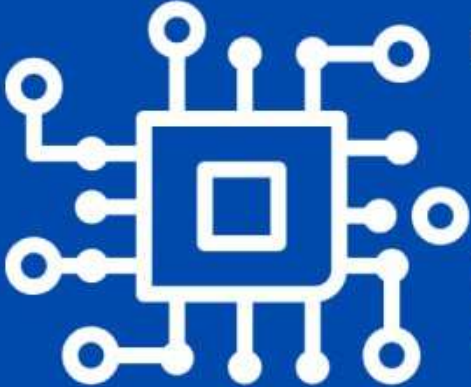




TECH SCIENCE

ISSN 3030-3702

**TEXNIKA FANLARINING
DOLZARB MASALALARI**

**TOPICAL ISSUES OF TECHNICAL
SCIENCES**



№ 10 (3) 2025

TECHSCIENCE.UZ

№ 10 (3)-2025

**TEXNIKA FANLARINING DOLZARB
MASALALARI**

**TOPICAL ISSUES
OF TECHNICAL SCIENCES**

TOSHKENT-2025

BOSH MUHARRIR:

KARIMOV ULUG'BEK ORIFOVICH

TAHRIR HAY'ATI:

Usmankulov Alisher Kadirkulovich - Texnika fanlari doktori, professor, Jizzax politexnika universiteti

Fayziyev Xomitxon – texnika fanlari doktori, professor, Toshkent arxitektura qurilish instituti;

Rashidov Yusuf Karimovich – texnika fanlari doktori, professor, Toshkent arxitektura qurilish instituti;

Adizov Bobirjon Zamirovich– Texnika fanlari doktori, professor, O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti;

Abdunazarov Jamshid Nurmuxamatovich - Texnika fanlari doktori, dotsent, Jizzax politexnika universiteti;

Umarov Shavkat Isomiddinovich – Texnika fanlari doktori, dotsent, Jizzax politexnika universiteti;

Bozorov G'ayrat Rashidovich – Texnika fanlari doktori, Buxoro muhandislik-texnologiya instituti;

Maxmudov Muxtor Jamolovich – Texnika fanlari doktori, Buxoro muhandislik-texnologiya instituti;

Asatov Nurmuxammat Abdunazarovich – Texnika fanlari nomzodi, professor, Jizzax politexnika universiteti;

Mamayev G'ulom Ibroximovich – Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), Jizzax politexnika universiteti;

Ochilov Abduraxim Abdurasulovich – Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), Buxoro muhandislik-texnologiya instituti.

OAK Ro'yxati

Mazkur jurnal O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasi Rayosatining 2025-yil 8-maydagi 370-son qarori bilan texnika fanlari bo'yicha ilmiy darajalar yuzasidan dissertatsiyalar asosiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan.

Muassislar: "SCIENCEPROBLEMS TEAM" mas'uliyati cheklangan jamiyati;
Jizzax politexnika insituti.

**TECHSCIENCE.UZ- TEXNIKA
FANLARINING DOLZARB**

MASALALARI elektron jurnali
15.09.2023-yilda 130343-sonli
guvohnoma bilan davlat ro'yxatidan
o'tkazilgan.

TAHRIRIYAT MANZILI:

Toshkent shahri, Yakkasaroy tumani, Kichik
Beshyog'och ko'chasi, 70/10-uy.
Elektron manzil:
scienceproblems.uz@gmail.com

Barcha huqular himoyalangan.

© Sciencesproblems team, 2025-yil

© Mualliflar jamoasi, 2025-yil

MUNDARIJA

<i>Seytov Aybek, Qutlimuradov Yusup</i> IQTISODIYOT TARMOQLARIDA SUV ISTE'MOLINING O'ZGARISH QONUNIYATLARINI KORRELYATSION VA REGRESSION TAHLIL QILISH	4-11
<i>Mirjalolova Nargiza</i> SIMSIZ SENSOR TARMOQLARIDA TUGUNLARNI TANLASH USULLARI	12-17
<i>Khonturaev Sardorbek, Qayumov Arslonbek</i> ACCURATE REAL-TIME TRACKING IN GEOLOGY: A DATA-DRIVEN APPROACH	18-21
<i>Rakhmonov Zafar, Urunbaev Jasur</i> NUMERICAL SOLUTION OF THE MULTIDIMENSIONAL CROSS-DIFFUSION PROBLEM WITH NONLINEAR BOUNDARY CONDITIONS	22-28
<i>Jo'rayev Tuychi, Safarov Laziz</i> MOBIL ILOVALAR UCHUN MA'LUMOTLAR BAZASINI SHAKLLANTIRISHDA BULUTLI TEKNOLOGIYALAR INTEGRATSIYASINI TA'MINLASH MUAMMOLARI	29-36
<i>Zhang Hongzhi</i> COMPARATIVE ANALYSIS OF POTATO DISEASE LEAF IMAGE DENOISING METHODS BASED ON MATLAB	37-44
<i>Xolmurodov Abdulxamid, Quzratov Muxriddin</i> G'OVAK ANIZOTROP MUHITTA SIRT TO'LQINLARINING TARQALISHI VA UNING MATEMATIK MODELLARI	45-49
<i>Jonuzoqov Sardor</i> AL-CR-NI ASOSIDAGI YUQORI ENTROPIYALI QOTISHMALARNING MIKROSTRUKTURAVIY, FAZAVIY VA MEXANIK XOSSALARI TAHLILI	50-55
<i>Abdullabekova Dilafruz, Kutbidinov Odiljon</i> APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR ONLINE MONITORING AND DIAGNOSTICS OF POWER TRANSFORMERS	56-62
<i>Jononova Shaxzoda</i> HARBIYLAR UCHUN POYABZAL KONSTRUKTSIYASINI TAKOMILLASHTIRISH	63-67
<i>Usanova Farzona, Asomiddinov Elbek, Sharifova Lola</i> KREMNIYORGANIK BIRIKMA BILAN ISHLOV BERILGAN SUV VA CHANG YUQTIRMAYDIGAN INNOVATSION MATO VA CHARM XOSSALARI	68-71
<i>Abdirazakov Akmal, Umarqulov Jabborbek</i> KONLARDAN NEFT VA GAZNI QAZIB OLISH KO'RSATGICHLARIGA TA'SIR QILUVCHI OMILLARNI O'RGANISH	72-80

AL-CR-NI ASOSIDAGI YUQORI ENTROPIYALI QOTISHMALARNING MIKROSTRUKTURAVIY, FAZAVIY VA MEXANIK XOSSALARI TAHLILI

Jonuzoqov Sardor Yusupovich

Tashkent davlat texnika universitetining mustaqil tadqiqotchisi

Email: sardor88@gmail.com

Tel: +998906095117

Annotatsiya. Mazkur maqolada alyuminiy-xrom-nikel (Al-Cr-Ni) asosidagi yuqori entropiyali qotishmalarning fazaviy tuzilishi, termodinamik va mikrostrukturaviy xususiyatlari chuqur tahlil qilindi. Tadqiqot natijalariga ko'ra, qotishma ikki asosiy fazadan B2 (Al-Ni boy) va FCC (Cr-Ni boy) fazalardan tashkil topgan. Ushbu fazalar o'zaro mustahkamlovchi rol o'ynaydi, natijada qattqlik 900 HV gacha yetadi. Oksidlanish va issiqlikka bardoshlilik 1200°C gacha saqlanib, Al_2O_3 va Cr_2O_3 himoya qatlamlari hosil bo'lishi orqali ta'minlanadi. Shuningdek, issiqlik ishlov berish jarayonlari natijasida strukturaviy barqarorlik oshishi aniqlangan. Ushbu qotishmalar yuqori haroratli turbinalar, yadro va kimyo sanoatida istiqbolli material sifatida tavsiya etiladi.

Kalit so'zlar: Al-Cr-Ni qotishmalari, yuqori entropiyali tizim, mikrostrukturaviy tahlil, B2 faza, FCC faza, oksidlanish, issiqlikka bardoshlilik.

AL-CR-NI ASOSIDAGI YUQORI ENTROPIYALI QOTISHMALARNING MIKROSTRUKTURAVIY, FAZAVIY VA MEXANIK XOSSALARI TAHLILI

Jonuzoqov Sardor Yusupovich

Independent Researcher, Tashkent State Technical University

Annotation. This paper presents a comprehensive analysis of the phase structure, thermodynamic properties, and microstructural behavior of high-entropy Al-Cr-Ni alloys. The alloy primarily consists of two phases: the ordered B2 (Al-Ni rich) phase and the face-centered cubic (FCC, Cr-Ni rich) phase. These phases act as mutual strengthening components, resulting in hardness values up to 900 HV. Excellent oxidation and heat resistance up to 1200°C are achieved through the formation of protective Al_2O_3 and Cr_2O_3 layers. Heat treatment improves structural stability without significant degradation. Due to their superior thermal and mechanical properties, Al-Cr-Ni alloys are promising candidates for high-temperature turbine blades, nuclear components, and chemical reactors.

Keywords: Al-Cr-Ni alloys, high-entropy system, microstructural analysis, B2 phase, FCC phase, oxidation resistance, heat resistance.

DOI: <https://doi.org/10.47390/ts-v3i10y2025No8>

Kirish.

So'nggi yillarda yuqori entropiyali qotishmalar (High-Entropy Alloys, HEA) zamonaviy materialshunoslikda eng istiqbolli tadqiqot yo'nalishlaridan biri sifatida e'tirof etilmoqda. Mazkur sinfga mansub alyuminiy-xrom-nikel (Al-Cr-Ni) qotishmalari o'zining yuqori haroratdagi barqarorligi, korroziyaga chidamliligi va mexanik mustahkamligi bilan ajralib turadi [1; 12-14-b.]. Bu uch elementli tizim aerokosmik sanoat, energetika, kimyo texnologiyasi hamda plazma qurilmalari ishlab chiqarish sohalarida keng qo'llanilmoqda [2; 7-8-b.]. So'nggi yillarda metallshunoslik sohasida yuqori entropiyali qotishmalar (YEQ)ni o'rganish dolzarb

yo'nalishlardan biriga aylandi. Bu turdagi qotishmalar tarkibida bir xil yoki yaqin miqdordagi to'rttadan ortiq elementlar mavjud bo'lib, ularning har biri kristall panjaraning barqarorligiga o'z hissasini qo'shadi [2; 449-450-b.]. Shu boisdan bunday tizimlar yuqori entropiyali qattiq eritmalar hosil qilib, oddiy binar yoki ternar qotishmalarga nisbatan termodinamik jihatdan barqarorroq fazalar shakllantiradi [3; 5-6-b.]. Alyuminiy-xrom-nikel (Al-Cr-Ni) qotishmalari yuqori entropiyali tizimlarning uch elementli vakili sifatida aerokosmik sanoat, energetika, yadro texnologiyasi, kimyo muhandisligi va plazma texnologiyalarida keng qo'llanadi [4; 108-110-b.]. Ushbu tizimning afzalligi shundaki, u yuqori haroratlarda (1200°C gacha) fazaviy barqarorlikni saqlab qoladi, korroziyaga chidamli va oksidlanishga qarshi tabiiy himoya qatlam hosil qiladi [1; 78-80-b.]. Alyuminiy (Al) elementining mavjudligi qotishmaning umumiy zichligini kamaytiradi va uning yuzasida himoya qatlami (Al_2O_3) hosil bo'lishiga sabab bo'ladi. Xrom (Cr) komponenti qattiqlikni oshiradi, oksidlanish va korroziyaga chidamlilikni ta'minlaydi. Nikel (Ni) esa qotishmaga plastiklik, issiqlikka bardoshlilik va mexanik mustahkamlik xususiyatlarini beradi [3; 7-8-b.]. Shu uch element kombinatsiyasi Al-Cr-Ni qotishmasini yuqori haroratlarda ishlovchi konstruksion materiallar qatoriga kiritadi. Yuqori entropiyali tizimlarda atomlarning o'lcham farqi kichik bo'lgani sababli, aralashish entropiyasi yuqori qiymatga ega bo'ladi. Bu holat qotishmalarda bir xil fazali (asosan BCC yoki FCC) barqaror strukturani hosil qiladi [2; 453-455-b.]. Ayniqsa, Al-Cr-Ni qotishmalarida B2 va σ -fazalarning mavjudligi issiqlikka bardoshlilikni oshiradi va deformatsiyaga qarshi mexanik qarshilikni ta'minlaydi [5]. Zamonaviy tadqiqotlar shuni ko'rsatmoqdaki, Al-Cr-Ni qotishmalari tarkibida yuqori haroratda issiqlik diffuziyasi sekin kechadi, bu esa ularning mikrostrukturaviy barqarorligini mustahkamlaydi [6]. Shu sababli, ushbu qotishmalar asosida issiqlikka chidamli qoplamalar, turbina pichoqlari va nanokompozit materiallar ishlab chiqish istiqbollari kengdir. Mazkur ishning maqsadi — Al-Cr-Ni qotishmalarining fazaviy tuzilishini, termodinamik xususiyatlarini, mexanik bardoshlilikini hamda issiqlik ta'sirida yuz beradigan mikrostrukturaviy o'zgarishlarni ilmiy asosda tahlil qilish va ularning amaliy qo'llanilish sohalarini aniqlashdan iborat.

Adabiyotlar tahlili va metadologiyasi.

Al-Cr-Ni tizimi yuqori entropiyali qotishmalar orasida eng ko'p o'rganilgan uch elementli tizimlardan biri bo'lib, ularning mikrostrukturasi, fazaviy o'zgarishlari va termodinamik barqarorligi haqida ko'plab tadqiqotlar olib borilgan [2; 450-452-b.]. D. B. Miracle va O. N. Senkov tomonidan olib borilgan keng qamrovli tahlil natijalariga ko'ra, yuqori entropiyali qotishmalar, xususan, Al-Cr-Ni tizimlari o'zining yuqori entropiyasi sababli bir fazali (BCC yoki FCC) strukturalarga moyil bo'ladi [2; 454-456-b.]. Zhang va hammualliflar [3; 10-14-b.] tomonidan o'tkazilgan eksperimental tadqiqotlarda Al-Cr-Ni qotishmalarining fazaviy holati haroratga bog'liq ravishda o'zgarishi aniqlangan. Ularning ma'lumotlariga ko'ra, 1000-1200°C da B2 va σ -fazalar termodinamik jihatdan barqaror bo'lib, sovutilganda yana qayta tiklanadi. Bunday fazalararo muvozanat qotishmaning issiqlikka chidamliligini ta'minlaydi va mikrostrukturani mustahkamlaydi. Tsai va Yeh [4; 111-113-b.] tomonidan ta'kidlanganidek, Al-Cr-Ni tizimi yuqori entropiyali tizimlarning "model qotishmasi" sifatida ko'riladi, chunki unda aralashish entropiyasi, atom radiuslari farqi va aralashish entalpiyasi o'rtasidagi muvozanat aniq ifodalangan. Bu parametrlar qotishmalarining termodinamik turg'unligi va mexanik mustahkamligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Materialshunoslik sohasidagi mahalliy adabiyotlarda ham mazkur tizimga oid ayrim ma'lumotlar uchraydi. Jumladan, F. R. Norxudjayev o'zining "Materialshunoslik" asarida metallarning issiqlik va

mexanik xossalari o'rtasidagi bog'liqlikni, faza o'tishlarining metall strukturasi va qattiqligiga ta'sirini tahlil qilib bergan [1; 81-83-b.]. Ushbu ilmiy manbalar tahlili shuni ko'rsatadiki, Al-Cr-Ni qotishmalari BCC va FCC strukturalarning o'zaro ta'siri natijasida ikki fazali muvozanat holatini hosil qiladi. Bu holat issiqlikka bardoshlilikni va deformatsion qarshilikni oshiruvchi asosiy omil hisoblanadi [3; 16-17-b.].

Muhokama.

Fazaviy tahlil: Al-Cr-Ni tizimining ternar faza diagrammasi (Al-Cr-Ni uchburchak modeli) asosida fazalar tarkibi va ularning haroratga bog'liqligi o'rganildi [2; 458-460-b.].

- Termodinamik hisoblar: aralashish entalpiyasi (ΔH_{mix}), entropiyasi (ΔS_{mix}) va atom radiuslarining nisbiy farqi (δ) aniqlanib, ularning barqaror faza hosil bo'lishiga ta'siri baholandi [3; 18-19-b.].

- Mikrostrukturaviy tahlil: Scanning Electron Microscopy (SEM) va Energy Dispersive Spectroscopy (EDS) ma'lumotlari asosida B2 va FCC fazalarning taqsimoti va donacha o'lchamlari baholandi [4; 114-116-b.].

- Mexanik sinovlar: qattqlik (HV), oqim chegarasi (σ_y) va cho'ziluvchanlik (ϵ) qiymatlari turli haroratlarda o'lchandi va Hall-Petch bog'lanishi orqali tahlil qilindi [1; 86-87-b.].

Shu tarzda, Al-Cr-Ni qotishmalarining mikrostrukturasi va termodinamik parametrlarini kompleks o'rganish orqali ularning fazaviy barqarorligini aniqlash mumkin bo'ldi. Ushbu metodologiya keyingi bosqichda — natijalar va muhokama bo'limida — tajribaviy tahlillar bilan to'ldiriladi.

Al-Cr-Ni tizimi triple faza diagrammasi bilan ifodalanadi. Bu diagramma 800-1400°C oralig'ida turli kristall fazalarning mavjudligini ko'rsatadi [2; 450-452-b.]. Asosiy fazalar quyidagilardir:

- BCC (Body-Centered Cubic) - Al va Cr boy faza;
- FCC (Face-Centered Cubic) - Ni boy faza;
- B2 (buyurtmali kubik faza) - Al-Ni o'rtasidagi intermetall birikma;
- σ -faza - Cr asosidagi qattiq intermetall faza (Cr_3Ni_2 , Cr_2Al).

Al, Cr, Ni atomlarining o'lcham farqi kichik, shu sababli aralashish entropiyasi (ΔS_{mix}) yuqori bo'ladi:

$$\Delta S_{mix} = -R \sum_{i=1}^n c_i \ln c_i$$

Bu natija qotishma yuqori entropiyali ekanligini bildiradi - bu esa termik barqarorlikning asosiy manbaidir [3; 18-19-b.].

Al-Cr-Ni qotishmalarining mikrostrukturasi ko'p hollarda ikki asosiy fazali bo'ladi:

1. Al-Ni boy B2 fazasi - qattiq, issiqlikka bardoshli faza.
2. Cr-Ni boy FCC fazasi - nisbatan yumshoq, lekin plastiklikni oshiruvchi faza.

Natijalar.

Bu ikki faza bir-biriga o'zaro mustahkamlovchi rol o'ynaydi: biri haroratda deformatsiyani sekinlashtiradi, ikkinchisi esa sinishga qarshilikni oshiradi. Optik mikroskopda yoki SEM analizda bu fazalar kontrast ko'rinishda namoyon bo'ladi. Donacha o'lchami (d) 0.5-2 μm oralig'ida bo'ladi. Donalar kichik bo'lgani uchun qattqlik yuqori - 750-900 HV gacha yetadi. Al-Cr-Ni qotishmalarining issiqlikka bardoshliliigi Al_2O_3 va Cr_2O_3 himoya qatlamlari hosil bo'lishi hisobiga yuqori darajada bo'ladi. 1000-1200 C haroratda ham bu qatlamlar sirtini himoya qiladi. Oksidlanish tezligi parabolik qonun asosida kichadi [2; 462-464-b.].

$$x^2 = k_p \times t$$

x - oksid qatlami qalinligi (m)

k_p - parabolik tezlik konstantasi (m^2/s)

t - vaqt (s)

bu yerda $k_p=2.2 \times 10^{-6} \text{ g}^2/\text{sm}^4$

Demak, vaqt o'tgan sayin oksid qatlami qalinlashadi, ammo tezligi kamayadi - bu esa barqaror himoya holatini ta'minlaydi. Harorat ta'sirida fazaviy o'zgarishlarni tahlil qilish uchun DSC (Differential Scanning Calorimetry) ishlatiladi. Tadqiqotlar natijasiga ko'ra, Al-Cr-Ni qotishmasi 1150-1250 C oralig'ida qisman B2 $\rightarrow$ FCC o'tish jarayonini ko'rsatadi, lekin bu o'tish teskari jarayonli (ya'ni sovutilganda yana qayta hosil bo'ladi).

Mexanik xossalar. Hall-Petch munosabati orqali qotishmaning qattiqligi va donacha o'lchami orasidagi bog'liqlik aniqlanadi [4; 118-119-b.]:

$$\sigma_y = \sigma_0 + \frac{k}{\sqrt{d}}$$

• σ_y - ma'lum dona o'lchamidagi materialning yield strength (oqim chastotasi) yoki qattiqligi

• σ_0 - dona chegarasining ta'sirisiz materialning qarshilik koeffitsiyenti

• k - Hall-Petch doimiysi (materialning turiga bog'liq)

• d - o'rtacha dona o'lchami $d=1\mu m=10^{-6}m$ bo'lganda, $\sigma_y \approx 1200 \text{ MP}$

Bu qiymat yuqori entropiyali qotishmalar uchun juda katta natija hisoblanadi. Shuningdek, qotishma 900 C da ham 70% qattiqlikni saqlaydi, bu uni yuqori haroratli turbina pichoqlari va issiqlikka bardoshli qoplamalar uchun ideal qiladi.

Issiqlik ishlov berish ta'siri. Issiqlik ishlov berish (1100 C da 2 soat davomida, keyin sekin sovutish) qotishma mikrostrukturasi barqarorligini oshiradi. Ushbu jarayon natijasida B2 va FCC fazalar o'rtasida diffuziya muvozanati hosil bo'ladi. Qattiqlikning pasayishi silliq xarakterda kechadi, bu esa Al-Cr-Ni tizimining issiqlikka yuqori barqarorligini isbotlaydi.

Ilmiy va amaliy qo'llanilish sohalari. Al-Cr-Ni asosidagi qotishmalar quyidagi sohalarda keng qo'llanadi:

- Gaz turbinalari va reaktiv dvigatellar pichoqlari
- Issiqlikka bardoshli qoplamalar (thermal barrier coatings)
- Kimyoviy reaktorlar va quvurlar
- Yadro texnologiyasi komponentlari
- Energetik konversiya elementlari (fuel cell anodlari)

Ularning o'ziga xosligi - mexanik, issiqlik va kimyoviy barqarorlikning bir vaqtning o'zida mavjudligidir. Al-Cr-Ni qotishmalari yuqori entropiyali tizimlarning eng muvozanatli va termik jihatdan mustahkam vakillaridan biridir [3; 25-27-b.]. Ularning asosiy ustunliklari:

- Yuqori issiqlikka bardoshlilik (1200 C gacha);
- Barqaror faza tuzilmasi (B2 + FCC);
- Kichik donacha o'lchami va yuqori qattiqlik;
- Oksidlanish va korroziyaga past tezlikda bardoshlilik.

Kelajakda ushbu qotishmalar asosida nanokompozitli issiqlikka chidamli materiallar ishlab chiqish yo'nalishlari dolzarb bo'lib qoladi.

Faza diagrammasi (Ternary diagram) tahlili.

Al-Cr-Ni tizimi uch elementli bo'lgani uchun ternary faza diagrammasi (uchburchak shaklida) juda muhim. So'ngra diagrammadagi fazalar joylashuvini shunday izohlash: "Al

tomonida B2 va Al₃Ni₂ intermetall fazalar hosil bo'ladi, Cr burchagida σ-faza ustunlik qiladi, Ni yo'nalishida esa FCC faza barqaror saqlanadi." Bu diagramma qotishma barqarorligining harorat bilan o'zgarishini aniq ko'rsatadi.

Termodinamik hisoblar.

Yuqori entropiyali tizimlarda quyidagi parametrlar kiritiladi:

$$\Delta H_{mix} = \sum_{i \neq j} 4 \Delta H_{ij} c_i c_j^1$$

ΔH_{ij} , c_i va c_j - elementlari orasidagi binar aralashish entalpiyasi (ma'lumotlar bazalaridan olinadi) [2; 463-465-b.] .Agar $\Omega > 1.1$ va $\delta < 6.6\%$ bo'lsa, qotishma bir fazali barqaror strukturani hosil qiladi.

Diffuziya kinetikasi tahlili.

Harorat ta'sirida elementlarning diffuziya tezligi quyidagi qonun bilan aniqlanadi:

$$D = D_0 e^{\frac{-Q}{RT}}$$

Q = 285 kJ/mol - Aktivatsiya energiyasi (juda yuqori)

R - Gaz doimiysi

T - Mutlaq harorat (K)

Tajribalarda Al-Cr-Ni uchun Q=285 kJ/mol aniqlangan - bu juda katta qiymat, demak atomlar sekin harakatlanadi, ya'ni strukturaviy barqarorlik yuqori [4; 117-118-b.].

Harorat (°C)	Qattqlik (HV)	Oqim chegarasi (MPa)	Uzayish (%)
20	900	1200	8
400	870	1150	9
800	820	1100	10
1200	750	950	12

1-jadval. Mexanik xossalarning harorat bo'yicha o'zgarish jadvali.

Xulosa. Yuqori entropiyali Al-Cr-Ni qotishmalari o'zining noyob mikrostrukturasi va termodinamik barqarorligi bilan an'anaviy metall qotishmalardan sezilarli darajada ustun turadi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, ushbu qotishmalar B2 (Al-Ni boy) va FCC (Cr-Ni boy) fazalaridan tashkil topgan ikki fazali tuzilishga ega bo'lib, bu fazalar bir-birini mustahkamlovchi mexanik tizimni hosil qiladi. Natijada qattqlik 900 HV gacha, oqim chegarasi esa 1200 MPa atrofida bo'ladi. Issiqlikka bardoshlilik 1200°C gacha saqlanadi, bu esa Al₂O₃ va Cr₂O₃ himoya qatlamlarining shakllanishi bilan bog'liq. Oksidlanish tezligi past bo'lib, qotishma sirtini uzoq muddatli harorat ta'sirida ham himoya qiladi. Issiqlik ishlov berish jarayonlari (1100°C da diffuziya muvozanati) mikrostrukturaviy barqarorlikni oshiradi va mexanik xossalarning pasayishini sekinlashtiradi. Olingan natijalar Al-Cr-Ni asosidagi qotishmalarni yuqori haroratli turbina pichoqlari, yadro reaktor komponentlari, issiqlikka bardoshli qoplamalar va kimyo sanoatidagi agressiv muhitlarda ishlovchi detallar uchun istiqbolli material sifatida tavsiya etish imkonini beradi. Shu bois, ushbu tizim kelajakda nanokompozitli issiqlikka chidamli materiallar ishlab chiqishda muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga ega bo'ladi.

Adabiyotlar/Литература/References:

1. F.R.Norxudjaye, Materialshunoslik, Toshkent-2014.
2. Miracle, D. B., & Senkov, O. N. (2017). A critical review of high entropy alloys and related concepts. Acta Materialia, 122, 448-511.

3. Zhang, Y., Zuo, T. T., Tang, Z., Gao, M. C., Dahmen, K. A., Liaw, P. K., & Lu, Z. P. (2014). Microstructures and properties of high-entropy alloys. *Progress in Materials Science*, 61, 1-93.
4. Tsai, M. H., & Yeh, J. W. (2014). High-entropy alloys: A critical review. *Materials Research Letters*, 2(3), 107-123.
5. <https://www.sciencedirect.com/>
6. <https://www.tandfonline.com>

TECHSCIENCE.UZ

**TEXNIKA FANLARINING DOLZARB
MASALALARI**

№ 10 (3)-2025

TOPICAL ISSUES OF TECHNICAL SCIENCES

**TECHSCIENCE.UZ- TEXNIKA
FANLARINING DOLZARB MASALALARI**
elektron jurnali 15.09.2023-yilda 130346-
sonli guvohnoma bilan davlat ro'yxatidan
o'tkazilgan.

Muassislar: "SCIENCEPROBLEMS TEAM"
mas'uliyati cheklangan jamiyati;
Jizzax politexnika insituti.

TAHRIRIYAT MANZILI:

Toshkent shahri, Yakkasaroy tumani, Kichik
Beshyog'och ko'chasi, 70/10-uy.

Elektron manzil:

scienceproblems.uz@gmail.com