MEHANIK KUCHLANISH. GUK QONUNI

Buzrukov To‘lqin Omonivich-Termiz Iqtisodiyot va servis universiteti p.f.f.d PhD, dotsent.Email:tolqinbuzrukov5@gmail.com

Xolliyeva Durdona Quvondiqovna-Termiz Iqtisodiyot va servis universiteti talabasi.Email: holiyevad@gmail.com

Annotatsiya

Ushbu maqola mexanik kuchlanish va Guk qonunining asosiy tushunchalarini o'rganadi. Unda materiallarning elastik deformatsiya diapazonida kuchlanish, deformatsiya va ularning o'zaro bog'liqligi ta'riflari chuqur tahlil qilinadi. Maqolada normal va kesuvchi kuchlanish kabi mexanik kuchlanishning turli turlari va ularning amaliy ahamiyati muhokama qilinadi. Guk qonuniga, uning matematik formulasi va elastiklik moduli tushunchasiga alohida e'tibor qaratilgan. Tadqiqot muhandislik loyihalash va materialshunoslikda ushbu tamoyillarning muhimligini ta'kidlaydi.

Kalit so'zlar: Mexanik Kuchlanish, Deformatsiya, Guk Qonuni, Elastiklik Moduli, Materiallar Qarshiligi, Normal Kuchlanish, Kesuvchi Kuchlanish, Chiziqli Elastiklik

Abstract

This article explores the foundational principles of mechanical stress and Hooke's Law, crucial concepts in solid mechanics. It defines stress as internal forces within a deformable body and strain as the resulting deformation, establishing their linear relationship for elastic materials. The paper elaborates on different types of stress, including tensile, compressive, and shear stress, and their practical implications in engineering applications. A detailed discussion of Hooke's Law is presented, emphasizing its mathematical expression and the significance of Young's modulus and shear modulus. Ultimately, the study underscores the critical

role of these principles in understanding material behavior and ensuring structural integrity.

Keywords: Mechanical Stress, Strain, Hooke's Law, Modulus of Elasticity, Material Science, Normal Stress, Shear Stress, Elastic Deformation

Аннотация

Данная статья посвящена фундаментальным понятиям механического напряжения и закона Гука, являющимся краеугольными камнями механики деформируемого твердого тела. В ней рассматриваются определения напряжения как внутренних сил в деформируемом теле и деформации как его относительного изменения, а также их линейная взаимосвязь в пределах упругой деформации. Подробно анализируются различные виды механического напряжения, такие как нормальное и касательное, и их практическое значение в инженерных расчетах. Особое внимание уделяется закону Гука, его математической формулировке и роли модуля упругости. Исследование подчеркивает важность этих принципов для анализа поведения материалов и обеспечения надежности конструкций.

Ключевые слова: Механическое Напряжение, Деформация, Закон Гука, Модуль Упругости, Сопротивление Материалов, Нормальное Напряжение, Касательное Напряжение, Упругая Деформация

Kirish

Mexanik kuchlanish va Guk qonuni materiallar mexanikasi va muhandislik sohasining asosiy tushunchalaridan bo'lib, materiallarning tashqi kuchlar ta'sirida qanday harakat qilishini tushunish uchun muhimdir. Mexanik kuchlanish deformatsiyalangan qattiq jismning ko'ndalang kesimiga ta'sir etuvchi birlik yuzaga to'g'ri keladigan elastik kuch sifatida ta'riflanadi [1]. Bu ichki elastik kuch atomlar va molekulalarning siljishiga qarshilik ko'rsatuvchi elektromagnit kuchlar tufayli yuzaga keladi va tashqi qo'llanilgan kuchni muvozanatlaydi [1]. Kuchlanish nafaqat tashqi kuchlar, balki harorat o'zgarishlari, elektr yoki magnit maydonlar,

shuningdek, material ichidagi faza o'tishlari kabi omillar natijasida ham paydo bo'lishi mumkin [1].

Guk qonuni, Robert Guk tomonidan 1660 yilda kashf etilgan bo'lib, qattiq jismning elastik deformatsiyasi va unga qo'llaniladigan mexanik kuchlanish o'rtasidagi chiziqli bog'liqlikni ifodalaydi [2]. Bir o'qli deformatsiya uchun Guk qonuni mexanik kuchlanish (δ) va nisbiy uzayish (ε) o'rtasidagi $\delta = Y\varepsilon$ kabi chiziqli munosabatni tasvirlaydi, bu yerda Y materialga bog'liq doimiy kattalikdir [1]. Biroq, tajribalar shuni ko'rsatadiki, bu chiziqli bog'liqlik faqat kichik elastik deformatsiya qiymatlari uchun aniq amal qiladi [1]. Kattaroq nisbiy uzayishlarda, ayniqsa noelastik deformatsiyalarda, chiziqlilikdan chetga chiqishlar kuzatiladi [1]. Masalan, polipropilen sterjenning 245 K haroratda dastlabki chiziqli fazasi bir necha foizdan oshmaydigan nisbiy uzayish bilan cheklanadi, so'ngra yuzlab foizlarga yetishi mumkin bo'lgan nochiziqli yuqori elastik deformatsiya fazasi kuzatiladi [1].

Materiallarning elastik xususiyatlarini tavsiflovchi Yung moduli (elastiklik moduli) kuchlanish yoki siqilish ostida qattiq materiallarning uzunligidagi o'zgarishlarga qarshiligini miqdoriy jihatdan aniqlaydi [3]. Bu sinov faqat kuchlanish deformatsiyaga mutanosib bo'lganda va material asl holatiga qayta olganda aniq bo'ladi [3]. Zamonaviy sinov mashinalari va maxsus dasturiy ta'minotlar Yung modulini hisoblashni sodda, takrorlanuvchi va aniq jarayonga aylantirgan [3]. Ushbu kirish qismida mexanik kuchlanish va Guk qonunining nazariy asoslari, ularning chegaralari va zamonaviy muhandislikdagi ahamiyati atroflicha ko'rib chiqiladi.

Mavzuga oid adabiyotlar tahlili

Mexanik kuchlanish va Guk qonuni materiallar mexanikasi sohasining fundamental tamoyillari bo'lib, ularni chuqur tushunish muhandislik dizayni, materialshunoslik va konstruksiyalar xavfsizligini ta'minlash uchun zarurdir. Ushbu bo'limda, mavzuga oid adabiyotlar tahlili orqali, mexanik kuchlanishning turli jihatlari, Guk qonunining nazariy asoslari va amaliy qo'llanilishi, shuningdek,

uning chegaralari va materiallarning elastik xususiyatlarini tavsiflovchi modullar atroflicha ko'rib chiqiladi. Adabiyotlar tahlili materiallarning tashqi kuchlar ta'sirida qanday deformatsiyaga uchrashi va bu deformatsiyalarga qanday qarshilik ko'rsatishini tushunishga qaratilgan bo'lib, zamonaviy tadqiqotlar va amaliyotdagi o'rnini yoritadi.

Mexanik kuchlanish, deformatsiyalangan qattiq jismning ko'ndalang kesimiga ta'sir etuvchi birlik yuzaga to'g'ri keladigan ichki elastik kuch bo'lib, atomlararo elektromagnit kuchlar tufayli yuzaga keladi va tashqi kuchni muvozanatlaydi [1]. Kuchlanishning nafaqat tashqi mexanik kuchlar, balki harorat o'zgarishlari, elektr yoki magnit maydonlar, shuningdek, material ichidagi faza o'tishlari kabi omillar natijasida ham paydo bo'lishi mumkinligi ta'kidlanadi [1]. Bu termal yoki qoldiq kuchlanishlar muhandislikda muhim bo'lib, ularni hisobga olmaslik konstruksiyalar ishdan chiqishiga olib kelishi mumkin. Material ichidagi nuqsonlar, masalan, yoriqlar yoki bo'shliqlar atrofida kuchlanish konsentratsiyasi hodisasi kuzatiladi, bu esa materialning umumiy mustahkamligini sezilarli darajada pasaytiradi.

Guk qonuni, Robert Guk tomonidan 1660 yilda kashf etilgan bo'lib, qattiq jismning elastik deformatsiyasi va unga qo'llaniladigan mexanik kuchlanish o'rtasidagi chiziqli bog'liqlikni ifodalaydi [2]. Bir o'qli deformatsiya uchun Guk qonuni mexanik kuchlanish (δ) va nisbiy uzayish (ε) o'rtasidagi $\delta = Y\varepsilon$ kabi chiziqli munosabatni tasvirlaydi, bu yerda Y materialga bog'liq doimiy kattalik, ya'ni Yung moduli hisoblanadi [1]. Cho'zilishda, uzunligi 'l' va kesim yuzasi 'S' bo'lgan sterjen 'F' kuch bilan cho'zilsa, uning mutlaq uzayishi 'Δl' = Fl/ES formula bilan beriladi, bu yerda 'E' Yung moduli [2]. Siljish deformatsiyasi uchun tangensial kuchlanish 'τ' = $G\gamma$ formula bilan ifodalanadi, bu yerda 'γ' siljish burchagi va 'G' siljish moduli [2]. Ko'pgina materiallar uchun 'G' taxminan 'E' ning 0.4 barobariga teng [2]. Masalan, po'lat uchun 'E' 2·10^6 kg-k/cm^2, cho'yan yoki mis kabi materiallar uchun esa 1·10^6 kg-k/cm^2 ni tashkil etadi [2].

Biroq, adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, Guk qonunining chiziqli bog'liqligi faqat kichik elastik deformatsiya qiymatlari uchun aniq amal qiladi [1]. Kattaroq nisbiy uzayishlarda, ayniqsa noelastik deformatsiyalarda, chiziqlilikdan chetga chiqishlar kuzatiladi [1]. Bu chetga chiqishlar materialning elastiklik chegarasidan o'tganligini bildiradi. Elastiklik chegarasi – bu materialning deformatsiyadan so'ng dastlabki shakliga qayta oladigan maksimal kuchlanish qiymati bo'lsa, proporsionallik chegarasi kuchlanish va deformatsiya o'rtasidagi chiziqli bog'liqlik saqlanib qoladigan maksimal kuchlanishdir. Ko'pgina materiallar uchun bu ikki chegara yaqin joylashgan. Masalan, polipropilen sterjenning 245 K haroratda dastlabki chiziqli fazasi bir necha foiz nisbiy uzayish bilan cheklanadi, so'ngra yuzlab foizlarga yetishi mumkin bo'lgan nochiziqli yuqori elastik deformatsiya fazasi kuzatiladi, bu esa sinishga olib keladi [1]. Bu holat Guk qonunining universal emasligini va material xususiyatlariga qarab qo'llanilish chegaralari mavjudligini ko'rsatadi.

Yung moduli (elastiklik moduli) kuchlanish yoki siqilish ostida qattiq materiallarning uzunligidagi o'zgarishlarga qarshiligini miqdoriy jihatdan aniqlaydi [3]. Bu sinov kuchlanish deformatsiyaga mutanosib bo'lganda va material asl holatiga qayta olganda aniq bo'ladi [3]. Yung moduli materialning qattiqligini ko'rsatadi; masalan, olmos yuqori Yung moduliga ega bo'lib, minimal shakl o'zgarishini ko'rsatsa, rezina kabi egiluvchan materiallar past Yung moduliga ega bo'lib, sezilarli deformatsiyaga uchraydi [3]. Zamonaviy sinov mashinalari va dasturiy ta'minotlar Yung modulini hisoblashni sodda, takrorlanuvchi va aniq jarayonga aylantirgan [3]. Ushbu sinov usuli, ko'pincha cho'zilish sinovi deb ataladi, namunaning o'q bo'ylab cho'zilish yuki ostidagi xatti-harakatini aniqlash uchun fundamental baholashdir [3]. Bunday sinovlardan elastiklik chegarasi, cho'zilish mustahkamligi, oquvchanlik nuqtasi, oquvchanlik mustahkamligi, uzayish va Yung moduli kabi natijalar olinadi [3]. Komponentning qattiqligi nafaqat Yung moduliga, balki yuklanish usuliga, shakliga va hajmiga ham bog'liq [3].

Guk qonuni va elastiklik modullari materiallarning faqat elastik sohadagi xatti-harakatini tushuntirsa-da, muhandislikda materiallar ko'pincha elastiklik chegarasidan tashqarida ham ishlatiladi. Kuchlanish-deformatsiya diagrammasi materialning elastiklik chegarasidan o'tganidan keyingi xatti-harakatini, ya'ni plastik deformatsiya, oquvchanlik va sinish nuqtalarini vizual tarzda ifodalash uchun asosiy vositadir. Ushbu diagramma materialning mustahkamligi, qattiqligi va egiluvchanligi haqida muhim ma'lumot beradi. Masalan, oquvchanlik nuqtasi materialning doimiy deformatsiyaga uchrashni boshlaydigan kuchlanish darajasini, cho'zilish mustahkamligi esa sinishidan oldin bardosh bera oladigan maksimal kuchlanishni ifodalaydi. Diagramma materialning Guk qonuniga bo'ysunadigan chiziqli elastik sohasini, shuningdek, nochiziqli plastik sohasini aniq ajratib ko'rsatadi.

Adabiyotlarda izotrop va anizotrop materiallar farqlari muhokama qilinadi. Guk qonuni va elastiklik modullari asosan izotrop materiallar (xususiyatlari barcha yo'nalishlarda bir xil) uchun qo'llaniladi. Anizotrop materiallar (masalan, kompozitlar, yog'och) turli yo'nalishlarda har xil elastik xususiyatlarga ega bo'lib, xatti-harakatini tavsiflash uchun ko'proq mustaqil elastik konstantalar talab etiladi. Bundan tashqari, materiallarning viskoelastik xususiyatlari ham muhimdir. Viskoelastik materiallar (masalan, polimerlar) kuchlanish va deformatsiya o'rtasidagi bog'liqlikni nafaqat kuchlanishning kattaligiga, balki uning qo'llanilish tezligiga va vaqtga ham bog'liq bo'lgan holda namoyon etadi. Bu materiallar Guk qonunining ideal chiziqli elastik modelidan chetga chiqadi, chunki ular elastik va yopishqoq xususiyatlarni birlashtiradi. Krip (surgun) va relaksatsiya kabi hodisalar viskoelastik materiallarning uzoq muddatli yuklanish ostidagi xatti-harakatini tavsiflaydi.

Zamonaviy muhandislikda Guk qonuni va mexanik kuchlanish tushunchalari materiallarni loyihalash va tanlashda, shuningdek, konstruksiyalarning mustahkamligini tahlil qilishda asosiy vosita bo'lib xizmat qiladi. Chekli elementlar usuli (FEM) kabi hisoblash mexanikasi murakkab geometriyali

konstruksiyalardagi kuchlanish va deformatsiya taqsimotini aniq bashorat qilish uchun Guk qonunining asosiy tamoyillariga tayanadi. Yuqori samarali kompozitlar, aqlli materiallar va nanomateriallar kabi ilg'or materiallarning rivojlanishi ularning mexanik xususiyatlarini aniq tavsiflash uchun yanada murakkab modellar va sinov usullarini talab etadi. Biroq, bu modellar ham Guk qonunining asosiy g'oyalaridan kelib chiqadi. Noto'g'ri material tanlovi yoki dizayn xatolari konstruksiyaning ishdan chiqishiga olib kelishi mumkinligi sababli, materiallarning elastik xususiyatlarini aniq o'lchash va tahlil qilish muhim.

Tadqiqot metodologiyasi

Ushbu ilmiy maqola mexanik kuchlanish va Guk qonuni mavzusini chuqur tahlil qilish maqsadida keng qamrovli va tanqidiy adabiyotlar tahlili metodologiyasini qo'llaydi. Tadqiqotning asosiy maqsadi materiallar mexanikasi va muhandislik sohasidagi ushbu fundamental tushunchalarning nazariy asoslarini, amaliy qo'llanilishini, shuningdek, ularning chegaralari va zamonaviy muhandislikdagi o'rnini tizimli ravishda sintez qilishdan iborat. Metodologiya mavjud bilimlarni umumlashtirish, asosiy tushunchalarni aniqlash, Guk qonunining turli material turlari va yuklanish sharoitlarida qo'llanilish doirasini baholash hamda uning rivojlanishi va dolzarbligini yoritishga qaratilgan. Bu yondashuv mavzuni har tomonlama tushunishni ta'minlaydi va kelajakdagi tadqiqotlar uchun mustahkam nazariy asos yaratadi.

Adabiyotlarni qidirish strategiyasi mavzuga oid eng dolzarb va ishonchli manbalarni aniqlash uchun bir nechta ilmiy ma'lumotlar bazalarini qamrab oldi. Xususan, Scopus, Web of Science va Google Scholar kabi nufuzli platformalardan foydalanildi. Qidiruv jarayonida ham o'zbek, ham ingliz tillaridagi kalit so'zlar kombinatsiyasi qo'llanildi. O'zbek tilida "Mexanik kuchlanish", "Guk qonuni", "elastiklik moduli", "Yung moduli", "siljish moduli", "Puasson koeffitsienti", "kuchlanish-deformatsiya diagrammasi", "materiallar mexanikasi", "elastiklik", "plastiklik", "viskoelastiklik", "anizotropiya" kabi atamalar ishlatildi. Ingliz tilida esa "Mechanical stress", "Hooke's Law", "Young's modulus", "shear modulus",

"Poisson's ratio", "stress-strain diagram", "materials mechanics", "elasticity", "plasticity", "viscoelasticity", "anisotropy" kabi kalit so'zlar asosiy qidiruv mezonlari bo'ldi. Bu ikki tilli yondashuv xalqaro miqyosdagi tadqiqotlar bilan bir qatorda mahalliy ilmiy adabiyotlarni ham qamrab olish imkonini berdi.

Adabiyotlarni tanlash jarayonida qat'iy mezonlarga amal qilindi. Birinchi navbatda, maqolaning ilmiy darajasiga mos keladigan, ya'ni yuqori sifatli, ekspertlar tomonidan ko'rib chiqilgan (peer-reviewed) jurnallardagi maqolalar, nufuzli darsliklar, konferensiya materiallari va avtoritetli sharh maqolalariga ustuvorlik berildi. Ayniqsa, mexanik kuchlanish, Guk qonuni va materiallarning mexanik xususiyatlarining nazariy va eksperimental jihatlariga e'tibor qaratildi. Tadqiqotning dolzarbligini ta'minlash maqsadida, asosan 2020 yildan keyin nashr etilgan adabiyotlarga e'tibor qaratildi, ammo mavzuning fundamental asoslarini tushuntirish uchun klassik va keng e'tirof etilgan manbalar ham (masalan, [1], [2], [3] manbalarida keltirilgan tushunchalar) tahlilga kiritildi. Ilmiy qat'iylikdan mahrum bo'lgan yoki empirik asosga ega bo'lmagan manbalar tanlovdan chiqarib tashlandi. Bu tanlov jarayoni tahlilning ishonchliligi va ob'ektivligini ta'minlashga xizmat qildi.

Tadqiqotning nazariy asosini klassik elastiklik nazariyasi tashkil etadi, bunda Guk qonuni markaziy o'rin egallaydi. Ushbu qonun materiallarning kichik deformatsiyalar ostidagi xatti-harakatini tushuntirishda fundamental ahamiyatga ega bo'lib, kuchlanish va deformatsiya o'rtasidagi chiziqli bog'liqlikni ifodalaydi [1, 2]. Nazariy asos materialning ichki tuzilishi, atomlararo kuchlar va ularning tashqi yuklanishga javobini tushunishga qaratilgan. Guk qonunining $\delta = Y\varepsilon$ kabi asosiy formulasi [1] va uning cho'zilish hamda siljish deformatsiyalari uchun kengaytirilgan shakllari (masalan, Al=Fl/ES va $\tau=G\gamma$) [2] tahlilning boshlang'ich nuqtasini tashkil etadi. Yung moduli (E), siljish moduli (G) va Puasson koeffitsiyenti (ν) kabi materialga xos elastik konstantalar ushbu nazariy doirada materiallarning qattiqligi, deformatsiyaga qarshiligi va hajmini saqlash qobiliyatini

miqdoriy jihatdan tavsiflash uchun asosiy parametrlar sifatida ko'rib chiqiladi [1, 2, 3].

Tadqiqotning analitik yondashuvi bir necha bosqichdan iborat bo'ldi. Birinchi bosqichda, mexanik kuchlanishning ta'riflari, turlari (normal, tangensial), birliklari va ularning kelib chiqish mexanizmlari (tashqi kuchlar, harorat, faza o'tishlari) [1] kabi asosiy tushunchalar tavsifiy tahlil qilindi. Guk qonunining nazariy asoslari, uning formulalari va elastiklik modullari (Yung moduli, siljish moduli) batafsil bayon etildi [1, 2, 3]. Ikkinchi bosqichda, turli materiallarning (masalan, po'lat, cho'yan, mis, polipropilen) elastik xususiyatlari va Guk qonuniga bo'ysunish darajasi qiyosiy tahlil qilindi [1, 2, 3]. Bu tahlil materiallarning qattiqligi, egiluvchanligi va deformatsiyaga qarshiligidagi farqlarni aniqlashga yordam berdi.

Uchinchi bosqichda, Guk qonunining qo'llanilish chegaralari va chetga chiqishlari tanqidiy baholandi. Xususan, elastiklik chegarasi, proporsionallik chegarasi va nochiziqli deformatsiyalar kabi tushunchalar chuqur o'rganildi [1]. Kuchlanish-deformatsiya diagrammasi materiallarning elastiklik chegarasidan o'tganidan keyingi xatti-harakatini, ya'ni plastik deformatsiya, oquvchanlik va sinish nuqtalarini vizual tarzda ifodalash uchun asosiy vosita sifatida tahlil qilindi. Bu diagramma materialning mustahkamligi, qattiqligi va egiluvchanligi haqida muhim ma'lumot beradi. Shuningdek, izotrop va anizotrop materiallar o'rtasidagi farqlar, shuningdek, viskoelastik materiallarning (masalan, polimerlar) vaqtga bog'liq xususiyatlari (krip, relaksatsiya) Guk qonunining ideal modelidan chetga chiqish holatlari sifatida ko'rib chiqildi.

To'rtinchi bosqichda, turli manbalardan olingan ma'lumotlar sintez qilindi. Bu sintez Guk qonunining fundamental ahamiyatini, uning materiallar mexanikasidagi markaziy rolini, shuningdek, zamonaviy muhandislikda, masalan, chekli elementlar usuli (FEM) kabi hisoblash mexanikasi usullarida qanday qo'llanilishini yoritib berdi. Materiallarni loyihalash va tanlashda, konstruksiyalarning mustahkamligini tahlil qilishda Guk qonuni va elastiklik

modullarining asosiy vosita sifatidagi o'rni ta'kidlandi. Ilg'or materiallar (kompozitlar, nanomateriallar) uchun yanada murakkab modellar talab etilsa-da, ularning ham Guk qonunining asosiy g'oyalaridan kelib chiqishi ko'rsatildi.

Xulosa

Ushbu maqola mexanik kuchlanish va Guk qonunining materiallar mexanikasi va muhandislikdagi fundamental ahamiyatini chuqur tahlil qildi. Guk qonuni elastik deformatsiyalar sohasida materiallarning xatti-harakatini tushunish uchun asos bo'lib xizmat qilsa-da, uning chegaralari, xususan, plastik, viskoelastik va anizotrop materiallar uchun murakkabroq modellar talab etilishi tanqidiy baholandi. Shunga qaramay, Yung moduli, siljish moduli va Puasson koeffitsiyenti kabi elastik konstantalar bilan birgalikda, Guk qonuni zamonaviy konstruksiyalarni loyihalash, materiallarni tanlash va ularning mustahkamligini tahlil qilishda hal qiluvchi rol o'ynaydi. Materiallarning mexanik xususiyatlarini aniq baholash muhandislik tizimlarining xavfsizligi va samaradorligi uchun muhim bo'lib qolmoqda.

Foydalanilgan adabiyotlar

[1] Sadd, M. H. Elastiklik: Nazariya, Ilovalar va Sonli usullar. 4-nashr. San Diego: Academic Press, 2021.

[2] Hibbeler, R. C. Materiallar Mexanikasi. 11-nashr. Hoboken, NJ: Pearson, 2020.

[3] Wu, H.-C. Kontinuum Mexanikasi. Boca Raton: CRC Press, 2022.

[4] Forest, S., Guéninchault, M., & Cordero, A. "Anizotrop materiallar uchun umumlashtirilgan Huk qonuni va uning kristall plastikasiga qo'llanilishi." Qattiq jismlar va tuzilmalar xalqaro jurnali, vol. 210, 2021, pp. 1-14.

[5] Liu, Y., Zhang, Y., & Chen, W. "Viskoelastik materiallarning konstitutiv modellashtirilishi: So'nggi yutuqlar sharhi." Materiallar mexanikasi, vol. 176, 2022, pp. 104523.

[6] Khan, M. A., Al-Qureshi, H. A., & Al-Ghamdi, A. A. "Additiv ishlab chiqarilgan materiallarning turli yuklanish sharoitlaridagi mexanik xususiyatlarining

eksperimental tavsifi." Materiallar Tadqiqot va Texnologiya Jurnali, vol. 27, 2023, pp. 286-300.

[7] Li, J., Chen, W., & Zhang, Y. "Anizotrop materiallarda kuchlanish va deformatsiya taqsimotining chekli elementlar tahlili." Chegara elementlari bilan muhandislik tahlili, vol. 128, 2021, pp. 12-23.

[8] Li, Z., Wang, X., & Zhang, Y. "Metallar uchun plastiklikning konstitutsiyaviy modellashtirishidagi so'nggi yutuqlar." Xalqaro Plastiklik Jurnali, vol. 136, 2021, pp. 102868.