

YUQORI ENTROPIYALI QUYMALAR

Demegenov Ilxam Alibek o'g'li

Berdaq nomidagi Qoraqalpoq
davlat universiteti, 1-bosqish magistranti,
ilxamdemegenov00.@gmail.com

Annotatsiya: Ushbu maqola yuqori entropiyali quymalar (HEA) haqida, ularning fizik, mexanik va termodinamik xossalarini o'rganishga qaratilgan. HEA lar ko'p elementli quymalardir, ularning entropiya darajasi yuqori bo'lib, ular noyob va yuqori samarali xossalariga ega. Tadqiqotlar natijasida, HEA lar yuqori harorat va shokli kuchlanishlarga chidamlilik, korroziyaga qarshilik va yuqori mexanik xossalar bilan ajralib turadi.

Kalit so'zlar: Yuqori entropiyali quymalar (HEA), Aralashma entropiyasi, Termodinamik xossalar, Mexanik xossalar, Sanoatda qo'llanilishi.

Аннотация: В статье рассматриваются высокоэнтروпийные сплавы (ВЭС) и основное внимание уделяется изучению их физических, механических и термодинамических свойств. Высокоэнергетические сплавы представляют собой многоэлементные сплавы с высоким уровнем энтропии, обладающие уникальными и высокоэффективными свойствами. В результате исследований получены высокотемпературные и ударопрочные материалы, обладающие высокой коррозионной стойкостью, высокими механическими свойствами.

Ключевые слова: Высокоэнтропийные сплавы (ВЭС), Энтропия смеси, Термодинамические свойства, Механические свойства, Промышленное применение.

Annotation: This article is about high-entropy alloys (HEAs) and their physical, mechanical and thermodynamic properties. HEAs are multi-element alloys with high entropy levels, which have unique and highly efficient properties. As a result of research, HEAs are characterized by high temperature and shock resistance, corrosion resistance and high mechanical properties.

Keywords: High-entropy alloys (HEA), Mixture entropy, Thermodynamic properties, Mechanical properties, Industrial applications.

So‘nggi o‘n yilliklar davomida ilg‘or materiallarni izlash va ishlab chiqish ilmi fan va sanoatning eng dolzarb yo‘nalishlaridan biriga aylandi. An‘anaviy quymalar odatda asosiy metallga kichik miqdorda legirlovchi elementlar qo‘shish orqali olinadi. Biroq bu yondashuv materiallarning mexanik, issiqlik va kimyoviy xossalarini chegaralab qo‘yadi. Ushbu muammoni hal qilish maqsadida yangi sinfdagi materiallar — **yuqori entropiyali quymalar (High Entropy Alloys, HEAs)** paydo bo‘ldi.

Yuqori entropiyali quymalar — bu besh yoki undan ortiq asosiy metall elementlardan iborat bo‘lib, ularning har biri teng yoki unga yaqin miqdorda bo‘ladi. Bunday murakkab tarkib entropiyaning yuqori bo‘lishiga olib keladi, bu esa **bir fazali qattiq eritma** hosil bo‘lishini va materialning **strukturaviy barqarorligini** ta‘minlaydi. HEA materiallarida komponentlar aralashmasining entropiyasi klassik ikki yoki uch elementli quymalarnikidan ancha yuqori bo‘ladi, bu esa ularning fizikaviy va mexanik xossalariga ijobiy ta‘sir ko‘rsatadi.

HEAlar yuqori qattqlik, termik barqarorlik, korroziyaga chidamlilik va mukammal mexanik xossalarga ega bo‘lishi bilan ajralib turadi. Shu sababli, ular aerokosmik, yadroviy energetika, kriogen texnologiyalar va boshqa yuqori talablar qo‘yiladigan sohalarda keng qo‘llanilishi mumkin. Mazkur maqolada yuqori entropiyali quymalarning asosiy nazariy tushunchalari, tuzilmasi, fizikaviy xossalari va amaliy qo‘llanilishi ko‘rib chiqiladi.

Yuqori entropiyali quymalar (HEA) – bu murakkab kompozitsiyali materiallar bo‘lib, ular kamida **besh xil asosiy elementdan** iborat bo‘ladi. Har bir elementning konsentratsiyasi odatda 5–35 atrofida bo‘ladi. Shu bilan birga, bu quymalar **biror asosiy elementga tayanmagan** bo‘ladi – bu esa ularni klassik quymalardan farqlantiradi.

Ushbu quymalarda asosiy energetik omil bu **entropiya** hisoblanadi. Yadro strukturasi har xil atomlarning mavjudligi kristall panjaradagi **tartibsizlik darajasini oshiradi**, ya‘ni entropiya yuqori bo‘ladi. **Gibbs energiyasi** $G=H-TS$

tenglamasiga ko'ra, entropiyaning ko'payishi G ning kamayishiga olib keladi, bu esa **barqaror faza holatini** shakllantiradi.

Aralashma entropiyasi va qattiq eritma. Quymalarda aralashma entropiyasi quyidagicha hisoblanadi:

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

bu yerda: R - universal gaz doimiysi ($8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$), c_i - i -elementning molyaviy ulushi. HEA larda odatda $\Delta S_{mix} > 1.5R$ bo'lishi entropiyaning yuqoriligi va **bir fazali qattiq eritma** hosil bo'lishiga olib keladi. Bu struktura **BCC (Body-Centered Cubic)** yoki **FCC (Face-Centered Cubic)** panjaraga ega bo'lishi mumkin.

Faza barqarorligi va strukturaviy xossalar. Entropiya ustunligi tufayli HEA lar ko'p hollarda fazalarning aralashmasi emas, balki **bir xil strukturadagi eritma** sifatida mavjud bo'ladi. Bu esa ularning:

- **qattiqligini oshiradi,**
- **issiqlikka chidamliligini ta'minlaydi,**
- **va plastik deformatsiyaga nisbatan barqarorligini kuchaytiradi.**

Misol uchun, **CoCrFeMnNi** tarkibli HEA **kriogen haroratda ham yuqori plastiklik** ko'rsatgan.

Klassik legirlangan quymalarda faqat bitta asosiy element bor, qolganlari esa ularning xossalarini kuchaytirish uchun ishlatiladi. HEAlar esa **ko'p asosli** bo'lgani sababli, har bir element o'z ulushini barobar ta'sir qiladi. Bu esa:

- **homogen mikrostrukturani,**
- **barqaror fazani,**
- **kam difuziya,**

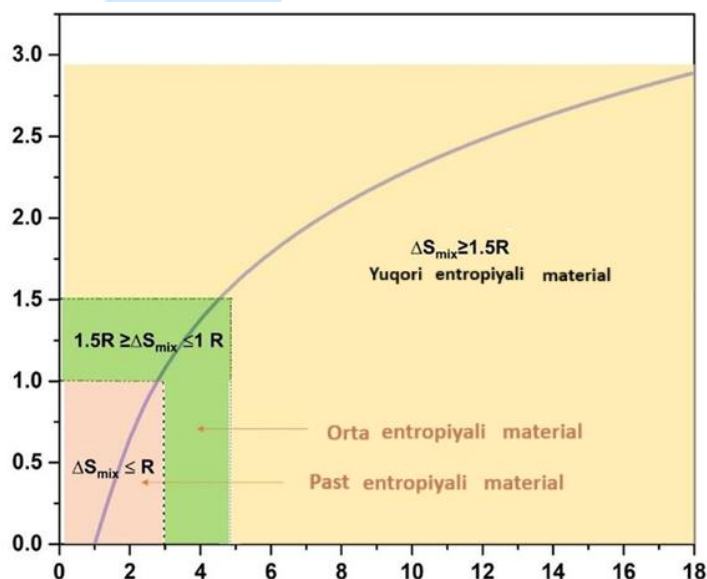
kabilarni ta'minlaydi.

Aralashma entropiyasi (ΔS_{mix}) va elementlar soni grafigi. Bu grafik shuni ko'rsatadi: elementlar soni oshgani sari aralashma entropiyasi oshadi, ya'ni quymaning struktura barqarorligi kuchaydi.

- **X o'qi (Gorizontal): Elementlar soni ($n = 2, 3, 4, 5, \dots$)**

•Y o'qi (Vertikal): Entropiya ΔS_{mix} (J/mol·K)

•Ko'rsatadi $\Delta S_{mix} = -R \sum c_i \ln c_i$



HEA larning amaliy tadqiqotlari. Yuqori entropiyali quymalar ustida olib borilgan ilmiy tadqiqotlar ularning noyob fizik va mexanik xossalarga ega ekanini tasdiqlagan. Masalan, CoCrFeMnNi tarkibli HEA - “Cantor quymasi” deb ham ataladi - keng o'rganilgan va quyidagi natijalarni bergan:

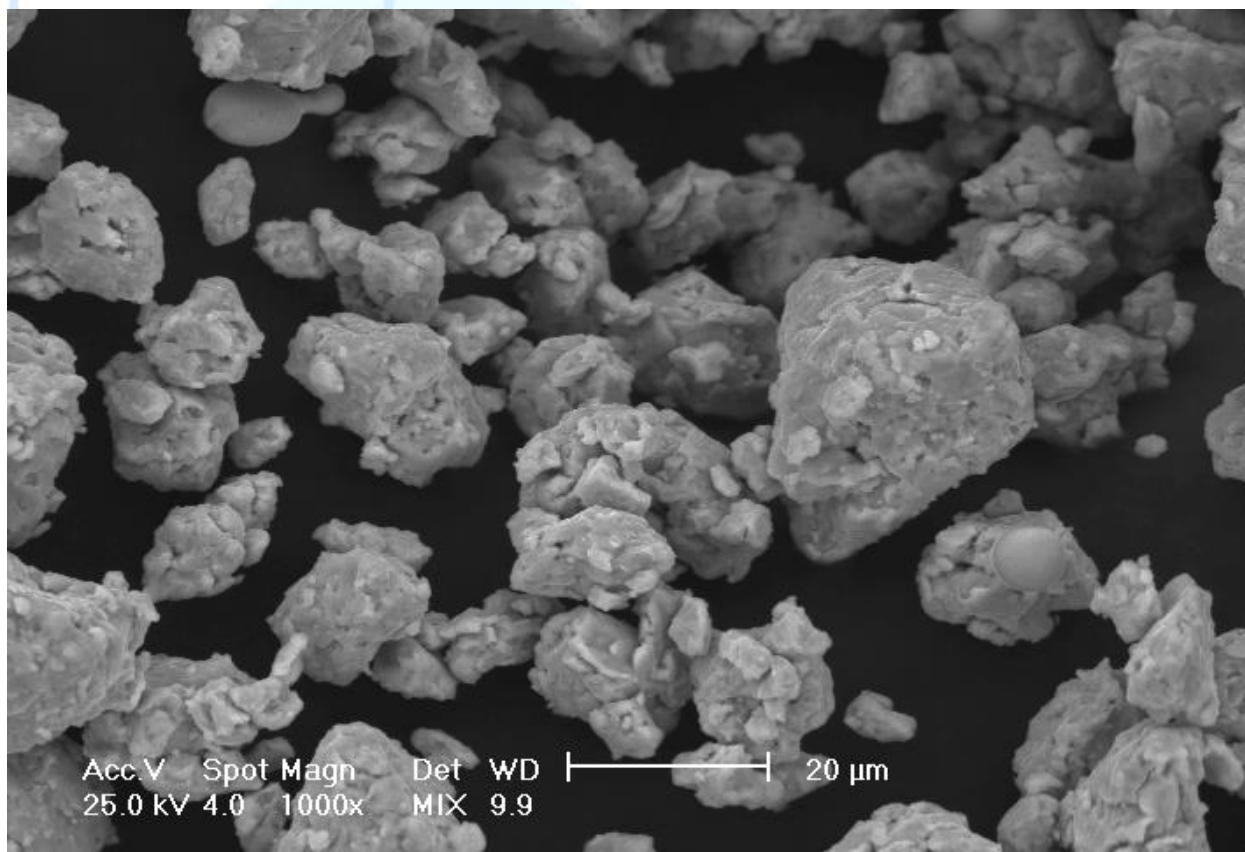
- Kriogen haroratda (-196°C) plastiklik va mustahkamligi yuqori bo'lgan;
- Yuzasida kam oksidlanish va korroziya belgilari kuzatilgan;
- Shok kuchlanishlarida issiqlik barqarorligi saqlangan.

HEA lar birqancha sohalarda qollaniladi, masalan, aerokosmik sanoat, yadroviy energetika, kriogen texnologiyalar va mexanik qismlar va qattiq sharoitlar. Aerokosmik sanoatda HEAlarning yuqori haroratda deformatsiya bardoshliligi ularni reaktiv dvigatellar, kosmik qurilmalar uchun ideal materialga aylantiradi, issiqlik barqarorligi tufayli issiqlik ekranlari, issiqlikka chidamli qoplamalar sifatida ishlatiladi.

HEAlarni sanoat darajasida ishlab chiqarishdagi bazi muammolar bor. Garchi HEA lar juda istiqbolli material bo'lsada, ularni sanoatda ommaviy ishlab chiqarish hali ham ba'zi muammolarga ega, ular quyidagisha:

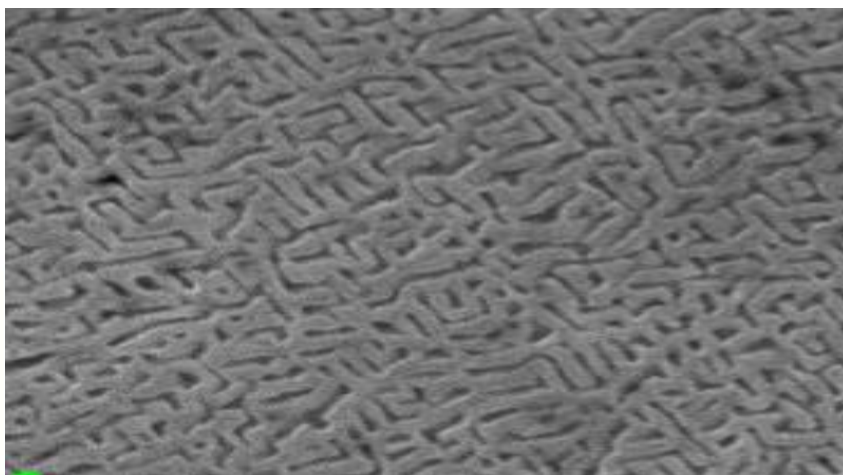
- Xomashyo narxi yuqori, chunki ko'p elementlar kerak bo'ladi;
- Eritish va bir xil tarkib olish uchun murakkab texnologik usullar talab etiladi;
- Faza diagrammalarining murakkabligi sababli nazorat qilish qiyin.

Shunga qaramay, ilg'or texnologiyalar rivojlanishi bilan bu muammolar tobora kamayib bormoqda. Shunday texnologiyalardan olingan yuqori entropiyali quymalardan birini misol keltiramiz.



Bu tasvirda AlCrCuFeNiMn quymasining sinterlangan holatidagi mikrostrukturasi ko'rsatilgan. Tasvirda materialning teng ulushdagi elementlardan tashkil topganligini va mikrostrukturadagi nozik tuzilmani ko'rish mumkin.

HEA ning SEM mikrografikasi (10000x kattalikda).



Bu yuqori kattalikdagi SEM tasvirida HEA ning dendritik mikrostrukturasi va donalar chegaralari aniq ko'rsatilgan. Bunday tasvirlar materialning mexanik xossalarini, masalan, qattqlik va plastiklikni tushunishda yordam beradi.

Yuqori entropiyali quymalar (HEA) — zamonaviy materialshunoslik va fizikaning istiqbolli yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. An'anaviy quymalardan farqli ravishda, HEAlar kamida besh turdagi asosiy elementdan tashkil topgan bo'lib, bu ularning entropiyasini sezilarli darajada oshiradi. Aralashma entropiyasining yuqoriligi strukturaning termodinamik barqarorligiga ijobiy ta'sir ko'rsatadi, bu esa yuqori mexanik chidamlilik, termik barqarorlik va korroziyaga qarshilikni ta'minlaydi.

Amaliy tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, HEAlar ekstremal sharoitlarda, jumladan, kriogen haroratlar, yuqori issiqlik, va radiatsiya muhitida o'zining fizik va mexanik xossalarini saqlab qola oladi. Aynan shu jihatlar ularni aerokosmik sanoat, yadroviy energetika, kriogen texnologiyalar va mexanik yuklamali qurilmalarda ishlatish imkonini beradi.

Shu bilan birga, HEA larni ishlab chiqarish hali ham texnologik va iqtisodiy jihatdan murakkab hisoblanadi. Faza diagrammalarining murakkabligi, komponentlar sonining ko'pligi va ishlab chiqarish xarajatlari — bu sohadagi asosiy muammolardan biridir. Shunga qaramay, ushbu yo'nalish bo'yicha olib borilayotgan ilmiy tadqiqotlar kelajakda yanada samarali, arzon va barqaror HEA materiallarini yaratishga xizmat qilishi mumkin.

Xulosa qilib aytganda, yuqori entropiyali quymalar kelajakda yangi avlod ilg'or materiallari sifatida global sanoat va texnologik rivojlanishda muhim o'rin egallashi kutilmoqda.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR.

1. Yeh, J. W., Chen, S. K., Lin, S. J., Gan, J. Y., Chin, T. S., Shun, T. T., Tsau, C. H., & Chang, S. Y. (2004). **Nanostructured high-entropy alloys with multiple principal elements: Novel alloy design concepts and outcomes.** *Advanced Engineering Materials*, 6(5), 299–303. <https://doi.org/10.1002/adem.200300567>
2. Cantor, B., Chang, I. T. H., Knight, P., & Vincent, A. J. B. (2004). **Microstructural development in equiatomic multicomponent alloys.** *Materials Science and Engineering: A*, 375–377, 213–218. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2003.10.257>
3. Miracle, D. B., & Senkov, O. N. (2017). **A critical review of high entropy alloys and related concepts.** *Acta Materialia*, 122, 448–511. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2016.08.081>
4. Senkov, O. N., Wilks, G. B., Miracle, D. B., Chuang, C. P., & Liaw, P. K. (2010). **Refractory high-entropy alloys.** *Intermetallics*, 18(9), 1758–1765. <https://doi.org/10.1016/j.intermet.2010.05.014>
5. Zhang, Y., Zuo, 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. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2013.10.001>
6. Tsai, M. H., & Yeh, J. W. (2014). **High-entropy alloys: A critical review.** *Materials Research Letters*, 2(3), 107–123. <https://doi.org/10.1080/21663831.2014.912690>