



INTERMETALL BIRIKMALAR: TUZILISHI, XOSSALARI VA ZAMONAVIY TEXNOLOGIYALARDAGI O'RNI

I.I. Norov

Buxoro davlat universiteti

ANNOTATSIYA. Ushbu maqolada intermetall birikmalar (IMB) – ikki yoki undan ortiq metall elementlari o'rtasida hosil bo'ladigan fazalarning tuzilishi, tasnifi va fizik-mexanik xossalari ko'rib chiqilgan. Kristallografik xususiyatlar, elektron tuzilish va kimyoviy bog'lanish tabiatidan tortib, yuqori haroratga chidamli materiallar, magnit materiallar, gidrogen saqlash tizimlari va qotishmalar metallurgiyasidagi qo'llanishlari muhokama qilingan. Al–Ni, Ti–Al, Fe–Al, Cu–Zn, Nd–Fe–B tizimlaridagi asosiy IMBlar tavsiflab o'tilgan va zamonaviy materiallar ilmidagi istiqbolli yo'nalishlar ko'rsatilgan.

Kalit so'zlar: intermetall birikmalar, qotishma, kristall tuzilish, yuqori haroratli materiallar, gidrid tizimlar, doimiy magnit, fazalar diagrammasi.

1. KIRISH

Zamonaviy texnologiya va sanoat tarmoqlari materiallarning fizik va mexanik xossalariga tobora yuqori talablar qo'yimoqda. Sof metallar ko'p hollarda bu talablarga javob bermaydi: ular etarlicha mustahkam emas, yuqori haroratlarda deformatsiyalanadi, yoki kerakli magnit va elektr xossalariga ega emas. Ana shu bo'shliqni to'ldiruvchi materiallar sinflaridan biri – intermetall birikmalar (IMB)dir.

Intermetall birikmalar – ikki yoki undan ortiq metallar o'rtasida belgilangan stexiometrik nisbatlarda hosil bo'ladigan kimyoviy birikmalar bo'lib, ularning kristall tuzilishi va xossalari tarkibiy komponentlarnikidan tubdan farq qiladi. Bu xususiyat ularni oddiy qotishmalardan ajratib turadi.

IMBlar hozirgi kunda aviatsiya, kosmik sanoat, elektronika, energetika va tibbiyot sohalarida keng qo'llanilmoqda. Masalan, Nd–Fe–B tizimidagi Nd₂Fe₁₄B birikma hozirgi kunda ma'lum bo'lgan eng kuchli doimiy magnit materiallari asosini tashkil etadi. TiAl va Ni₃Al asosidagi materiallar esa aviatsiya turbinalarida keng qo'llanilmoqda.

Ushbu maqolada IMBlarning asosiy xususiyatlari, tasnifi, sintez usullari va zamonaviy qo'llanish sohalari izchil tarzda bayon etilgan.

IMBlar hosil bo'luvchi metallar soniga ko'ra binar, ternar va ko'p komponentli tizimlarga bo'linadi. Eng ko'p o'rganilganlari binar tizimlar: Al–Ni, Al–Ti, Fe–Al, Cu–Zn, Mg–Ni va hokazo.

Kimyoviy formulaga ko'ra turli stexiometrik nisbatlar mavjud: A₃B, AB, AB₂, AB₃, A₂B₃ va boshqalar. Masalan, Ni₃Al, NiAl, FeAl, Fe₃Al, TiAl, TiAl₃ – hammasi Al bilan oraliq metallari hosil qiluvchi turli IMBlardir.

IMBlardagi kimyoviy bog‘ sof metall bog‘i bilan kovalent bog‘ o‘rtasidagi oraliq xarakter kasb etadi. Bu “aralash” bog‘ tabiati IMBlarning o‘ziga xos xossalarini (yuqori qattqlik, past plastiklik, yuqori erish nuqtasi) belgilaydi.

Elektromanfiylik farqi katta bo‘lgan tizimlar (masalan, Mg–Ni yoki Ca–Cu) ionli-metall bog‘ni ko‘proq namoyon etsa, yaqin metallar o‘rtasidagi IMBlar (Fe–Al, Ni–Al) asosan metall-kovalent bog‘iga ega bo‘ladi.

1-jadval

Intermetall birikmalarining (IMB) asosiy kristall tuzilish turlari va ularning xususiyatlari.

IMB turi (kristall tuzilishi)	Tipik vakillari	Kristall panjara turi	Asosiy xususiyatlari
L1₂ tuzilish	Ni ₃ Al, Ni ₃ Fe	Yuzaki markazlashtirilgan kubik (FCC)	A atomlari kubning burchaklarida, B atomlari esa yuz markazlarida joylashadi.
B₂ tuzilish	NiAl, FeAl	Tanaga markazlashtirilgan kubik (BCC)	Atomlarning tartibli almashishi natijasida hosil bo‘lgan kubik tuzilish.
D0₃ tuzilish	Fe ₃ Al, Ni ₃ Sn	Geksagonal yoki kubik superstruktura	B ₂ tuzilishining murakkabroq tartiblangan ko‘rinishi hisoblanadi.
Lavs fazalari	MgCu ₂ , MgZn ₂ (AB ₂)	Ixcham qadoqlangan murakkab tuzilish	Geometrik to‘planish tamoyiliga asoslangan, yuqori zichlikdagi fazalar.
Zintl fazalari	Li-, Na-, Ca- asosidagi birikmalar	Yarim ionli kristall tuzilish	Faol metall va kam faol metall o‘rtasida hosil bo‘ladigan, ion va kovalent bog‘lanish xususiyatlarini birlashtiruvchi birikmalar.

IMBlarning eng muhim mexanik xususiyati – yuqori qattqlik va past plastiklik. Bu ikki xossa bir-biriga zid bo‘lib, IMBlarni konstruktiv materiallar sifatida qo‘llashda asosiy muammo hisoblanadi.

Ni₃Al birikmasining Vickers qattqligi 300-350 HV, TiAl niki esa 400-450 HV ga etadi. Qiyosiy ravishda: toza alyuminiy ≈ 20 HV, toza nikel ≈ 70 HV. Shunday qilib, IMB hosil bo‘lishi bilan qattqlik 4-6 barobar ortadi.

Sovuq holda cho‘zmadagi plastiklik aksariyat IMBlarda 1-2% dan oshmaydi (sof metallar uchun 20-50%). Biroq ma‘lum dopantlar (masalan, Ni₃Al ga B qo‘shilganda) plastiklikni 50% gacha oshirish mumkin.

Ko'pchilik IMBlar yuqori erish nuqtasiga ega. Qiyosiy ko'rsatkichlar:

2-jadval

Ba'zi muhim intermetall birikmalarning fizik xossalari

Birikma	Erish nuqtasi, °C	Zichlik, g/sm ³	Modul elastikligi, GPa
Ni ₃ Al	1390	7.50	178
NiAl	1640	5.86	188
TiAl	1460	3.76	172
Ti ₃ Al	1180	4.20	120
Fe ₃ Al	1540	6.72	140
FeAl	1330	5.56	261
MoSi ₂	2020	6.24	440

IMBlarning elektr o'tkazuvchanligi odatda tarkibiy metallarnikiga qaraganda past bo'ladi, chunki kristall tartib elektronsacharlanishni kamaytiradi. Biroq ayrim IMBlar (masalan, NiAl) metall xarakterini saqlab qoladi.

Eng keng tarqalgan usul – tarkibiy metallarni belgilangan nisbatda eritib quyish. Vakuum induktiv eritish (VIM) usuli oksidlanishdan saqlanish va tarkibni nazorat qilish imkonini beradi. Bu usul Ni–Al, Ti–Al va Fe–Al tizimlarida keng qo'llaniladi.

Yo'naltirilgan kristallanish (Bridgman usuli) yordamida ustunli yoki monokristall tuzilishga ega IMBlar olish mumkin. Bunday materiallar gaz turbinalari pallalari uchun ideal bo'lib, kristallanish yo'nalishida mexanik xossalari sezilarli yaxshilanadi.

Mexanik qotishma (MA) – tarkibiy metall kukunlarini yuqori energiyali tegirmonlarda uzoq muddat o'g'alaydigan jarayon. Natijada amorf yoki nanostrukturali IMBlar hosil bo'ladi. Bu usul Mo–Si, W–Ni va boshqa murakkab tizimlarda afzal ko'riladi.

Keyinchalik kukun issiq presslash (HIP) yoki plazma uchqun sintirlash (SPS) usulida zichlashtiriladi. SPS usuli qisqa vaqt ichida (3–10 daqiqa) 95–99% nazariy zichlikka erishish imkonini beradi.

Kimyoviy bug' cho'ktirish (CVD) va molekulyar nurlu epitaksiya (MBE) usullari yuqori plyonkalar va qoplamalar ko'rinishidagi IMBlar olish uchun ishlatiladi. Bu usullar mikroelektronika va sensorlar sohalarida qo'llaniladi.

Termal purkash texnologiyasi esa yirik sirt qoplamalari uchun samaradir: plazmali va yuqori tezlikda kislorod-yoqilg'i purkash yordamida tarvaqayib, korroziyabardosh IMB qoplamalar shakllantiriladi.

Aviatsiya va kosmik texnologiyada yuqori harorat, oksidlanish va mexanik yuklamaga bardoshli materiallar talab qilinadi. Nikel asosidagi superqotishmalar tarkibidagi Ni₃Al (γ')

fazasi) ushbu sohaning asosiy materialidir. Zamonaviy turbina pallalari tarkibining 60–70% ini Ni_3Al tashkil etadi.

TiAl asosidagi materiallar (zichlik $\approx 3.9 \text{ g/sm}^3$ – nikel asosidagilarga qaraganda ikki barobar engil) quyi bosim turbinalari uchun muvaffaqiyatli qo'llanilmoqda. Boeing va Airbus samolyotlarida TiAl pallali turbinalar yoqilg'i sarfini 15–20% kamaytiradi.

$Nd_2Fe_{14}B$ (neodim temir bor) – 1984 yilda General Motors va Sumitomo Special Metals tomonidan mustaqil ravishda kashf etilgan. Bu IMB elektr dvigatellar, kompressiya generator, quloqchinlar, magnit-rezonans tomografi va ko'plab boshqa qurilmalarda qo'llaniladi. Jahon bozoridagi doimiy magnit savdosining 85% dan ortig'ini Nd–Fe–B asosidagi magnit tashkil etadi.

$SmCo_5$ va Sm_2Co_{17} ham muhim magnit IMBlar bo'lib, ular Nd–Fe–B ga nisbatan yuqori Kyuri haroratiga ega (800°C gacha) va kosmik hamda harbiy sohada ishlatiladi.

Energetikaning kelajagi uchun muhim bo'lgan gidrogen iqtisodiyotida IMBlar muhim o'rin tutadi. $LaNi_5$, TiFe, ZrV_2 kabi IMBlar gidrid holida katta miqdorda H_2 ni saqlay oladi: $LaNi_5H_6$ birikmasida 1.4 og'irlik % gidrogen saqlanadi.

Mg_2Ni birikmasiga asoslangan gidridlar esa 3.6% gacha gidrogen sig'imiga ega. Ammo Mg asosidagi tizimlarning dezorptsiya harorati (300°C dan yuqori) hali amaliy qo'llanishda muammo bo'lib qolmoqda. Katalitik dopantlar orqali bu haroratni pasaytirish tadqiqotlarning asosiy yo'nalishlaridan biridir.

Fe–Al asosidagi IMBlar ($FeAl$, Fe_3Al) qizdirilganda yuza qatlamida Al_2O_3 oksid plyonkasini hosil qiladi, bu ularni oksidlanish va korroziyadan himoyalaydi. Bunday materiallar kimyoviy reaktorlar, qozonlar va issiqlik almashtirgichlarda qo'llaniladi.

NiAl asosidagi qoplamalar gaz turbinalari pallalariga zang bosishdan himoya qoplamasi (bond coat) sifatida qo'llaniladi. Plazmali purkash orqali 50–200 mkm qalinlikdagi NiAl qoplamalari barqaror ishchi xossalarga ega bo'ladi.


Bir qator IMBlar yarim o'tkazgich xossalariga ega. Mg_2Si ($E_g = 0.77 \text{ eV}$), $CoSi_2$, $TiSi_2$ kabi silisidlar mikrosxema ishlab chiqarishda kontakt materiallari sifatida qo'llaniladi. Ularning metall bilan yuqori mos kristall panjaralari va past elektr qarshilik CMOS texnologiyasida muhim ahamiyatga ega.

NiTi (Nitinol) – shaklni eslab qolish xossasiga ega IMB. Martensit-austenit fazaviy o'tishi yordamida deformatsiyalangan material isitilganda dastlabki shaklini tiklaydi. Tibbiyotda stentlar, ortodontik simlarda, shu bilan birga aktuatorlar va robotika sohalarida qo'llaniladi.

XULOSA

Intermetall birikmalar zamonaviy materiallar ilmining muhim va jadal rivojlanayotgan sohasi hisoblanadi. Ularning tarkibiy metallardan tubdan farq qiladigan xossalari – yuqori erish nuqtasi, qattqlik, oksidlanishga chidamlilik va o'ziga xos magnit, elektr xossalari – ularni aviatsiya, energetika, elektronika va tibbiyotning almashtirish qiyin bo'lgan materiallari qatoriga qo'shgan.

Biroq past plastiklik va texnologik ishlov berishdagi qiyinchiliklar IMBlarning keng tarqalishiga to'siq bo'lib kelmoqda. Mikrodopantlar, nanostrukturalash va gibrid kompozit



arxitektura yordamida bu muammolarni bartaraf etish bugungi materiallar kimyosi va fizikasining asosiy vazifalaridan biri hisoblanadi.

O'zbekistonda ushbu soha endigina shakllanmoqda. Mahalliy xom ashyo manbalari (titan, vanadiy, mis, molibden) asosida IMBlar sintezi va tadqiqi milliy sanoatni rivojlantirishga muhim hissa qo'sha oladi.

ADABIYOTLAR

1. Westbrook J.H., Fleischer R.L. (eds.) (2000). *Intermetallic Compounds: Principles and Practice*. Vol. 1–4. Wiley, New York.
2. Sauthoff G. (1995). *Intermetallics*. VCH Publishers, Weinheim.
3. Liu C.T., Stringer J., Mundy J.N. (1997). Ordered intermetallic alloys: An assessment. *Intermetallics*, 5(8), 579–596.
4. Dimiduk D.M. (1999). Gamma titanium aluminide alloys – an assessment within the competition of aerospace structural materials. *Materials Science and Engineering A*, 263(2), 281–288.
5. Herbst J.F. (1991). $R_2Fe_{14}B$ materials: Intrinsic properties and technological aspects. *Reviews of Modern Physics*, 63(4), 819.
6. Orimo S. et al. (2007). Complex Hydrides for Hydrogen Storage. *Chemical Reviews*, 107(10), 4111–4132.
7. Yeh J.W. et al. (2004). Nanostructured high-entropy alloys with multiple principal elements. *Advanced Engineering Materials*, 6(5), 299–303.
8. Rahimov J.U., Nazarov S.K. (2023). Titan-alyuminidlar asosidagi yuqori haroratli materiallar. *O'zbek Fizika Jurnal*i, 25(4), 212–221.
9. Miracle D.B., Senkov O.N. (2017). A critical review of high entropy alloys and related concepts. *Acta Materialia*, 122, 448–511.
10. Niu H.Z. et al. (2020). Intermetallic compounds in titanium alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 820, 153247.