ISNN 3030-3907

2026/4
VOLUME 10

# DEVELOPMENT OF SCIENCE

## ILMIY JURNAL



# Development of science

## Ilmiy jurnal

*2026/4 VOLUME 10*

*ISSN 3030 -3907*

*Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan.*

**BOSH MUHARRIR:**
***Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.***
**TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:**
***Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor***
***TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI***

**TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

***Bozorov G‘ayrat Rashidovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor*
***Abdurahmonov Olim Rustamovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor*
***Adizov Bobur Zamirovich***
*O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor*
***Hayitov Ruslan Rustamjonovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor*
***Jumayev Qayum Karimovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***Berdiyev Dorob Murodovich***
*Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor*
***Maxmudov Rafiq Amonovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***Tilloyev Lochin Ismatilloyevich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Raxmonov Qahramon Sanakulovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Barakayev Nusratullo Rajabovich***
*Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***Panoyev Erali Rajabboyevich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Ataullayev Sherzod Nabiullyevich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Murodov Malik Negmurodovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Axmedova Ozoda Bahronovna***
*Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.*
***Safarov Bahri Jumayevich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Xaydarov Axtam Amonovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Safarov Jasur Alijon o‘g‘li***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Асадова Раъно Дилмуратовна***
*Тошкент Давлат техника университети доценти*

**KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ**

***Axmedov Voxid Nizomovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor*
***Umarov Baqo Bafoyevich***
*Buxoro Davlat Universiteti, professor*
***Kodirov Abduaxad Abduraximovich***
*Qarshi davlat Universiteti, professor*
***Qurbonov Mingniqul Jumagulovich***
*Qarshi davlat Universiteti, dotsent*
***Turemuratov Sharibay Naurizbaevich***
*O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor*
***Tursunov Kaxor Shonazarovich***
*Qarshi davlat Universiteti, professor*
***Do‘stov Hamro***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor*
***Panoyev Nodir Shavkatovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Kasimov Sherzod Abduazimovich***
*Termiz Davlat Universiteti, professor.*
***Aliqulov Rustam Valiyevich***
*Termiz Davlat Universiteti, professor*
***Tropov Xamza Tursunovich***
*Samarqand Davlat Universiteti, professor*

**IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ**

***Nizamov Aslitdin Badreddinovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***Boboyev Akmal Choriyevich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna***
*Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor*
***Saidaxmedova Nodira Ilxomovna***
*Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor*
***Muxsinov Bekzod Toxirovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Shakarov Qulmat Ashirovich***
*Renessans ta'lim universiteti,dotsent.*
***Jumaeva Zulfiya Qayumovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Norova Salomat Yusupovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Jalilov Jamshid G‘anijonovich***
*Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent*
***Xasanova Gulruh Djumanazarovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*

**PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ**

***Siddiqova Sadoqat G‘afforovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Zoyirov Erkin Xalilovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor*
***Gaffarov Feruz Hasanovich***
Puchon Universiteti, *professor*
***Ruziyev Davron Yuldashevich***
*Buxoro Davlat Universiteti, professor*
***Muradova Firuza Rashidovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***Yunusova Gulandon Samiyevna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***To‘xtayeva Zebo Sharifovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.*
***Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Uzoqova Laylo Polvonovna***
*Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.*
***To‘raqulova Marjona Qiyom qizi***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Muradova Zarina Rashidovna***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Murodov Sanjar Aslonovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.*
***Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich***
*Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent*
***Gaffarov Laziz Hasanovich***
*Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.*

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.



ISSN 3030-3907

**Development of science** ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.



ISSN 3030-3907

# KOMPOZIT MATERIALLARDAN TAYYORLANGAN TISHLI G‘ILDIRAKLAR VA VALLARNING STATIK HAMDA DINAMIK YUKLAMALARDAGI DEFORMATSIYALARI TAHLILI

**Otaqo‘ziyev Ziyodullo Abdullojonovich**
*TKTI Yangiyer filiali Avtomatika va texnologik jarayonlar kafedrasi o‘qituvchisi*
*E-mail: ziyodullootaqoziyev966@gmail.com*
**Maxmanazarov Sardor Toirjon o‘g‘li**
*TKTI Yangiyer filiali Texnologik mashinalar va jihozlar yo‘nalishi II kurs talabasi*
*E-mail: sardormaxmanazarov@icloud.com*
**Xolmurodov Og‘abek Toshbolta o‘g‘li**
*TKTI Yangiyer filiali Texnologik mashinalar va jihozlar yo‘nalishi II kurs talabasi*
*E-mail: ogabekx395@gmail.com*
**Ahmadjonov Sherbek Tohir o‘g‘li**
*TKTI Yangiyer filiali Texnologik mashinalar va jihozlar yo‘nalishi II kurs talabasi*
*E-mail: asherbek@311gmail.com*

**Annotatsiya.** Ushbu tadqiqot kompozit materiallardan tayyorlangan tishli g‘ildiraklar va vallarning statik hamda dinamik yuklamalar ostidagi deformatsiya xususiyatlarini tahlil qiladi. Unda ushbu komponentlarning mexanik xatti-harakatlari chuqur o‘rganilib, yuklanish turlari va material xususiyatlari o‘rtasidagi bog‘liqliklar aniqlanadi. Ishning maqsadi kompozit quvvat uzatish elementlarining ishonchliligi va ish faoliyatini oshirish uchun deformatsiya mexanizmlarini tushunishdan iborat. Olingan natijalar muhandislik amaliyotida kompozit materiallardan foydalangan holda tishli uzatmalarni loyihalash va optimallashtirishga yordam beradi. Tadqiqot material tanlash va konstruktiv yechimlarni takomillashtirishga qaratilgan.

**Kalit so‘zlar:** Kompozit Materiallar, Tishli G‘ildiraklar, Valllar, Deformatsiya, Statik Yuklama, Dinamik Yuklama, Mexanik Xususiyatlar, Kuchlanish Tahlili

**Abstract.** This study presents an in-depth analysis of the deformation characteristics of gears and shafts manufactured from composite materials under static and dynamic loads. It thoroughly investigates the mechanical behavior of these components, identifying the relationships between load types and material properties. The research aims to understand the deformation mechanisms to enhance the reliability and performance of composite power transmission elements. The findings will aid in the design and optimization of composite gear systems in



ISSN 3030-3907

engineering applications. This work focuses on improving material selection and structural solutions.

**Keywords:** Composite Materials, Gears, Shafts, Deformation, Static Load, Dynamic Load, Mechanical Properties, Stress Analysis

**Аннотация.** В данном исследовании представлен углубленный анализ деформационных характеристик зубчатых колес и валов, изготовленных из композиционных материалов, при статических и динамических нагрузках. Тщательно исследуется механическое поведение этих компонентов, выявляются взаимосвязи между типами нагрузок и свойствами материалов. Целью работы является понимание механизмов деформации для повышения надежности и производительности композитных элементов трансмиссии. Полученные результаты помогут в проектировании и оптимизации композитных зубчатых систем в инженерных приложениях. Данная работа направлена на улучшение выбора материалов и конструктивных решений.

**Ключевые слова:** Композиционные Материалы, Зубчатые Колеса, Валы, Деформация, Статическая Нагрузка, Динамическая Нагрузка, Механические Свойства, Анализ Напряжений

**KIRISH.**

Mashinasozlik va mexanika sohasida tishli g‘ildiraklar va vallar quvvat uzatish tizimlarining asosiy elementlari hisoblanadi. Ular zamonaviy texnologiyalarda tobora ortib borayotgan talablar, jumladan yuqori tezlik, og‘ir yuklamalar va ekstremal ish sharoitlari ostida faoliyat yuritadi. An'anaviy metall materiallardan tayyorlangan komponentlar yuqori yuklamalar, charchoq va aşınish sharoitida deformatsiyaga moyil bo‘lib, bu tizimning ishdan chiqishiga olib kelishi mumkin. Shu sababli, yuqori mexanik xususiyatlarga ega, yengil, korroziyaga chidamli va uzoq muddat xizmat qiladigan materiallarga bo‘lgan talab ortib bormoqda, bu esa muhandislik sohasida yangi yechimlarni izlashga undaydi.

So‘nggi yillarda kompozit materiallar ushbu muammolarga yechim sifatida keng e'tibor qozonmoqda. Kompozitsion materiallar kimyoviy jihatdan farqli komponentlarning hajmiy birikmasi natijasida hosil bo‘ladi, ular minimal darajada o‘zaro ta'sir qiladi va aniq ajralib turadi [1]. Ushbu materiallar o‘zlarining tarkibiy qismlarining eng yaxshi xususiyatlarini, masalan, mustahkamlik va aşınishga chidamlilikni birlashtirib, bitta komponentda mavjud bo‘lmagan noyob xarakteristikalarni taqdim etadi. Ular odatda plastik (metall yoki metall bo‘lmagan, noorganik yoki organik) matritsa va metall kukunlari, tolalar, vishker kristallari, yupqa plastinkalar yoki matolar kabi qo‘shimchalardan iborat bo‘ladi. Kompozit materiallarning aviatsiya, kosmonavtika, avtomobilsozlik va umumiy



ISSN 3030-3907

mashinasozlik kabi sohalarda keng qo‘llanilishi ularning yuqori samaradorligidan dalolat beradi.

Kompozit materiallardan tayyorlangan tishli g‘ildiraklar va vallarning statik hamda dinamik yuklamalar ostidagi deformatsiyalarini chuqur tahlil qilish ularning ishonchliligi va xizmat muddatini oshirish uchun fundamental ahamiyatga ega. Bu materiallarning murakkab tuzilishi va anizotrop xususiyatlari ularning mexanik xatti-harakatlarini, ayniqsa yuklamalar ostidagi deformatsiyalarini oldindan aytishni qiyinlashtiradi. Shuning uchun, ushbu tadqiqot kompozit materiallardan tayyorlangan tishli g‘ildiraklar va vallarning statik va dinamik yuklamalar ta'siridagi deformatsiyalarini har tomonlama tahlil qilishga qaratilgan. Maqolada deformatsiya mexanizmlari, ularni baholash usullari va kompozit komponentlarning ishlash samaradorligiga ta'sir etuvchi omillar atroflicha ko‘rib chiqiladi. Olingan natijalar kompozit materiallardan tayyorlangan tishli g‘ildiraklar va vallarning dizaynini optimallashtirish va ularning ekspluatatsion xususiyatlarini yaxshilash uchun muhim asos bo‘lib xizmat qiladi.

**MAVZUGA OID ADABIYOTLAR TAHLILI.**

Kompozit materiallardan tayyorlangan tishli g‘ildiraklar va vallarning statik hamda dinamik yuklamalar ostidagi deformatsiyalarini tahlil qilish so‘nggi yillarda mashinasozlik va materialshunoslik sohalarida muhim tadqiqot yo‘nalishiga aylandi. An'anaviy metall komponentlarga nisbatan kompozit materiallarning yuqori o‘ziga xos mustahkamligi, qattiqligi, yengilligi va charchoqqa chidamliligi ularni avtomobilsozlik, aviatsiya, kosmik sanoat va robototexnika kabi yuqori samaradorlik talab qilinadigan sohalarda jozibador yechimga aylantirmoqda. Biroq, kompozit materiallarning murakkab anizotrop xususiyatlari va geterogen tuzilishi ularning mexanik xatti-harakatlarini, ayniqsa yuklamalar ostidagi deformatsiyalarini aniq bashorat qilishni qiyinlashtiradi.

Statik yuklamalar ostidagi deformatsiyalar tahlili bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar asosan chekli elementlar usuli (FEM) va analitik modellar yordamida amalga oshirilgan. Masalan, 2021 yilda o‘tkazilgan bir tadqiqotda uglerod tolali mustahkamlangan polimer (CFRP) kompozitidan tayyorlangan tishli g‘ildiraklarning statik egilish deformatsiyalari FEM yordamida o‘rganilgan. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, tolalarning yo‘nalishi va matritsa materialining xususiyatlari tishli g‘ildirakning qattiqligi va deformatsiyaga chidamliligiga sezilarli ta'sir ko‘rsatadi. Boshqa bir ishda, 2022 yilda chop etilgan, shisha tolali mustahkamlangan polimer (GFRP) vallarning statik burilish deformatsiyalari analitik va eksperimental usullar bilan solishtirilgan. Tadqiqotchilar kompozit vallarning metall vallarga nisbatan ancha yengilroq bo‘lishiga qaramay, ularning burilish qattiqligini optimallashtirish uchun tolalar hajmi ulushi va joylashuvi



ISSN 3030-3907

muhimligini ta'kidlaganlar. Shuningdek, 2020 yilda nashr etilgan maqolada, kompozit tishli g‘ildiraklarda tish ildizidagi stress konsentratsiyasi va uning statik yuklamalar ostidagi deformatsiyaga ta'siri batafsil o‘rganilib, tolalar joylashuvini optimallashtirish orqali deformatsiyani kamaytirish mumkinligi ko‘rsatilgan. Ushbu tadqiqotlar kompozit materiallarning statik deformatsiyalarini tushunish va ularni loyihalashda hisobga olish uchun muhim asos bo‘lib xizmat qiladi.

Dinamik yuklamalar ostidagi deformatsiyalar tahlili esa kompozit tishli g‘ildiraklar va vallarning ishlash muddatini va ishonchliligini ta'minlashda hal qiluvchi ahamiyatga ega. Dinamik yuklamalar charchoq, tebranish va zarba ta'sirini o‘z ichiga oladi, bu esa materialning progressiv buzilishiga olib kelishi mumkin. 2023 yilda o‘tkazilgan keng qamrovli tadqiqotda, kompozit vallarning rezonans chastotalari va tebranish xususiyatlari modal tahlil yordamida o‘rganilgan. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, kompozit materiallarning ichki damping xususiyatlari metall materiallarga nisbatan yuqori bo‘lib, bu tebranish amplitudasini kamaytirishga yordam beradi, ammo materialning anizotropiyasi murakkab tebranish shakllarini keltirib chiqarishi mumkin. 2022 yildagi boshqa bir ishda, kompozit tishli g‘ildiraklarning dinamik kontakt stresslari va ularning charchoqqa chidamliligiga ta'siri simulyatsiya va eksperimental sinovlar orqali baholangan. Tadqiqotchilar tish yuzasidagi aşınish va mikro-deformatsiyalarning charchoq yoriqlarining boshlanishiga qanday ta'sir qilishini aniqlaganlar. Nanokompozitlar va gibrid kompozitlar kabi ilg‘or materiallardan tayyorlangan vallarning dinamik yuklamalarga chidamliligi bo‘yicha ham tadqiqotlar olib borilmoqda. Masalan, 2021 yilda chop etilgan maqolada, uglerod nanotubalari bilan mustahkamlangan epoksi matritsali kompozit vallarning zarba yuklamalari ostidagi deformatsiya xususiyatlari o‘rganilib, nanotubalarning qo‘shilishi materialning zarba energiyasini yutish qobiliyatini sezilarli darajada oshirishi aniqlangan. Bu ishlar kompozit komponentlarning dinamik xatti-harakatlarini tushunish va ularning xizmat muddatini bashorat qilish uchun muhim ahamiyatga ega.

Deformatsiyalarni o‘lchash va baholash usullari ham adabiyotlarda keng yoritilgan. An'anaviy usullar, masalan, deformatsiya datchiklari (strain gauges) va indikatorlar, statik va past chastotali dinamik yuklamalar uchun keng qo‘llaniladi. Biroq, kompozit materiallarning murakkab deformatsiya mexanizmlarini, ayniqsa yuqori tezlikli dinamik jarayonlarda aniq o‘lchash uchun ilg‘or optik usullar, jumladan raqamli tasvir korrelyatsiyasi (DIC) va lazerli vibrometriya tobora ko‘proq foydalanilmoqda. 2020 yilda chop etilgan bir tadqiqotda, DIC usuli yordamida kompozit tishli g‘ildirak tishlarining yuklama ostidagi to‘liq maydonli deformatsiya profillari aniqlangan, bu esa stress konsentratsiyasi joylarini va potentsial buzilish zonalarini aniqlashga imkon bergan. Shuningdek, ultratovushli



ISSN 3030-3907

tekshiruv (UT) va akustik emissiya (AE) kabi buzilmaydigan nazorat (NDT) usullari kompozit materiallardagi ichki nuqsonlar va shikastlanishlarning deformatsiyaga ta'sirini baholash uchun qo‘llaniladi. 2023 yildagi bir maqolada, AE texnikasi yordamida kompozit vallardagi charchoq natijasida yuzaga keladigan mikro-yoriqlar va delaminatsiyalarning rivojlanishi real vaqt rejimida kuzatilgan, bu esa materialning buzilish mexanizmlarini chuqurroq tushunishga yordam bergan.

So‘nggi yillarda kompozit materiallardan tayyorlangan tishli g‘ildiraklar va vallarning deformatsiyalarini tahlil qilishda yangi tendentsiyalar kuzatilmoqda. Bularga ko‘p o‘lchovli modellashtirish (multi-scale modeling), sun'iy intellekt (AI) va mashinani o‘rganish (ML) usullarini qo‘llash kiradi. 2022 yilda chop etilgan bir ishda, mikro-mexanika va makro-mexanika modellarini birlashtirgan ko‘p o‘lchovli yondashuv yordamida kompozit tishli g‘ildiraklarning aniqroq deformatsiya tahlili amalga oshirilgan. Bu yondashuv materialning mikro-tuzilishi (tolalar va matritsa o‘zaro ta'siri) va makro-darajadagi xatti-harakatlari o‘rtasidagi bog‘liqlikni hisobga olishga imkon beradi. Sun'iy intellekt va mashinani o‘rganish esa kompozit komponentlarning ishlashini bashorat qilish va optimallashtirishda katta salohiyatga ega. 2023 yildagi bir tadqiqotda, neyron tarmoqlar yordamida kompozit vallarning charchoq muddatini turli yuklama sharoitlarida bashorat qilish uchun model ishlab chiqilgan. Ushbu model eksperimental ma'lumotlar asosida yuqori aniqlikni namoyish etgan. Shuningdek, 2024 yilda chop etilgan eng so‘nggi ishda, generativ dizayn va topologik optimallashtirish usullari yordamida kompozit tishli g‘ildiraklarning deformatsiyaga chidamliligini oshirish uchun optimal geometriyalar va tolalar joylashuvi aniqlangan.

Shu bilan birga, adabiyotlarda kompozit materiallardan tayyorlangan tishli g‘ildiraklar va vallarning statik va dinamik deformatsiyalarini kompleks tahlil qilishda hali ham bir qator muammolar mavjud. Ko‘pgina tadqiqotlar ma'lum bir turdagi kompozit materialga yoki yuklama sharoitiga qaratilgan bo‘lib, turli xil kompozit turlari (masalan, gibrid kompozitlar, funktsional gradatsiyalangan materiallar) va ularning murakkab ish sharoitlaridagi deformatsiya mexanizmlarini har tomonlama tushunishga ehtiyoj bor. Ayniqsa, yuqori tezlikli va og‘ir yuklamalar ostida tishli g‘ildirak tishlarining kontakt deformatsiyalari, vallarning burilish va egilish tebranishlari o‘rtasidagi o‘zaro ta'sirni aniq modellashtirish va eksperimental tasdiqlash bo‘yicha chuqurroq izlanishlar talab etiladi. Bundan tashqari, ishlab chiqarish jarayonidagi nuqsonlar (bo‘shliqlar, tolalar noto‘g‘ri joylashuvi) va atrof-muhit omillarining (harorat, namlik) kompozit komponentlarning deformatsiya xususiyatlariga ta'siri bo‘yicha tadqiqotlar cheklangan. Ushbu kamchiliklar kompozit materiallardan tayyorlangan tishli



ISSN 3030-3907

g‘ildiraklar va vallarning ishonchli va uzoq muddatli ishlashini ta'minlash uchun yanada chuqur va keng qamrovli tadqiqotlar o‘tkazish zarurligini ko‘rsatadi. Ushbu maqola aynan shu bo‘shliqlarni to‘ldirishga qaratilgan bo‘lib, kompozit materiallardan tayyorlangan tishli g‘ildiraklar va vallarning statik hamda dinamik yuklamalar ostidagi deformatsiyalarini har tomonlama tahlil qilish orqali ularning dizaynini optimallashtirish va ekspluatatsion xususiyatlarini

**TADQIQOT METODOLOGIYASI.**

Ushbu tadqiqot kompozit materiallardan tayyorlangan tishli g‘ildiraklar va vallarning statik hamda dinamik yuklamalar ostidagi deformatsiyalarini har tomonlama tahlil qilishga qaratilgan bo‘lib, nazariy, sonli (raqamli) va eksperimental yondashuvlarni o‘z ichiga oladi. Metodologiya kompozit komponentlarning murakkab mexanik xatti-harakatlarini chuqur tushunish, ularning ishlash samaradorligini optimallashtirish va xizmat muddatini bashorat qilish uchun tizimli asos yaratadi. Tadqiqotning umumiy yondashuvi quyidagi bosqichlarni o‘z ichiga oladi: materiallarni tanlash va xarakterlash, tishli g‘ildiraklar va vallarning namunalarini loyihalash va tayyorlash, statik va dinamik yuklamalar ostidagi deformatsiyalarni sonli modellashtirish, eksperimental sinovlar o‘tkazish, olingan ma'lumotlarni tahlil qilish va validatsiya qilish.

Material tanlash va xarakterlash bosqichida, avtomobilsozlik va umumiy mashinasozlikda keng qo‘llaniladigan, yuqori samaradorlikka ega bo‘lgan ikki turdagi kompozit materiallar tanlab olindi: uglerod tolali mustahkamlangan polimer (CFRP) va shisha tolali mustahkamlangan polimer (GFRP) asosidagi epoksi matritsali kompozitlar. Shuningdek, gibrid kompozit materiallar, ya'ni CFRP va GFRP tolalarining ma'lum nisbatda biriktirilishi bilan hosil bo‘lgan materiallar ham ko‘rib chiqiladi, bu esa turli xil yuklama sharoitlariga moslashuvchanlikni oshirish imkonini beradi. Har bir kompozit material uchun matritsa va mustahkamlovchi tolalar (bir yo‘nalishli, to‘qilgan) tanlanadi. Materiallarning mexanik xususiyatlarini aniqlash maqsadida standartlarga muvofiq (masalan, ASTM D3039, ASTM D3410) tortish, siqish, egilish, kesish va burilish sinovlari o‘tkaziladi. Bu sinovlar materialning elastik modullari, Puasson koeffitsientlari, mustahkamlik chegaralari va charchoq xususiyatlari kabi anizotropik xarakteristikalarini aniqlashga yordam beradi. Materiallarning ichki tuzilishi, tolalar hajmi ulushi va yo‘nalishini aniqlash uchun skanerlovchi elektron mikroskopiya (SEM) va rentgen tomografiyasi (X-ray CT) kabi mikro-strukturaviy tahlil usullari qo‘llaniladi. Bu ma'lumotlar sonli modellashtirish uchun kirish parametrlari sifatida xizmat qiladi va materialning makro-mexanik xatti-harakatlarini mikro-darajada tushunishga imkon beradi.



ISSN 3030-3907

Tishli g‘ildiraklar va vallarning namunalari loyihalashtiriladi va tayyorlanadi. Tishli g‘ildiraklar uchun standart tish profillari (masalan, involyut) tanlanadi va turli modullarga ega bo‘lgan namunalar loyihalashtiriladi. Vallar uchun esa turli diametr va uzunlikdagi namunalar ko‘rib chiqiladi. Kompozit tishli g‘ildiraklar va vallarni tayyorlashda ilg‘or ishlab chiqarish texnologiyalari, jumladan, filament o‘rash (vallar uchun), presslash (tishli g‘ildiraklar uchun) va qo‘shimchali ishlab chiqarish (3D bosib chiqarish) usullari qo‘llaniladi. Ishlab chiqarish jarayonida materialning bir xilligi va nuqsonlarning yo‘qligini ta'minlash uchun buzilmaydigan nazorat (NDT) usullari, masalan, ultratovushli tekshiruv (UT) va akustik emissiya (AE) qo‘llaniladi. Bu, ayniqsa, bo‘shliqlar, tolalar noto‘g‘ri joylashuvi yoki delaminatsiyalar kabi ishlab chiqarish nuqsonlarining keyingi deformatsiya tahliliga ta'sirini baholash uchun muhimdir.

Statik deformatsiya tahlili nazariy, sonli va eksperimental yondashuvlarni o‘z ichiga oladi. Nazariy tahlil doirasida, kompozit materiallarning anizotrop xususiyatlarini hisobga olgan holda klassik laminat nazariyasi va ortotropik elastiklik nazariyasi asosida tishli g‘ildirak tishlarining egilish deformatsiyalari va vallarning egilish hamda burilish deformatsiyalari uchun analitik modellar ishlab chiqiladi. Bu modellar yuklama sharoitlari va material xususiyatlarining deformatsiyaga ta'sirini tezkor baholash imkonini beradi. Sonli modellashtirish uchun chekli elementlar usuli (FEM) keng qo‘llaniladi. ANSYS yoki Abaqus kabi tijorat dasturiy ta'minotlarida tishli g‘ildiraklar va vallarning 3D modellari yaratiladi. Material xususiyatlari anizotropik elastik model sifatida kiritiladi. Tishli g‘ildiraklar uchun tish ildizidagi stress konsentratsiyasi va kontakt deformatsiyalari, vallar uchun esa maksimal egilish va burilish deformatsiyalari tahlil qilinadi. Kontakt tahlili uchun sirtma-sirtma kontakt elementlari va submodellashtirish texnikasi qo‘llaniladi, bu esa tishli g‘ildirak tishlari orasidagi aniq kontakt stresslari va deformatsiyalarini aniqlashga imkon beradi. Chegaraviy shartlar va yuklamalar real ish sharoitlarini aks ettiradigan tarzda qo‘llaniladi. Eksperimental sinovlar universal sinov mashinasida o‘tkaziladi. Tishli g‘ildiraklar uchun bir tishli egilish sinovlari va to‘liq tishli g‘ildirakning yuklama ostidagi deformatsiyalarini o‘lchash uchun sinov stendlari ishlab chiqiladi. Vallar uchun uch nuqtali egilish va burilish sinovlari o‘tkaziladi. Deformatsiyalarni o‘lchash uchun deformatsiya datchiklari (strain gauges) va raqamli tasvir korrelyatsiyasi (DIC) usuli qo‘llaniladi. DIC usuli tishli g‘ildirak tishlari yuzasidagi to‘liq maydonli deformatsiya profillarini aniqlashga imkon beradi, bu esa stress konsentratsiyasi joylarini va potentsial buzilish zonalarini vizualizatsiya qilishda muhim ahamiyatga ega.



ISSN 3030-3907

Dinamik deformatsiya tahlili kompozit komponentlarning tebranish xususiyatlari, charchoqqa chidamliligi va zarba ta'siridagi xatti-harakatlarini o‘rganishga qaratilgan. Sonli modellashtirish doirasida, FEM yordamida modal tahlil o‘tkaziladi, bu kompozit tishli g‘ildiraklar va vallarning rezonans chastotalari va tebranish shakllarini aniqlashga imkon beradi. Harmonik tahlil yordamida esa turli chastotalardagi majburiy tebranishlar ostidagi deformatsiya javoblari baholanadi. Materialning ichki damping xususiyatlari Reyli damping modeli orqali hisobga olinadi. Dinamik kontakt tahlili tishli g‘ildirak tishlari orasidagi yuqori tezlikli o‘zaro ta'sir natijasida yuzaga keladigan dinamik stresslar va deformatsiyalarni o‘rganish uchun qo‘llaniladi . Carchoq tahlili uchun kompozit materiallar uchun mos keladigan charchoq modellari (masalan, Tsai-Wu yoki Hashin mezonlari asosida) FEM natijalari bilan birlashtiriladi, bu esa komponentlarning charchoq muddatini bashorat qilishga imkon beradi. Eksperimental sinovlar dinamik yuklama stendlarida o‘tkaziladi. Tishli g‘ildiraklar uchun pulsatsiyalanuvchi yoki siklik yuklamalar ostidagi charchoq sinovlari o‘tkaziladi, bu esa tish ildizidagi yoriqlar paydo bo‘lishini va rivojlanishini kuzatishga imkon beradi. Vallar uchun esa aylanuvchi egilish charchoq sinovlari va burilish tebranish sinovlari o‘tkaziladi. Dinamik deformatsiyalarni o‘lchash uchun yuqori chastotali deformatsiya datchiklari, lazerli vibrometriya va yuqori tezlikli kameralar qo‘llaniladi. Lazerli vibrometriya tebranish amplitudalari va chastotalarini kontaktsiz usulda aniq o‘lchash imkonini beradi. Akustik emissiya (AE) usuli materialdagi mikro-yoriqlar va delaminatsiyalar kabi shikastlanishlarning paydo bo‘lishi va rivojlanishini real vaqt rejimida kuzatish uchun qo‘llaniladi, bu esa charchoq buzilish mexanizmlarini chuqurroq tushunishga yordam beradi. Zarba yuklamalari ostidagi deformatsiyalarni baholash uchun Charpy yoki Izod sinovlari o‘tkaziladi, shuningdek, yuqori tezlikli zarba sinovlari uchun maxsus qurilmalar qo‘llaniladi.

Olingan ma'lumotlarni tahlil qilish va validatsiya qilish bosqichida, sonli modellashtirishdan olingan natijalar eksperimental ma'lumotlar bilan solishtiriladi. Bu modellarning aniqligini baholash va ularni kalibrlash uchun muhimdir. Statistik tahlil usullari (masalan, ANOVA, korrelyatsiya tahlili) eksperimental ma'lumotlardagi o‘zgaruvchanlikni baholash va turli omillarning deformatsiyaga ta'sirini aniqlash uchun qo‘llaniladi. Xatolik tahlili ham o‘tkaziladi.

Tadqiqot doirasida, ishlab chiqarish jarayonidagi nuqsonlar (masalan, bo‘shliqlar, tolalar noto‘g‘ri joylashuvi) va atrof-muhit omillarining (masalan, harorat, namlik) kompozit komponentlarning deformatsiya xususiyatlariga ta'siri ham baholanadi. Bu omillarning ta'sirini o‘rganish uchun FEM modellariga nuqsonlar kiritiladi va eksperimental sinovlar nazorat qilinadigan harorat va namlik



ISSN 3030-3907

sharoitida o‘tkaziladi. Masalan, harorat kameralarida sinovlar o‘tkazish orqali materialning termal-mexanik xususiyatlari va deformatsiyaga chidamliligining haroratga bog‘liqligi aniqlanadi.

Shuningdek, ushbu metodologiya ilg‘or hisoblash usullarini integratsiya qilishni ham o‘z ichiga oladi. Ko‘p o‘lchovli modellashtirish (multi-scale modeling) yondashuvi materialning mikro-tuzilishi (tolalar va matritsa o‘zaro ta'siri) va makro-darajadagi xatti-harakatlari o‘rtasidagi bog‘liqlikni hisobga olishga imkon beradi. Bu esa kompozit materiallarning geterogen xususiyatlarini aniqroq modellashtirish va deformatsiya mexanizmlarini chuqurroq tushunish uchun muhimdir. Kelajakda, yig‘ilgan eksperimental va sonli ma'lumotlar asosida sun'iy intellekt (AI) va mashinani o‘rganish (ML) usullarini qo‘llash rejalashtirilgan. Neyron tarmoqlar yordamida kompozit tishli g‘ildiraklar va vallarning turli yuklama sharoitlaridagi deformatsiya javoblarini va charchoq muddatini bashorat qilish uchun modellar ishlab chiqilishi mumkin. Bu esa dizayn jarayonini tezlashtirish va optimallashtirishga yordam beradi. Generativ dizayn va topologik optimallashtirish usullari yordamida kompozit tishli g‘ildiraklar va vallarning deformatsiyaga chidamliligini oshirish uchun optimal geometriyalar va tolalar joylashuvi aniqlanadi. Bu yondashuvlar materialning anizotrop xususiyatlarini maksimal darajada ishlatishga va engil, ammo yuqori samarali komponentlarni yaratishga imkon beradi.

Ushbu kompleks metodologiya kompozit materiallardan tayyorlangan tishli g‘ildiraklar va vallarning statik hamda dinamik yuklamalar ostidagi deformatsiyalarini har tomonlama tahlil qilish, ularning ishonchliligi va xizmat muddatini oshirish uchun fundamental bilimlar bazasini yaratishga qaratilgan. Olingan natijalar kompozit komponentlarning dizaynini optimallashtirish, ularning ekspluatatsion xususiyatlarini yaxshilash va yangi avlod quvvat uzatish tizimlarini yaratish uchun muhim asos bo‘lib xizmat qiladi.

**XULOSA.**

Ushbu tadqiqot kompozit materiallardan tayyorlangan tishli g‘ildiraklar va vallarning statik hamda dinamik yuklamalar ostidagi deformatsiyalarini nazariy, sonli va eksperimental yondashuvlar orqali har tomonlama tahlil qildi. CFRP, GFRP va gibrid kompozit komponentlarning mexanik xatti-harakatlari chuqur o‘rganilib, tolalar yo‘nalishi, matritsa xususiyatlari va ishlab chiqarish nuqsonlarining deformatsiya javoblariga sezilarli ta'siri aniqlandi. Ayniqsa, tish ildizidagi stress konsentratsiyasi va dinamik charchoq sharoitida material xususiyatlarining ahamiyati ta'kidlandi. Tadqiqot kompozit materiallarning yuqori damping xususiyatlarini tasdiqlab, tebranishlarni kamaytirishdagi rolini ko‘rsatdi. Olingan natijalar kompozit tishli g‘ildiraklar va vallarning dizaynini



ISSN 3030-3907

optimallashtirish, ularning ekspluatatsion xususiyatlarini yaxshilash hamda yangi avlod quvvat uzatish tizimlarini yaratish uchun muhim asos bo‘lib xizmat qiladi.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Abduraxmonov R.A., Xolmatov A.A., Xolmatov B.B. Kompozit materiallar asosidagi mashina detallarining mustahkamligini oshirish usullari. Fan va texnologiyalar taraqqiyoti, 2021, №4, B. 123-128. – https://journal.buxdu.uz/index.php/fntt
2. G‘ulomov Sh.M., Mirzayev N.A. Polimer kompozit materiallardan tayyorlangan tishli g‘ildiraklarning yuklama ostidagi deformatsion xususiyatlarini tadqiq qilish. Texnika fanlari, 2022, №3, B. 78-84. – https://journal.tdtu.uz/index.php/texnika
3. Isayev A.N., Karimova D.A. Kompozit vallarning statik va dinamik yuklamalardagi mustahkamlik tahlili. Mashinasozlik, 2023, №1, B. 45-51. – https://journal.adti.uz/index.php/mashinasozlik
4. Qodirov O.Q., Rahmatov S.R. Kompozit konstruksiyalarning deformatsiyasini tahlil qilishning zamonaviy usullari. O‘zbekiston Milliy universiteti xabarlari. Texnika fanlari seriyasi, 2020, №2, B. 60-66. – https://uzmu.uz/uz/ilmiy-faoliyat/ilmiy-jurnallar/ozbekiston-milliy-universiteti-xabarlari
5. To‘rayev Z.T., Sobirova G.S. Yuqori yuklamali mashina detallari uchun kompozit materiallarning mexanik xossalari. Innovatsion texnologiyalar, 2024, №1, B. 92-98. – https://journal.qmii.uz/index.php/innovatsiyalar
6. Xasanov F.X. Kompozit materiallardan tayyorlangan tishli uzatmalarning ishchanlik qobiliyatini oshirishning ilmiy asoslari. Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati. Toshkent: Toshkent davlat texnika universiteti, 2023. 24 b.
7. Bobojonov A.B., Mahmudov I.M. Kompozit materiallar mexanikasi va ularning mashinasozlikda qo‘llanilishi. Darslik. Toshkent: Fan nashriyoti, 2022. 320 b.
8. Nurmatov S.N., Usmonov D.U. Kompozit vallarning dinamik yuklamalardagi rezonans tebranishlari va deformatsiyalari. Qishloq xo‘jaligi mashinalari, 2021, №4, B. 33-39. – https://journal.tiiame.uz/index.php/qxm



ISSN 3030-3907