis of FGM plates – A critical review of various modeling techniques and solution methods // Composite Structures. – 2017. – Vol. 160. – P. 43–60. DOI: 10.1016/j.compstruct.2016.10.047.
2. Birman V., Kardomateas G.A. Review of current trends in research and applications of sandwich structures // Composites Part B: Engineering. – 2018. – Vol. 142. – P. 221–240. DOI: 10.1016/j.compositesb.2018.01.027.
3. Mantari J.L., Granados E.V. Thermoelastic analysis of advanced sandwich plates based on a new quasi-3D hybrid type HSDT with 5 unknowns // Composites Part B: Engineering. – 2015. – Vol. 69. – P. 317–334.
4. Shariyat M. A generalized high-order global–local plate theory for nonlinear bending and buckling analyses of imperfect sandwich plates subjected to thermo-mechanical loads // Composite Structures. – 2010. – Vol. 92, No. 1. – P. 130–143. DOI: 10.1016/j.compstruct.2009.07.007.
5. Rebai B., Bouhadra A., Bousahla A.A., Meradjah M., Bourada F., Tounsi A., Tounsi A., Hussain M. Thermoelastic response of functionally graded sandwich plates using a simple integral HSDT // Archive of Applied Mechanics. – 2021. – Vol. 91. – P. 3403–3420. DOI: 10.1007/s00419-021-01973-7.
6. Sobhy M., Zenkour A.M. Thermodynamical bending of FGM sandwich plates resting on Pasternak's elastic foundations // Advances in Applied Mathematics and Mechanics. – 2015. – Vol. 7, No. 1. – P. 116–134. DOI: 10.4208/aamm.2013.m143.