

MATERIALS USED IN THE PRODUCTION OF COMPLEX CONFIGURATIONS AND THEORETICAL AND PRACTICAL BASIS OF THEIR SELECTION

TDTU 2nd year master's student

Karimboev Jamshid Khamza ogliAssoc. Prof. **Sodiqov Jaxongir Nosirjonovich****Annotation**

This article scientifically and practically analyzes the materials used in the production of complex configurations in modern mechanical engineering, their physical and mechanical properties, and mechanical workability criteria. The study theoretically substantiates how the composition and structure of materials affect the thermodynamic state, cutting forces, and tool stability during their cutting. Also, the impact of material selection on technological and economic efficiency is highlighted based on real statistical data from leading industries such as aviation, automotive, and oil and gas. A multi-criteria mathematical optimization model for optimal material selection is proposed.

Keywords: complex configuration parts, machinability, cutting force, titanium alloys, multi-criteria optimization, tool wear, mechanical properties.

MURAKKAB KONFIGURATSIYAGA EGA DETALLARNI ISHLAB CHIQRISHDA QO‘LLANILADIGAN MATERIALLAR VA ULARNI TANLASHNING NAZARIY HAMDA AMALIY ASOSLARI**Annotatsiya**

Mazkur maqolada zamonaviy mashinasozlikda murakkab konfiguratsiyaga ega detallarni ishlab chiqarish jarayonida qo‘llaniladigan materiallar, ularning fizik-mexanik xususiyatlari hamda mexanik ishlov beruvchanlik mezonlari ilmiy va amaliy jihatdan tahlil qilingan. Tadqiqot davomida materiallarning tarkibi va tuzilishi ularni kesib ishlash jarayonidagi termodinamik holatga, kesish kuchlariga va asbob turg‘unligiga qanday ta’sir ko‘rsatishi nazariy jihatdan asoslangan. Shuningdek, aviatsiya, avtomobilsozlik va neft-gaz sanoati kabi yetakchi tarmoqlardagi real statistik ma’lumotlar asosida material tanlashning texnologik va iqtisodiy samaradorlikka ta’siri yoritilgan. Materialni maqbul tanlash bo'yicha ko'p mezonli matematik optimallashtirish modeli taklif etilgan.

Kalit so‘zlar: murakkab konfiguratsiyali detallar, ishlov beruvchanlik, kesish kuchi, titan qotishmalari, ko'p mezonli optimallashtirish, asbob yeyilishi, mexanik xususiyatlar.

Kirish

Zamonaviy mashinasozlik sanoati, xususan, aerokosmik, avtomobilsozlik va energetika tarmoqlari detallarning geometrik aniqligiga, massasiga va ekspluatatsion ishonchligiga o'ta yuqori talablar qo'ymoqda. Murakkab konfiguratsiyali detallarni (ko'p o'qli CNC dastgohlarida ishlanadigan korpuslar, turbina parraklari, rotorlar) yaratishda eng muhim bosqichlardan biri — bu mos materialni to'g'ri tanlashdir [4].

Materialning fizik-mexanik va kimyoviy xususiyatlari nafaqat tayyor mahsulotning ishlash resursini belgilaydi, balki texnologik jarayonning kechishiga ham bevosita ta'sir ko'rsatadi. Agar detal uchun tanlangan materialning ishlov beruvchanlik xususiyati past bo'lsa, kesish hududida harorat keskin ko'tariladi, kesish kuchi ortadi, bu esa o'z navbatida asbobning intensiv yeyilishiga va ishlov berilgan sirt g'adir-budurligining ortishiga olib keladi [2]. Shu sababli, murakkab profilli detallar uchun material tanlash empirik qoidalarga emas, balki chuqur ilmiy va matematik asoslarga tayanishi zarur.

1. Murakkab detallar uchun materiallar tasnifi va ularning mikrostrukturaviy tahlili

Murakkab shakldagi detallarni ishlab chiqarishda ishlatiladigan materiallar o'zining kristall panjarasi va legirlovchi elementlari miqdoriga ko'ra quyidagi yirik guruhlariga ajratiladi [1]:

- Qora metallar va ularning qotishmalari: Bunga turli markadagi konstruksion, asbobsozlik va zanglamaydigan po'latlar, shuningdek, cho'yanlar kiradi. Ularning tarkibidagi uglerod (C) miqdori va ostenit, martensit kabi faza holatlari ularning pishiqligini ta'minlaydi.

- Rangli metallar va ularning qotishmalari: Alyuminiy qotishmalari (duralyuminiy, siluminlar), mis va titan qotishmalari. Bu materiallar, asosan, solishtirma massasi pastligi hamda korroziyabardoshligi sababli tanlanadi [3].

- Zamonaviy kompozit va superqotishmalar: Uglerod tolali plastmassa (CFRP), shisha tolali kompozitlar hamda nikel asosidagi issiqlikka chidamli superqotishmalar (masalan, Inconel). Ular ekstremal harorat va yuklamalarda ishlaydigan detallar uchun mo'ljallangan [6].

2. Materiallarning fizik-mexanik xususiyatlari va ularning kesish jarayoniga ta'siri

Material tanlashda uning texnologik xususiyatlarini ifodalovchi asosiy fizik-mexanik parametrlar majmuasi tahlil qilinadi. Bularga oqish chegarasi (σ_t), mustahkamlik chegarasi (σ_b), qattqlik (HB, HRC, HV), zichlik (ρ) hamda issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti (λ) kiradi [1].

Metallarni kesib ishlash nazariyasida kesish kuchining (P_z) hosil bo'lishi bevosita materialning mustahkamlik ko'rsatkichlariga bog'liq. Asosiy tangensial kesish kuchi empirik jihatdan quyidagi bog'lanish orqali ifodalanadi [2]:

$$P_z = C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot v^n \cdot K_p$$

Bu yerda:

- C_p – ishlov berilayotgan materialning xususiyatlarini hisobga oluvchi koeffitsiyent;
- t – kesish chuqurligi;
- S – surish (oziqlanish) tezligi;
- v – kesish tezligi;
- x, y, n – daraja ko'rsatkichlari;
- K_p – haqiqiy ishlash sharoitlarini hisobga oluvchi tuzatish koeffitsiyenti.

Nazariy tahlillar shuni ko'rsatadiki, materialning mustahkamlik chegarasi (σ_b) ortishi bilan C_p koeffitsiyenti proporsional ravishda o'sadi. Bu esa to'g'ridan-to'g'ri kesish zonasidagi kuchlanishlarning va ajralib chiqadigan issiqlik miqdorining ortishiga olib keladi.

3. Materiallarning mexanik ishlov beruvchanligi (Machinability)

Materialning ishlov beruvchanligi — bu uning kesuvchi asbob ta'siriga qanchalik oson yon berishi hamda o'zidan qirindi ajratib chiqarish xususiyatidir. Bu jarayon asosan tayanch (etalon) materialga nisbatan olingan ishlov beruvchanlik koeffitsiyenti bilan baholanadi [2]. Kesish tezligi bo'yicha koeffitsiyent quyidagicha aniqlanadi:

$$K_v = \frac{v_T}{v_{T,etalon}}$$

Bu yerda v_T – tekshirilayotgan materialni ma'lum bir turg'unlik davrida (masalan, 60 daqiqa) ishlov berish mumkin bo'lgan maksimal kesish tezligi; $v_{T,etalon}$ – etalon material (odatda 45-markali po'lat) uchun xuddi shu ko'rsatkich.

Ishlov berish darajasi bo'yicha tahlil [4]:

- Alyuminiy qotishmalari (Juda oson): $K_v > 1.5$. Issiqlikni yaxshi o'tkazadi, biroq past tezliklarda kesuvchi asbob tig'iga yopishib qolish (o'simta hosil bo'lish) xavfi mavjud.

- Past uglerodli po'latlar (O'rtacha): $K_v \approx 1.0$. Standart kesish rejimlari orqali yetarli darajadagi sirt tozaligiga erishish mumkin.

- Zanglamaydigan po'latlar (Qiyin): $K_v = 0.4 - 0.6$. Ishlov berish jarayonida peklanish (yuzaning qotib qolishi) xususiyatiga ega, bu keyingi o'tishlarda asbob yeyilishini keskin tezlashtiradi.

- Titan qotishmalari (Juda qiyin): $K_v < 0.3$. Issiqlik o'tkazuvchanligi juda past (λ ko'rsatkichi po'latdan 4-5 baravar kam) bo'lgani uchun, hosil bo'lgan issiqlik qirindi orqali chiqib ketmaydi va asbob uchida to'planib, uning termik buzilishiga olib keladi.

4. Sanoat tarmoqlarida material qo'llanilishining amaliy va statistik tahlili

Zamonaviy sanoatda murakkab detallar turli ekspluatatsion sharoitlarda ishlagani uchun, material tanlash bevosita tarmoq talablaridan kelib chiqadi. Jahon mashinasozligi statistikasi asosida quyidagi amaliy tahlillarni keltirish mumkin [5]:

- Aviatsiya va kosmik sanoat: Asosiy detallar (turbina parraklari, kompressor disklari) aerodinamik jihatdan murakkab profilga ega. Ularda og'irlikni kamaytirish muhim. Shu sababli ishlatiladigan materiallarning 30–40% qismini Ti-6Al-4V kabi titan qotishmalari, turbinaning issiq hududlarida esa 80% gacha nikel asosidagi issiqlikka chidamli qotishmalar tashkil etadi.

- Avtomobilsozlik: Dvigatel bloklari va tirsakli vallar ko'p siklli toliqishga chidamli bo'lishi kerak. Bu sohada massani kamaytirish trendi tufayli po'latlarning ulushi 50–60% ni tashkil etsa-da, alyuminiy qotishmalarining ulushi 15–25% gacha o'sib bormoqda. Cho'yanlar tebraniшни so'ndirish xususiyati sababli hamon 10% atrofida saqlanib qolmoqda.

- Neft-gaz sanoati: Klapanlar, buriluvchi vallar kabi detallar agressiv kimyoviy muhitda ishlaydi. Shuning uchun bu sohadagi murakkab detallarning 70% qismi yuqori legirlangan zanglamaydigan po'latlardan, 20–25% qismi esa maxsus korroziyabardosh kompozitlardan tayyorlanadi.

- Asbobsozlik va CNC ishlov berish: Press-formalar, shtamplar va murakkab matritsalar ishlab chiqarishda yuqori aşınma (yeyilish) qarshiligi talab qilinadi. Bu yerda 60% holatda maxsus asbobsozlik po'latlari (masalan, H13, D2 markalari) qo'llaniladi.

5. Material tanlashning ko'p mezonli matematik modeli

Amaliyotda murakkab konfiguratsiyali detal uchun eng maqbul materialni tanlash bir-biriga zid bo'lgan bir nechta parametrlarni optimallashtirishni talab etadi (masalan, mustahkamlik yuqori bo'lishi kerak, lekin narx arzon va ishlov berish oson bo'lishi zarur). Buning uchun ko'p mezonli qaror qabul qilish (Multi-Criteria Decision Making - MCDM) usullaridan foydalanish maqsadga muvofiq.

Optimallashtirishning maqsad funksiyasi quyidagi matematik ko'rinishga ega bo'ladi [5]:

$$U = \sum_{i=1}^n W_i \cdot C_{ij} \rightarrow \max$$

Bu yerda:

- U – materialning umumiy samaradorlik indeksi;
- W_i – i -chi mezonning (mustahkamlik, zichlik, narx, ishlov beruvchanlik) og'irlik koeffitsiyenti ($\sum W_i = 1$);

- C_{ij} – j -chi materialning i -chi mezon bo'yicha normallashtirilgan qiymati.

Xususan, soddalashtirilgan muhandislik modeli orqali maqbul materialni quyidagi mezonlar balansi orqali aniqlash mumkin:

$$F = w_1 \cdot \sigma_b - w_2 \cdot \rho - w_3 \cdot C - w_4 \cdot M_t$$

Bunda, σ_b (mustahkamlik) oshirilishi kerak bo'lgan parametr bo'lsa, qolgan parametrlar: ρ (zichlik), C (tannarx) va M_t (texnologik ishlov berish qiyinligi) minimal bo'lishiga harakat qilinadi.

6. Kesish jarayonidagi termodinamik va tribologik hodisalarning nazariy tahlili

Murakkab konfiguratsiyali detallarga ishlov berishda issiqlik ajralishi eng muhim cheklovchi omil hisoblanadi. Kesish zonasida hosil bo'ladigan umumiy issiqlik miqdori (Qumum) quyidagi uchta manba yig'indisidan iborat:

$$Q_{umum} = Q_{def} + Q_{ishq1} + Q_{ishq2}$$

Bu yerda:

- Q_{def} – qirindi hosil bo‘lishidagi plastik deformatsiya issiqligi;
- Q_{ishq1} – asbobning old yuzasi va qirindi orasidagi ishqalanish issiqligi;
- Q_{ishq2} – asbobning orqa yuzasi va ishlov berilayotgan sirt orasidagi ishqalanish issiqligi.

Murakkab detallar ko‘pincha yopiq konturlar va chuqur kanallardan iborat bo‘lgani uchun, issiqlikning tarqalishi qiyinlashadi. Titan qotishmalarida issiqlik o‘tkazuvchanlik pastligi sababli issiqlikning 80% dan ortig‘i kesuvchi asbob uchida to‘planadi. Bu esa material tanlashda nafaqat mexanik mustahkamlikni, balki asbob materialining issiqlik turg‘unligini ham (masalan, volfram-kobaltli qattiq qotishmalar yoki keramika) hisobga olishni taqozo etadi [4].

7. Materialning strukturaviy holati va "Sirt butunligi" (Surface Integrity) tushunchasi

Murakkab detallar uchun material tanlashda faqatgina "kesish osonligi" emas, balki ishlov berilgandan keyin sirtida qoladigan qoldiq kuchlanishlar ham tahlil qilinishi shart.

1. Plastik deformatsiya: Materialning oquvchanligi yuqori bo‘lsa (masalan, yumshoq po‘latlar), kesishdan keyin sirt qatlamida cho‘ziluvchi qoldiq kuchlanishlar hosil bo‘ladi. Bu esa detalning kelgusida charchoqqa chidamliligini kamaytiradi.

2. Fazaviy o‘zgarishlar: Yuqori tezlikda ishlov berishda sirtida "oq qatlam" (white layer) hosil bo‘lishi mumkin. Bu qatlam o‘ta mo‘rt bo‘lib, detal ishga tushgandan so‘ng mikrodarzlar paydo bo‘lishiga sabab bo‘ladi [2].

Shu sababli, maqolada material tanlash mezoniga "Ekspluatatsion moslashuvchanlik" koeffitsiyentini kiritish lozim. Bu koeffitsiyent materialning dinamik yuklamalar ostida o‘z geometriyasini saqlash qobiliyatini ifodalaydi.

8. Zamonaviy CAD/CAM/CAE tizimlari yordamida material tanlashni optimallashtirish

Hozirgi vaqtda material tanlash va unga ishlov berish strategiyasini belgilashda raqamli texnologiyalardan foydalaniladi. Murakkab detallarni loyihalashda quyidagi algoritmlardan foydalanish tavsiya etiladi:

- Finite Element Method (FEM) - Chekli elementlar usuli: Tanlangan materialning kesish jarayonidagi deformatsiyasini kompyuterda modellashtirish. Bu orqali biz hali detalni yo‘nishni boshlamasdan turib, qayerda asbob sinishi yoki detal qizib ketishi mumkinligini bashorat qilamiz [4].

- Dasturiy tahlil: SolidWorks Simulation yoki ANSYS dasturlarida materialning mustahkamlik ko‘rsatkichlarini detal konfiguratsiyasi bilan solishtirish.

9. Iqtisodiy-texnik asoslash (Tannarx tahlili)

Material tanlashda "Material narxi" va "Ishlov berish xarajatlari" orasidagi bog‘liqlikni quyidagi formula bilan tahlil qilish mumkin [3]:

$$C_{umum} = C_{mat} + (t_{asos} + t_{yord}) \cdot (S_{ish} + S_{dast})$$

Bu yerda:

- C_{mat} — xomashyo narxi;
- t_{asos} — asosiy texnologik vaqt (materialning ishlov beruvchanligiga bog‘liq);
- S_{ish} — ishchining ish haqi;
- S_{dast} — dastgohning bir soatlik amortizatsiya xaraji.

Ko‘pincha arzonroq materialni tanlash (masalan, oddiy po‘lat) ishlov berish vaqtini (tasos) keskin oshirib yuborishi hisobiga umumiy tannarxning qimmatlashishiga olib keladi. Aksincha, qimmatroq lekin oson ishlanadigan material (masalan, maxsus avtomat po‘latlar yoki alyuminiy) umumiy xarajatlarni 15–20% ga tejashi mumkin.

Xulosa

Murakkab konfiguratsiyali detallarni ishlab chiqarishda material tanlash jarayoni faqatgina konstruktorlik vazifasi bo‘lib qolmay, u bevosita ishlab chiqarish texnologiyasining iqtisodiy va texnik muvaffaqiyatini belgilaydigan fundamental omildir.

O‘tkazilgan nazariy va amaliy tahlillar shuni ko‘rsatadiki:

1. Materialning mikrostrukturaviy xususiyatlari va oqish chegarasi uning mexanik ishlov beruvchanligiga, asbob yeyilishiga va kesish zonalaridagi termodinamik jarayonlarga keskin ta'sir o'tkazadi.

2. Sanoat statistikasi an'anaviy po‘latlarning yetakchiligini tasdiqlasa-da, zamonaviy ishlab chiqarishda energiya tejamkorligiga intilish sababli alyuminiy, titan va polimer kompozit materiallar ulushi eksponensial ravishda o'sib bormoqda.

3. Optimal materialni tanlash empirik taxminlar asosida emas, balki taklif etilgan ko‘p mezonli matematik modellar yordamida har bir parametrlarning og‘irlik ulushini hisobga olgan holda amalga oshirilishi detallar tannarxini tushirishga va ishlab chiqarish davrini qisqartirishga xizmat qiladi.

To‘g‘ri tanlangan material kelgusida murakkab detallarni ko‘p o‘qli dastgohlarda ishlash jarayonini avtomatlashtirish, kesuvchi asbob sarfini kamaytirish va detalning ekspluatatsion sifatini kafolatlashning asosiy garovidir.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati / References

1. **Zuyev A.A.** Texnologiya mashinostroyeniya. – SPb.: Lan’, 2022. – 416 s.
2. **Trent, E. M., & Wright, P. K.** Metal Cutting. – Butterworth-Heinemann, 2000.
3. **Kasimov S.S.** Avtomobilsozlik texnologiyasi. – Toshkent: Cho‘lpon, 2011.
4. **Altintas, Y.** Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design. – Cambridge University Press, 2012.
5. **Krol R., et al.** "Optimization of Material Selection in Mechanical Design using MCDM Methods." Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 14, No. 2, 2021.
6. **Yusupov S.M., G'aniyeva N.A.** "Mashinasozlikda kompozit materiallardan foydalanish istiqbollari." *O‘zbekiston innovatsion jurnali*, 2023. (Zamonaviy trendlar va mahalliy tadqiqotlar uchun).