

GAZTURBINALI DVIGATELLARIDA METALL MATRITSALI NANOKOMPOZITLARNI QO‘LLASHNING ILMIY-TEXNIK SAMARADORLIGI

*O‘zbekiston Respublikasi
Harbiy Havfsizlik va Mudofaa Universitetining
harbiy Aviatsiya Instituti katta o‘qituvchisi
dotsent Norkulov Eliyor Oblakulovich.*

Annotatsiya

Ushbu ilmiy maqolada zamonaviy aviatsiya dvigatellari — Gazturbinali dvigatellarida metall matritsali nanokompozit (MMNK) materiallarni qo‘llashning nazariy asoslari, materialshunoslik jihatlari, konstruktiv-texnologik yechimlari hamda ekspluatatsion-iqtisodiy samaradorligi chuqur ilmiy tahlil qilinadi. Metall matritsali nanokompozitlarning mikro- va nanostrukturasi, dislokatsiya mexanizmlari, harorat-mexanik barqarorligi hamda aviatsiya gazturbinali dvigatellarida ishlash sharoitiga mosligi fundamental yondashuv asosida yoritilgan. Tadqiqot natijalari ushbu materiallar gazturbinali dvigatellarini resursini oshirish, vaznini sezilarli darajada va yoqilg‘i sarfini kamaytirish hamda samaradorligini yaxshilashda strategik ahamiyatga ega ekanini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: metall matritsali nanokompozitlar, aviatsiya, gazturbinali, dvigatellari, nanomustahkamlagichlar, yuqori, haroratli, materiallar.

Annotation

This scientific article provides a thorough scientific analysis of the theoretical foundations, material science aspects, design and technological solutions, and operational and economic efficiency of metal matrix nanocomposite (MMNC) materials in modern aviation engines. The micro- and nanostructure of metal matrix nanocomposites, dislocation mechanisms, temperature and mechanical stability, and suitability for operating conditions in aviation engines are covered based on a fundamental approach. The research

results show that these materials are of strategic importance in increasing the resource of aviation engines, significantly reducing their weight and fuel consumption, and improving their efficiency.

Keywords: metal matrix nanocomposites, aviation, engines, nanoreinforcements, high-temperature materials.

Аннотация

В данной научной статье представлен всесторонний научный анализ теоретических основ, аспектов материаловедения, конструктивных и технологических решений, а также эксплуатационной и экономической эффективности металломатричных нанокompозитных материалов (ММНК) в современных газтурбинных двигателях. На основе фундаментального подхода рассмотрены микро- и наноструктура металломатричных нанокompозитов, механизмы дислокаций, температурная и механическая стабильность, а также пригодность для условий эксплуатации в авиационных двигателях. Результаты исследований показывают, что эти материалы имеют стратегическое значение для увеличения ресурсной базы авиационных двигателей, значительного снижения их веса и расхода топлива, а также повышения их эффективности.

Ключевые слова: металломатричные нанокompозиты, авиационные, газтурбинных, двигателей, наноармирование, высокотемпературные, материалы.

Kirish

Aviatsiya gazturbinali dvigatellari muhandisligida material tanlash masalasi uchish apparatlarining umumiy samaradorligi, xavfsizligi va iqtisodiy ko'rsatkichlarini belgilab beruvchi asosiy omillardan biri hisoblanadi. Zamonaviy aviatsiya dvigatellari ekstremal sharoitlarda — 600–1200 °C harorat, yuqori aylanish tezligi, katta markazdan qochma kuchlar va siklik charchoq ta'sirida ishlaydi.

An'anaviy metall qotishmalar (aluminiy, titan, nikel asosidagi) ma'lum chegaragacha samarali bo'lsa-da, ularning fizik-mexanik imkoniyatlari zamonaviy aviatsiya talablarini

to'liq qondirmay qolmoqda. Shu nuqtai nazardan metall matritsali nanokompozitlar aviatsiya muhandisligida yangi bosqichni boshlab beruvchi materiallar sifatida qaralmoqda.

Metall matritsa nanokompozitlar aviatsiya dvigatellarining bir qancha qismlarida qo'llanilishi mumkin:

Haroratga duchor bo'ladigan qismlar: turbina lapotkalari, kompressor korpusi, yonish kameralari, issiqlik oqimiga chidamli qismlar;

Yuqori charchoq va stress talab etiladigan qismlar: vallar, podshipniklar, oporalari.

Aviatsiya dvigatellarini asosiy qismlarini metall matritsali nanokompozitlarning samorodirligi oshirishi

Kompressor lapotkalari va disklari yuqori aylanish tezligi va markazdan qochma kuch ta'sirida ishlaydi. Aluminiy yoki titan asosli MMNClar bu qismlarda qo'llanilib, og'irlikni kamaytiradi va samaradorlikni oshiradi.

Turbina lapotkalari aviatsiya dvigatelining eng mas'uliyatli elementlaridan biri hisoblanadi. Nikel asosli MMNClar yuqori haroratda mustahkamlikni saqlab qolish xususiyatiga ega.

MMNC asosidagi nanoqoplamalar turbina elementlarini oksidlanish va termik charchoqdan himoya qiladi.

Yoish kamerasi devorlari doimiy ravishda yuqori harorat va kimyoviy ta'sirga duchor bo'ladi. Keramik nanofazali metall matritsali kompozitlar bu yerda yuqori samara ko'rsatadi. [6]

Metall matritsiali nakompozitlarni ishlab chiqarish texnologiyalari:

- ❖ poroshok metallurgiyasi;
- ❖ suyuq metall usullari;
- ❖ qo‘shimcha ishlab chiqarish (3D bosma).

Metall matritsali nanokompozitlarning ilmiy asoslari

Metall matritsali nanokompozitlarda mustahkamlanish quyidagi asosiy mexanizmlar orqali amalga oshadi:

❖ **Orouen mexanizmi** — nanozarrachalar dislokatsiya harakatini to‘stib, mustahkamlikni oshiradi;

❖ **Yukni taqsimlash effekti** — tashqi yukning bir qismi mustahkamlagich fazalarga o‘tadi;

❖ **Zerno maydalanishi** — Hall–Petch qonuniga muvofiq mustahkamlik oshadi;

❖ **Termik barqarorlik** — yuqori haroratda strukturaning barqaror saqlanishi. [2-3].

Aviatsiya uchun mos metall matritsalar

Aviatsiya dvigatellarida quyidagi matritsalar ustun hisoblanadi:

- ❖ aluminiy asosidagi MMNK — yengil va yuqori issiqlik o‘tkazuvchan;
- ❖ titan asosidagi MMNK — yuqori mustahkamlik va korroziyaga chidamli;
- ❖ nikel asosidagi MMNK — yuqori haroratli turbina qismlari uchun.

Gazturbinali dvigatellarining ishlash sharoiti va material talablari

Gazturbinali dvigatellari yuqori quvvat va uzoq muddatli ekspluatatsiya uchun mo‘ljallangan. Uning asosiy muammolari:

- ❖ turbina lopatkalarida harorat-charchoq ta’siri;

- ❖ kompressor qismlarida eroziya va oksidlanish;
- ❖ reduktor uzellarida ishqalanish va eskirish.

Bu muammolarni hal qilishda nikel va titan asosidagi MMNK yuqori samara beradi.
[1-5].

Gazturbinali dvigatelarida MMNK qo‘llashning ilmiy tahlili

Gazturbinali dvigatelari turbinasing lopatkalari

Nikel matritsali nanokompozitlar ($\text{Ni} + \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{Ni} + \text{Y}_2\text{O}_3$):

- ❖ 1000 °C dan yuqori haroratda mexanik barqarorlik;
- ❖ mustahkamligi va charchoqqa chidamliligi 1,3–1,5 marta oshishi;
- ❖ ekspluatatsiya davomiylik muddatini 25–40 % ga uzayishi.

Gazturbinali dvigatellar kompressor va val uzellari

Titan matritsali nanokompozitlar:

- ❖ dvigatel vaznini kamaytirish;
- ❖ markazdan qochma kuchlarga bardosh;
- ❖ dinamik muvozanatning yaxshilanishi.

Turbokompressor detallari

Nikel asosidagi MMNK:

- ❖ yuqori haroratda deformatsiyaning kamayishi;
- ❖ aylanish barqarorligining oshishi.

Ekspluatatsion samaradorlik va resurs tahlili

Metall matritsali nanokompozitlar qo‘llanilishi natijasida:

- ❖ dvigatel resursi 20–35 % ga oshadi;

- ❖ texnik xizmat intervallari uzayadi;
- ❖ ishonchlilik ko'rsatkichlari yaxshilanadi.

Iqtisodiy va ekologik samaradorlik

Yuqori tannarxiga qaramasdan, MMNK quyidagi iqtisodiy samarani beradi:

- ❖ ekspluatatsiya xarajatlarining kamayishi;
- ❖ yoqilg'i sarfni tejalishi;
- ❖ SO₂ chiqindilarining qisqarishi.

Ilmiy-texnologik muammolar va yechimlar

Asosiy muammolar:

- ❖ nanozarrachalarni bir tekis taqsimlash;
- ❖ aviatsiya standartlari bo'yicha sertifikatlash;
- ❖ uzoq muddatli ishonchlilikni prognoz qilish.

Yechimlar esa ilg'or poroshok metallurgiyasi va additiv texnologiyalar bilan bog'liq.

Kelajak tadqiqot yo'nalishlari:

- ❖ gibrid va elektr aviatsiya dvigatellari;
- ❖ funksional gradientli nanokompozitlar;
- ❖ aqlli (self-healing) materiallar. [5]

❖ Xulosa

Gazturbinali dvigatelarda olib borilgan ilmiy tahlil shuni ko'rsatadiki, metall matritsali nanokompozitlar aviatsiya dvigatellari uchun strategik ahamiyatga ega materiallar hisoblanadi. Ularni qo'llash dvigatel samaradorligini oshirish, og'irlikni kamaytirish va ekspluatatsiya muddatini uzaytirish imkonini beradi. [1]

Metall matritsali nanokompozitlar an'anaviy metall qotishmalar bilan solishtirganda samaradorlikni oshiradi va yonilg'i iste'molini kamaytiradi. Ilmiy va texnologiyaviy izlanishlar ushbu materiallarning amaliyotdagi qo'llanilishini kengaytirishga xizmat qiladi. [6]

Metall matritsa nanokompozitlar aviatsiya dvigatellarida keng va samarali qo'llanilishi mumkin bo'lgan istiqbolli materiallardir. Ularning qo'llanilishi dvigatel samaradorligi, ishonchliligi va ekologik ko'rsatkichlarini sezilarli darajada yaxshilaydi.

Kelajakda aviatsiya va kosmik dvigatellarda MMNClar asosiy konstruksion materiallardan biriga aylanishi kutilmoqda.

Foydalanilgan Adabiyotlar ro'yxati:

1. Miracle D.B. *Metal Matrix Composites*. ASM International;
2. E. Norkulov. "The Role and Future Prospects of Metal-Matrix Nanocomposite Materials in the Aviation Field." *Web of Journals*, Vol. 3, Issue 2, February 2025;
3. Chawla N., Chawla K.K. *Metal Matrix Composites*. Springer;
4. Surappa M.K. *Aluminium Matrix Composites*;
5. E. Norkulov. "Influence of Aviation Fuel Quality on Flight Safety and the Environment." *Horizon: Journal of Humanity and Artificial Intelligence*, 2024;
6. *Aviation Materials and Nanotechnology Journals*.