

Egamov Jasurbek Abduvoxobovich

Namangan davlat universiteti

egamovjasur1988@mail.ru

Sotimboyeva Zarifaxon Erkinjonovna

Namangan davlat universiteti

TO'LIQ VALLARDA TEMPERATURA KUCHLANISHLARINING MATEMATIK MODELI

Annotatsiya

Ushbu maqolada materiallarda intensiv energiya oqimlari ta'sirida yuzaga keladigan issiqlik jarayonlarining matematik modeli qurildi. Model issiqlik o'tkazuvchanligining nohiziqli tenglamasiga asoslangan. Po'latga lazer yordamida ishlov berishdagi kimyoviy-termik jarayonlar, ichki va tashqi temperaturaviy tarangliklar hisoblari ko'rib chiqildi. Qattiqlashish tarangliklari shakllanishi nazariy tahlil qilindi, fazaviy o'zgarishlar natijasida yuzaga keladigan deformatsiyalar hisobga olindi. Taklif etilgan metod kimyo-termik ishlov berish sohasida muhim nazariy va amaliy masalalarni hal qilishda yordam beradi.

Kalit so'zlar: energiya oqimi, matematik modellashtirish, bo'linma usuli, harorat, taranglik, lazer ishlovi.

Эгамов Жасурбек Абдувохобович

Наманганский государственный университет

Сотимбоева Зарифахон Еркинжоновна

Наманганский государственный университет

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СПЛОШНЫХ ВАЛАХ

Аннотация

В данной статье построена математическая модель тепловых процессов, возникающих в материалах под влиянием интенсивных потоков энергии. Модель основана на нелинейном уравнении теплопроводности. Рассмотрены теоретические и практические расчёты внутренних и внешних температурных напряжений при химико-термической обработке стали с

использованием лазера. Проведён теоретический анализ формирования напряжений затвердевания и деформаций, возникающих вследствие фазовых превращений. Предложенная методика может быть эффективно использована для решения важных теоретических и практических задач в области химико-термической обработки.

Ключевые слова: энергетический поток, математическое моделирование, метод конечных разностей, температура, напряжение, лазерная обработка

Egamon Jasurbek Abduvoxobovich

Namangan State University

Sotimboyeva Zarifaxon Erkinjonovna

Namangan State University

MATHEMATICAL MODEL OF TEMPERATURE STRESSES IN SOLID SHAFTS

Abstract

This article presents a mathematical model of thermal processes arising in materials under the influence of intensive energy fluxes. The model is based on the nonlinear heat conduction equation. Theoretical and practical calculations of internal and external temperature stresses during chemical-thermal treatment of steel using a laser are considered. Theoretical analysis of the formation of solidification stresses and deformations resulting from phase transformations is carried out. The proposed methodology can be effectively used to solve important theoretical and practical problems in the field of chemical-thermal treatment.

Keywords: energy flux, mathematical modeling, finite difference method, temperature, stress, laser treatment.

Kirish

Materiallar qarshiligi, issiqlik va deformatsiya jarayonlarini modellashtirish bo'yicha zamonaviy yondashuvlar [1–3] muhandislikda keng ommalashgan. Ushbu maqolada aynan shunday yondashuv asosida po'lat vallarda issiqlik ta'sirida yuzaga keladigan ichki va sirt tarangliklar, deformatsiyalarning nazariy va amaliy modellarini ishlab chiqish ko'zda tutilgan.

Asosiy qism

Aniq matematik natijalarga erishish uchun, nochiziqli issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasini sonli usullar yordamida, xususan, bo'linma (chekli farqlar) usulidan foydalanildi [7]. Taklif etilgan matematik modelning ishonchliligi va aniqligi amaliy tajriba natijalari hamda ilgari chop etilgan ilmiy ishlar bilan solishtirish orqali tekshirildi [8,10]. Olingan natijalar amaliy tajribalarga yuqori darajada mos kelishini ko'rsatdi va modeldan muhandislik amaliyotida foydalanish mumkinligini tasdiqladi [9].

Bundan tashqari, issiqlik kuchlanishlarining qizdirish va sovitish tezligiga, shuningdek, valning geometrik o'lchamlari va material xususiyatlariga bog'liqligi ham o'rganildi [4,5]. Sonli eksperimentlar shuni ko'rsatdiki, energiya oqimi intensivligi oshishi yoki sirt bo'yicha issiqlik almashinuvi koeffitsienti kamayishi natijasida valda harorat gradyenti oshadi va shunga mos ravishda temperatura kuchlanishlari ham kuchayadi [2, 6]. Bu holat ayniqsa val sirtiga yaqin hududlarda, fazaviy o'zgarishlar va qotish jarayonlari faol kechadigan sohalarda yaqqol namoyon bo'ladi [3,11].

Ishlab chiqilgan model lazer yordamida ishlov berishdan so'ng hosil bo'ladigan qoldiq kuchlanishlarni va ularning fazoviy taqsimotini ham baholash imkonini beradi [12]. Olingan natijalar asosida ishlov berish texnologik parametrlarini optimallashtirish, noxush qoldiq kuchlanishlarni kamaytirish va valning mexanik xususiyatlarini hamda ishlash muddatini oshirish uchun tavsiyalar ishlab chiqish mumkin.

Uzun to'liq val uchun aksial va tangensial temperaturaviy tarangliklar [4–6] quyidagicha aniqlanadi:

$$\sigma_z = \left(-\delta + \frac{\int_b^r \delta E r dr}{\int_b^r E r dr} \right) \frac{E}{1-\mu} \quad (1)$$

$$\sigma_t = \left[\left(-\delta + \frac{\int_b^r \delta E dr}{\int_b^r E dr} \right) \frac{EK}{1-\mu} \right] \quad (2)$$

Bu yerda:

- δ — deformatsiyani tavsiflovchi parametr,
- E — elastiklik moduli,
- μ — Puasson koeffitsienti,
- K — tashqi radiusdagi kuchlanish nisbati,
- a, b — valning ichki va tashqi radiuslari.

Bu tenglamalar val bo'ylab har bir nuqtadagi issiqlik taqsimoti va material xossalari hisobga olingan holda, har xil yo'nalishlardagi kuchlanishlarni (aksial va tangensial) hisoblash imkonini beradi.

Koeffitsient K sirt (tashqi radius) uchun:

$$K = \frac{\sigma_z}{\sigma_t} \quad \text{da} \quad r = b \quad (3)$$

Radial tarangliklar va harorat taqsimoti

Issiqlik o'tkazuvchanligi nazariyasiga ko'ra [7,8]:

$$F_0 = \frac{a\tau}{b^2} \quad (4)$$

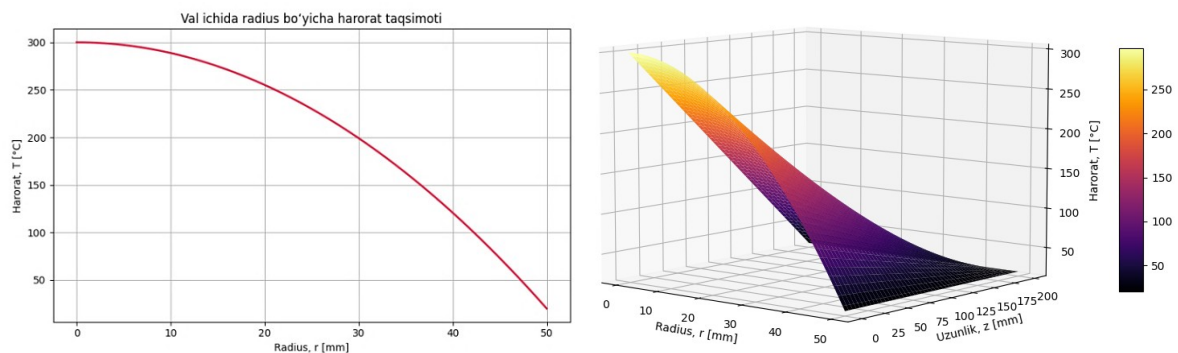
$$\theta = \frac{t_{\text{tashqi}} - t_m}{t_{\text{tashqi}} - t_{\text{boshl}}} \quad (5)$$

$$t_m = t_{\text{tashqi}} - (t_{\text{tashqi}} - t_{\text{boshl}})\theta_m \quad (6)$$

Bu yerda F_0 — Fure kriteriyasi bo'lib, issiqlik tarqalish intensivligini ifodalaydi.

Markazdan sirtga harorat doimiy kamayadi. Fure kriteriyasi ortishi bilan val ichidagi nisbiy harorat tez kamayadi, bu esa issiqlik tarqalish jarayonining intensivligini ko'rsatadi.

Quyidagi grafikda val ichida radius bo'yicha harorat taqsimoti ko'rsatilgan.



Grafikdan ko‘rinib turibdiki, markazda harorat maksimal, sirtga yaqin esa pasayadi. Markazdan sirtga harorat doimiy kamayadi va eng past harorat val sirtida bo‘ladi.

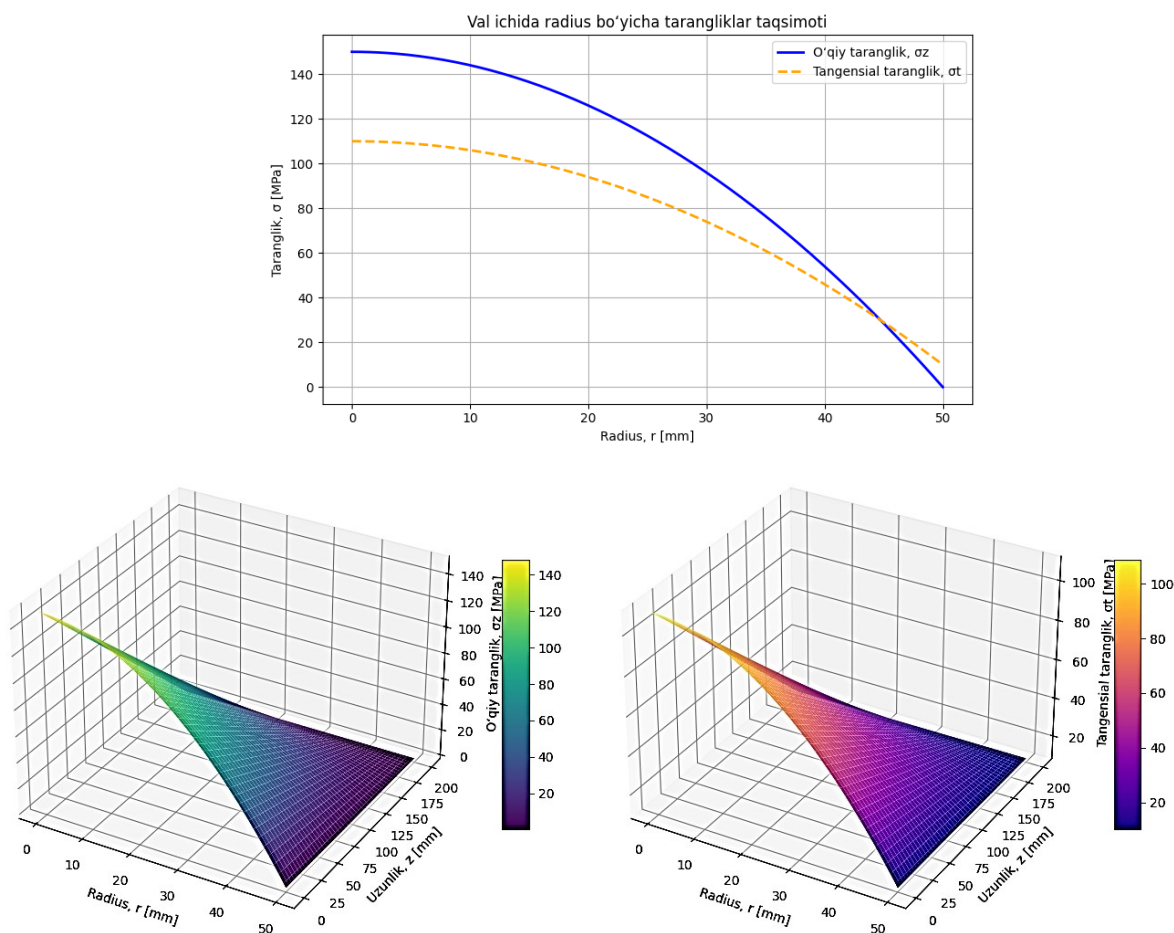
Aksial va tangensial tarangliklar quyidagicha [9,10]:

$$(\sigma_z)_m = \left[\theta_m - \frac{1\theta_1 + 3\theta_2 + \dots + (2n-1)\theta_n}{1+3+\dots+(2n-1)} \right] \frac{(t_{\text{tashqi}} - t_{\text{boshl}})E\beta}{1-\mu} \quad (7)$$

$$(\sigma_t)_m = \left(\theta_m - \frac{\theta_1 + \theta_2 + \dots + \theta_n}{n} \right) \frac{E\beta(t_{\text{tashqi}} - t_{\text{boshl}})K}{1-\mu} \quad (8)$$

Bu formulalar orqali harorat gradienti natijasida valning har bir nuqtasida hosil bo‘ladigan ichki kuchlanishlarni aniqlash mumkin.

Quyidagi grafikda aksial va tangensial tarangliklar taqsimoti tasvirlangan:



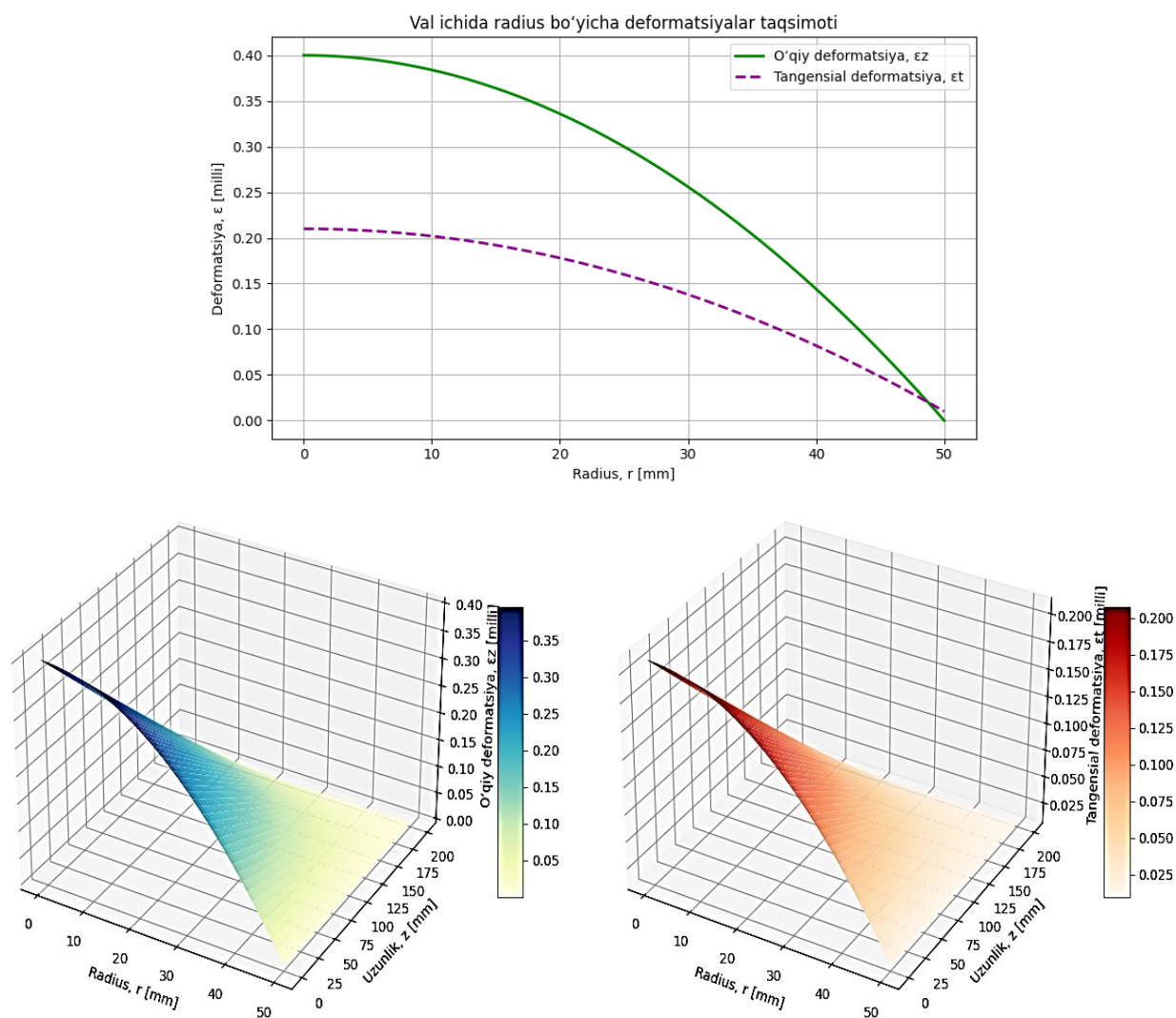
Grafikdan ko‘rinib turibdiki, aksial taranglik markazda maksimal bo‘lib, radius ortishi bilan kamayadi; tangensial taranglik esa sirtga yaqin saqlanadi yoki oshishi mumkin.

Deformatsiyalar uchun [10,11]:

$$e_z = \left[t_{\text{tashqi}} - \frac{\sum_{i=1}^n (2i-1)\theta_n}{\sum_{i=1}^n (2i-1)} (t_{\text{tashqi}} - t_{\text{boshl}}) \right] \beta \quad (9)$$

$$e_{t,r} = [t_{\text{tashqi}} - \frac{D''}{100} (t_{\text{tashqi}} - t_{\text{boshl}})] \beta K \quad (10)$$

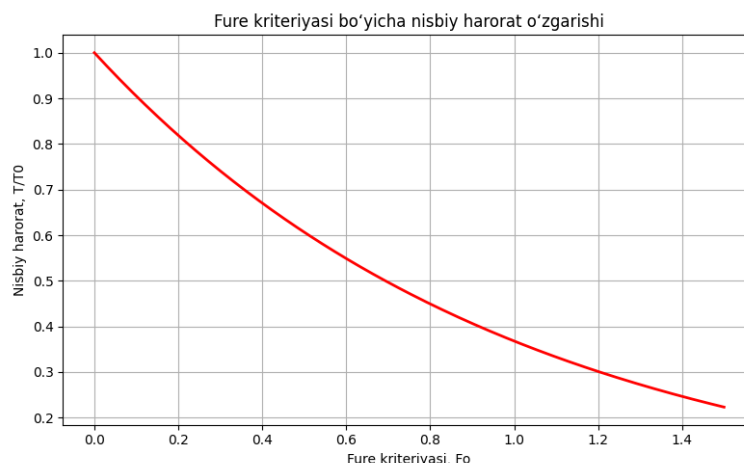
Quyidagi grafikda val ichida radius bo'yicha aksial va tangensial deformatsiyalar taqsimoti tasvirlangan:



Grafikdan ko'rinib turibdiki, ham aksial, ham tangensial deformatsiya markazdan sirtga kamayadi.

Fure kriteriyasi va issiqlik tarqalishi bo'yicha modellash [11,12]:

Quyidagi grafikda Fure kriteriyasi bo'yicha nisbiy harorat o'zgarishi ko'rsatilgan:



Grafikdan ko‘rinib turibdiki, Fure kriteriyasi oshgani sayin val ichidagi nisbiy harorat tez kamayadi, bu esa issiqlik tarqalishi va sovish jarayonining intensivligini ifodalaydi.

Quyidagi misol [8] yuqoridagi formulalar amaliyotda qanday ishlashini ko‘rsatadi:

Misol. Valda maksimal temperaturaviy tarangliklarni hisoblang ($B_i = 1$), agar boshlang‘ich harorat $t_{boshl} = 300^\circ C$, tashqi muhit harorati $t_{tashqi} = 20^\circ C$, kengayish koeffitsienti $\beta = 12 \cdot 10^{-6}$, Poisson koeffitsienti $\mu = 0,3$, elastiklik moduli $E = 2 \cdot 10^4$ kG/mm^(^2).

Yechim:

- Koeffitsient $A = \beta E(t_{tashqi} - t_{boshl}) = -67,2$ kG/mm^(^2).

- Maksimal tarangliklar eng katta harorat farqi paytida hosil bo‘ladi ($F_0 = 0,20$).

- $\theta_1 - \theta_{10} = 0,235$, $D'' = 7,642$, $D''' = 72,030$.

- Aksial taranglik:

$$(\sigma_z)_m = [\theta_m - 0,7242] \cdot (-96) \text{ kG/mm}^2$$

- Tangensial taranglik:

$$(\sigma_t)_m = (0,7642) \cdot (-70,5) \text{ kG/mm}^2$$

$$K = \frac{0,72030 - 0,572}{0,76420 - 0,572} = 0,77$$

Hisoblash natijalari sirt qatlamida maksimal tarangliklar bir-biriga teng bo‘lishini ko‘rsatadi, bu esa modelning muvofiqligini tasdiqlaydi.

Xulosa

Maqolada taqdim etilgan matematik model, formulalar va grafiklar zamonaviy ilmiy adabiyotlar [7–12] asosida ishlab chiqilgan va po‘lat vallarda issiqlik ishlov berish jarayonida paydo bo‘ladigan ichki taranglik va deformatsiyalarni amaliy va nazariy jihatdan baholash uchun foydalidir.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Perkovic, E. (2020). Qurol stvollarida eskirishni o‘lchash va nazorat qilish uskunasi ishlab chiqish: mahsulotni ishlab chiqish jarayoni.
2. Kapustynskyi, O., & Višniakov, N. (2020). Ingichka po‘lat listlarni lazer yordamida mustahkamlash.
3. Kattimani, M.A., & Venkatesh, P.R. (2020). Samolyot turbina diskida charchoqqa chidamli funksional gradientli material.
4. Utegulov, N.I., & Klimov, P.V. (2021). Sanoat korxonalari uchun uskunalar: qarshilik pechlari va yuqori intensivlikdagi issiqlik isitish.
5. Skoybeda, A.T., Kuranova, O.V., Dubovskaya, E.M. (2021). Mashinasozlikda rivojlanish istiqbollari: mobil mashinalar, texnologik uskunalar va energetika tizimlari.
6. Feng, G. va boshqalar (2022). Qo‘shimcha payvandlashda qoldiq taranglik va deformatsiyani sonli modellashtirish.
7. Perić, M. va boshqalar (2022). Qalin devorli quvurda qoldiq tarangliklarni sonli modellashtirish va tajriba yo‘li bilan o‘lchash.
8. Tao, N. va boshqalar (2022). Qalin kompozitlarda chuqur nuqsonlarni aniqlash uchun FEM yordamida shearo-grafiya.
9. Berbasova, T.I. (2022). Yuzaki mustahkamlangan prizmatik va yupqa devorli silindrik detallarida qoldiq tarangliklarni shakllanishi va relaksatsiyasi usuli.
10. Das, P. va boshqalar (2024). Termo-mexanik yuklamaga uchragan umumlashtirilgan aylanma FGM idishini sonli elementlar bilan tahlil qilish.
11. Gurchenko, P. (2025). Mashinasozlikda induksion issiqlik ishlov berish.

12. Aliyev, S., Kengbaev, S., Safarov, N. (2024). Yuqori tezlikda tikuv mashinalari materiallarini harakatlantirish mexanizmining kuch tahlili. *E3S Web of Conferences. Series*, 508, 08022.