

Ўзбекистон

# **K**ompozitsion **M**ateriallar

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali



Ўзбекский научно-технический и производственный журнал  
**Композиционные материалы**

UDK 621.78

**NIKEL ASOSLI OLOVBARDOSH QOTISHMALAR XOSSALARIGA  
METALLMAS QO'SHIMCHALARING TA'SIRI****Berdiyev Dorob Murodovich<sup>1</sup>, Liang Zhenglong<sup>2</sup>, Abdullayev Abdumannon Xoldorovich<sup>3</sup>,  
Ibroximova Muqaddas Muxammadsobir qizi<sup>4</sup>***<sup>1</sup>Radiatsiya va yadro xavfsizligi ilmiy-texnik markazi, <sup>2</sup>Lanzhou Texnologiya Universiteti  
<sup>3</sup>Olmaliq davlat texnika instituti, <sup>4</sup>I.Karimov nomli Toshkent davlat texnika universiteti*

**Annotatsiya.** Tadqiqotda nikel asosli olovbardosh qotishmalarni eritish texnologiyalarining mikrostruktura va nuqsonlar shakllanishiga ta'siri tahlil qilingan. Suyuq metall tarkibidagi kislorod, azot va oltingugurtning chiqib ketish qonuniyatlari o'rganilib, gaz g'ovaklari hosil bo'lish mexanizmlari bo'yicha asosiy natijalar keltirilgan.

**Kalit so'zlar:** inconel, eritish, gazli qo'shimchalar, qattqlik, suyuq metall, legirlangan po'lat.

**Kirish.** Nikel asosli olovbardosh qotishmalar Inconel nomi bilan keng tanilgan bo'lib, aerokosmik, kimyo, neft-gaz hamda dengiz sanoatida qo'llaniladigan yuqori samarali superqotishmalar sinfiga kiradi [1]. Ushbu qotishmalarning sanoatda keng qo'llanilishi, avvalo, ularning yuqori mexanik mustahkamlikka egaligi, yaxshi payvandlanuvchanligi, yuqori haroratlarda termik barqarorligi hamda agressiv muhitlarda oksidlanish va turli turdagi korroziyaga nisbatan yuqori chidamliligi bilan izohlanadi [2-4].

Kimyo va neft-gaz sanoatida qo'llaniladigan silindsimon korpuslar, flanetsli halqalar, quvurlar va kollektor shaklli detallar ekspluatatsiya jarayonida yuqori harorat, gaz yoki suyuq agressiv muhit ta'sirida ishlaydi. Bunday sharoitlarda detallarda tezlashtirilgan yemirilish jarayonlari kuzatilib, ularning xizmat muddati sezilarli darajada qisqaradi [5]. Shu bois ushbu turdagi detallarni Inconel 617 qotishmasidan tayyorlash konstruktiv va ekspluatatsion jihatdan asoslangan yechim hisoblanadi. Ayniqsa, gaz turbina agregatlari, issiqlik almashtirgichlar va energetik uskunalarda mazkur qotishmadan foydalanish keng tarqalgan [2-6].

Ilgarigi tadqiqotlarda Inconel turidagi qotishmalardan tayyorlangan detallarning yuqori haroratli va agressiv muhitlarda ishlash qobiliyati quyidagi natijalar bilan tasdiqlangan [3-5]:

- 900-1100 °C haroratda ishlovchi gaz turbina lopatkalarining xizmat muddati 2-4 barobarga oshgan [3];

- yonish kameralari va kimyoviy reaktor elementlarining gaz korroziyasiga chidamliligi sezilarli darajada yaxshilangan [4];

- azot va ammiak ishlab chiqarish uskunalarida klapanlar avariylarining ehtimoli kamaygan, issiqlik almashtirgich quvurlardagi teshilishlar soni 3-5 martaga qisqargan [5].

Inconel 617 qotishmasi tarkibidagi asosiy legirlovchi elementlar - xrom, molibden va niobiy - oksidlovchi hamda xloridli muhitlarda pitting va yoriqli korroziyaga chidamlilikni oshiradi. Bu holat pitting korroziyaga qarshi turishning ekvivalent

ko'rsatkichi (PREN) qiymatining ortishi bilan bog'liq [6]. Niobiy qo'shimchasi donalar chegaralari bo'ylab xrom va molibden karbidlarining ajralib chiqishini cheklab, donalararo yemirilishga moyillikni kamaytiradi [7]. Qotishmaning yuqori mustahkamlik ko'rsatkichlari esa nikel matritsasi niobiy va molibdenning qattiq eritma orqali mustahkamlovchi ta'siri bilan ta'minlanadi [8]. Shu bilan birga, suyuq metallni kalsiy bilan modifikatsiyalash oksid va sulfid qo'shimchalar morfologiyasini sezilarli darajada yaxshilaydi [8].

Tadqiqot obyektida nikel asosli olovbardosh qotishma - Inconel 617 tanlandi. Ushbu qotishma yuqori haroratda ishlovchi konstruksion detallar uchun xos bo'lgan yuqori mexanik mustahkamlik, korroziya va issiqlikka chidamlilik xossalari bilan ajralib turadi [8]. Biroq qotishma tarkibida Cr, Mo va Nb elementlarining yuqori konsentratsiyasi uning suyuq holatda gazlar va metallmas qo'shimchalarga nisbatan yuqori reaksiya qobiliyatiga ega bo'lishiga olib keladi [9].

Ekspluatatsiya jarayonida bunday qo'shimchalar yuqori haroratda plastiklikning pasayishiga, mustahkamlik va chidamlilikning kamayishiga, korroziyon barqarorlikning yomonlashishiga hamda gomogen bo'lmagan dendritli struktura shakllanishiga sabab bo'ladi. Quyma usulda olingan zagotovkalarda gaz g'ovaklari, metallmas qo'shimchalar, likvatsiya, dendritli mutadil bo'lmagan struktura va yoriqlar kabi nuqsonlar shakllanishi mumkin. Ayniqsa, g'ovaklikning yuqori darajada bo'lishi quymaning mustahkamligi va korroziyabardoshligiga salbiy ta'sir ko'rsatib, yoriqlar hosil bo'lish ehtimolini oshiradi. Ilgarigi tadqiqotlarda o'lchami 50 mkm dan katta bo'lgan g'ovaklar mavjud materiallarda korroziyabardoshlik pasayishi va darzlar paydo bo'lish ehtimoli ortishi aniqlangan [8-10].

Mazkur ishda yuqori sifatli quymalar olish maqsadida elektroshlakli qayta eritish texnologiyasini qo'llash natijasida hosil bo'ladigan nuqsonlar holati tahlil qilindi.

**Tadqiqotning usullari va metodikasi.**

Tadqiqotlar  $15 \times 15 \times 15 \text{ mm}^3$  o'lchamli kubik hamda diametri 15 mm va balandligi 5 mm bo'lgan silindrik namunalarda amalga oshirildi. Namunalarning kimyoviy tarkibi ICP usulida, uglerod miqdori esa infraqizil yutilishga asoslangan LECO usuli yordamida aniqlandi [11]. Mikrostrukturaviy tahlil uchun namunalar mexanik ishlovdan o'tkazilib, olmos pastasi bilan sayqallandi. Gaz g'ovaklik darajasi ImageJ dasturi orqali baholandi, optik tahlil esa Keyence VHX-7100 mikroskopida amalga oshirildi [12]. Kengaytirilgan tahlil Zeiss EVO 50 skanirlovchi elektron mikroskopida olib borildi [13].

**Tadqiqot natijalari va muxokoma.**

Elektroshlakli eritish (EShE) jarayoni  $I = 3-8 \text{ kA}$  tok qiymatida, eritish tezligi  $v = 2-6 \text{ mm/min}$  sharoitida olib borildi. Shlak sifatida  $\text{CaF}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$  tizimidagi tarkib qo'llanildi (55-65 %  $\text{CaF}_2$ , 15-25 %  $\text{CaO}$ , 10-20 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), bu shlakning optimal qovushqoqligini ta'minlab, oksid va sulfid kiritmalarni samarali bog'lash imkonini berdi. Shlak vannasi harorati 1550-1650 °C, metallning ishchi harorati esa 1450-1550 °C oralig'ida ushlab turildi [11].

EShE jarayonida shlak vannasining harorati metall haroratidan yuqori bo'lib, 1550-1650 °C atrofida saqlandi va asosan metallmas qo'shimchalarni bog'lash funksiyasini bajardi. Eritmaning shlak ostidagi ishchi harorati esa 1450-1550 °C diapazonida ushlab turilib, bu Inconel 617 (Ni-Cr-Mo-Nb) qotishmasining suyuqlanish intervaliga mos holda barqaror qayta kristallanish ta'minlandi [12].

Qotishmani eritish natijasida qoldiq metallmas qo'shimchalar shlakka o'tib, kimyoviy tarkibi saqlandi va yo'naltirilgan dendritli struktura

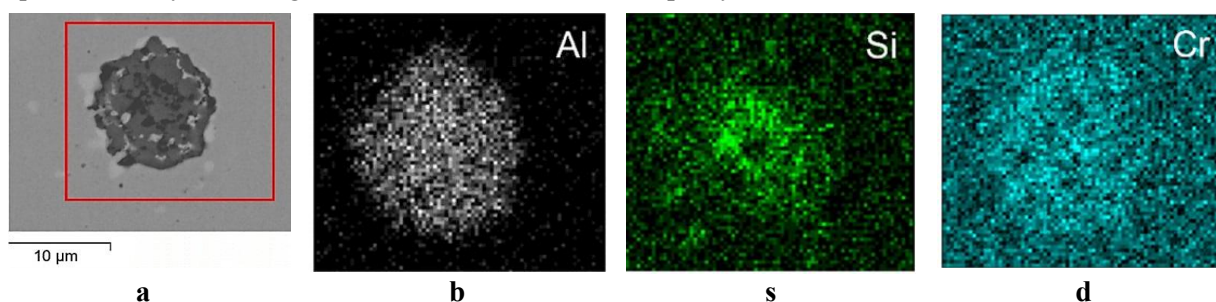
shakllandi. Bu quymaning mexanik xossalaringing barqarorligini oshirdi.

Quyma zagotovkalar tarkibidagi gaz g'ovak nuqsoni o'rganilganda (2-rasm) g'ovaklarning ikki asosiy turi aniqlandi: ko'ndalang kesim bo'ylab tasodifiy tarqalgan mikroporlar hamda markaziy zonada uchburchaksimon, kontur zonada esa to'rtburchaksimon geometriyaga ega bo'lgan, reshetkasimon tuzilmada joylashgan cho'zilgan makrodefektlar. Tahlil natijalariga ko'ra, o'lchami 50 mkm dan katta g'ovaklar ulushi sezilarli darjada ko'p, umumiy gaz g'ovaklik darajasi 14-15 % ni tashkil etdi.

Oksidli qo'shimchalar tahlili natijasida (1-rasm) ko'p fazali, geterogen ichki tuzilishga ega ekanligi aniqlandi. Element xaritalari ushbu zarralarda Al, Si, Cr, Mo va Nb elementlarining yuqori konsentratsiyada jamlanganini tasdiqladi. Al va O elementlarining bir vaqtda mavjudligi  $\text{Al}_2\text{O}_3$  asosli yoki murakkab oksid fazalar shakllanganini, Si konsentratsiyasining yuqoriligi esa silitsid yoki oksid-silikat komplekslar ehtimolini ko'rsatadi. Cr elementning tarqalishi zarra va matritsa o'rtasida diffuzion o'zaro ta'sir mavjudligini anglatadi.

1-rasm a qizil to'rtburchak bilan belgilangan ob'yektda noqonuniy shaklga ega, ko'p fazali va ichki tuzilishi geterogen bo'lgan zarralar borligi aniqlandi. Ushbu zarra Ni-asosli matritsaga kirmaydigan, Mo-Nb-Si-Al-O elementlari bilan boyitilgan murakkab oksid-intermetallid qo'shimchalar deyish mumkin. Bunday qo'shimchalar bir joyda jamlanishi qotishmada quyidagi nuqsonlarni hosil bo'lishiga asos bo'ladi:

- mahalliy qattqlikni oshirishi;
- yoriq boshlanish nuqtasi bo'lishi mumkin;
- qotishmani zarbga chidamliligini pasaytirishi mumkin.

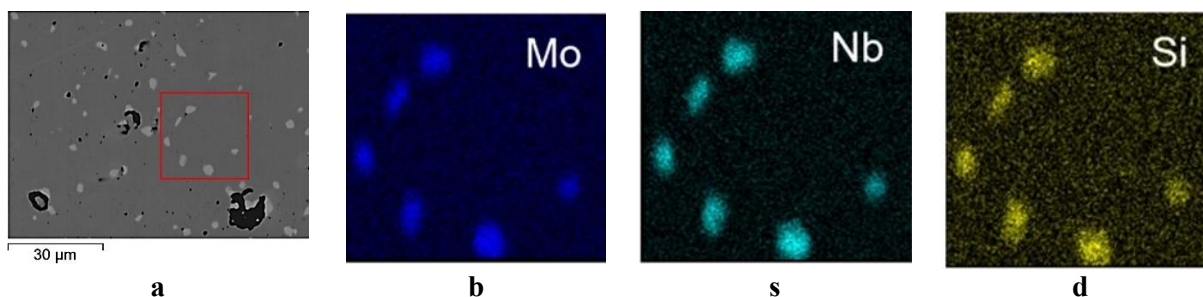


**1-rasm. Inconel 617 qotishmasi quyma usulda olingan namunalarda tarkibidagi oksidli qo'shimchalar**

Qotishma tarkibidagi karbidlar butun mikrostruktura bo'ylab bloksimon shaklda ham donalar ichida, ham donalar chegaralarida borligi kuzatildi. Ikkilamchi fazalarning umumiy hajmiy ulushi taxminan 2,2-2,4 % ni tashkil etib, asosan donalar chegaralari hamda g'ovak va qo'shimchalar atrofida lokallashgan holda joylashgani kuzatildi (2-rasm, a). Element xaritalari ushbu fazalarning Mo, Nb va Si elementlari bilan to'yinganini tasdiqlab (2-rasm, b, s, d), ular intermetallid yoki karbid tabiatga mos ekanligini ko'rsatdi.

Mo va Nb xaritalarida aynan yorqin zarralar joyida yuqori intensivlik kuzatildi (2-rasm b, s). Bu ushbu zarralarning Mo-Nb ga to'yingan intermetallid yoki karbid fazalar ekanligini tasdiqlaydi.

Si xaritasida ham zarralar bilan bog'liq ravishda lokal konsentratsiya oshishi kuzatildi (2-rasm d), bu Si ishtirokidagi murakkab fazalar shakllanganini ko'rsatadi.



**2-rasm. Inconel 617 qotishmasi quyma usulda olingan namunalarda Ni-asosli matritsa fonida joylashgan ikkilamchi faza Mo, Nb va Si elementlarini joylashishi**

Natijalar tahlili elektroshlakli eritish jarayonida metallmas qo‘shimchalarning shlakka samarali o‘tishi va yo‘naltirilgan dendritli struktura shakllanishini ko‘rsatdi. Biroq quyma tarkibida gaz g‘ovaklik darajasining 14-15 % ni tashkil etishi, markaziy va kontur zonlarda makrodefektlar mavjudligi texnologik rejimlarni yanada takomillashtirish zarurligini bildiradi. Oksidli va intermetallid qo‘shimchalarning geterogen tuzilishi mahalliy qattqlikning oshishi, yoriqlar paydo bo‘lishi va zarbga chidamlilikning pasayishiga olib kelishi mumkin.

**Xulosa.** Quyma usulda olingan nikel asosli olovbardosh maxsulotlarda gaz g‘ovaklari, metallmas qo‘shimchalar va ikkilamchi fazalarning

shakllanishi struktura birxilligini buzib, mexanik va korrozion xossalarning pasayishiga olib kelishi aniqlandi.

Elektroshlakli eritish texnologiyasi metallmas qo‘shimchalarni kamaytirish va yo‘naltirilgan dendritli struktura shakllantirishga imkon bersa-da, gaz g‘ovaklikni to‘liq bartaraf etish uchun texnologik rejimlarni yanada optimallashtirish zarur.

Inconel 617 qotishmasining yuqori sifatli quymalarini olish va ekspluatatsion ishonchligini oshirish maqsadida vakuumli eritish, maqsadli modifikatsiyalash va elektroshlakli qayta eritishni o‘z ichiga olgan kompleks texnologik yondashuvni qo‘llash maqsadga muvofiqdir.

#### ADABIYOTLAR

1. Donachie M.J., Donachie S.J. Superalloy-Retrospect and Future Prospects. A Technical Guide. ASM, 2002. pp. 339-351.
2. Reed R.C. The Superalloys: Fundamentals and Applications. Cambridge Univ. Press, 2006. 372 p.
3. Glicksman M.E. Principles of Solidification. Springer, 2011. 345 p.
4. Thomas D., Gleadall A. Advanced metal transfer additive manufacturing of high temperature turbine blades // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Vol. 121, 2022, pp. 639–654.
5. Thompson Y., Zissel K., Förner A., Körner C. Metal fused filament fabrication of the nickel-base superalloy IN 718 // Journal of Materials Engineering and Performance. Vol. 31, 2022, pp. 6641–6653.
6. Lu Z., Ayeni O.I., Yang X., Park H.Y., Jung Y.G. Microstructure and phase analysis of 3D-printed components using bronze metal filament // Journal of Materials Engineering and Performance. Vol. 29, 2020, pp. 5751–5762.
7. Ramazani H., Kami A. Metal FDM, a new extrusion-based additive manufacturing technology for manufacturing of metallic parts: a review // Progress in Additive Manufacturing. Vol. 7, 2022, pp. 75–98.
8. Carrozza A., Mazzucato F., Aversa A., Reischle M., Calignano F., Manfredi D., Fino P., Ambrosio E.P. Single scans of Ti-6Al-4V by directed energy deposition: a cost and time effective methodology to assess the proper process window // Metals and Materials International. Vol. 27, 2021, pp. 1655–1666.
9. Cabrini M., Carrozza A., Lorenzi S., Pastore T., Manfredi D., Fino P. Influence of surface finishing and heat treatments on the corrosion resistance of LPBF-produced Ti-6Al-4V alloy for biomedical applications // Journal of Materials Research and Technology. Vol. 18, 2022, pp. 2401–2414.
10. Khorasani A.M., Gibson I., Veetil J.K., Ghasemi A.H. A review of technological improvements in laser-based powder bed fusion of metal printers // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. Vol. 108, 2020, pp. 191–209.
11. Gao Y., Ding Y., Chen J., Xu J., Ma Y., Wang X. Effect of twin boundaries on the microstructure and mechanical properties of Inconel 625 alloy // Materials Science and Engineering: A. Vol. 742, 2019, pp. 501–512.
12. Shuai Wang, Xueyu Liao, Zhibin Zheng, Jun Long, Maolin Shen, Weixin Chen, et al. Exploring the hardness-independent wear behavior of typical wear-resistant materials under dynamic and static conditions. J Mater Res Technol. 2024, 33, pp. 6798-6809.

## СОДЕРЖАНИЕ

## 1. Химия и физикохимия композиционных материалов и нанокomпозитов

- Негматов С.С., Абед Н.С., Негматова К.С., Туляганова В.С., Негматов Ж.Н., Касимов Ш.Б., Бозорбоев Ш.А., Муродов И.И., Эргашев Н.Э., Абдукаххоров А.А., Саидкулов С.А.** О механизме физико-химических взаимодействий компонентов композиционных полимерных материалов, наполненных неорганическими и органическими ингредиентами ..... 3
- Абед Ф.Ж., Иногамов С.Е., Туреева Г.А.** Разработка и валидация методов анализа экстракта Алоэ и метилурацила в комбинированных фитоплёнках ..... 9
- Негматов С.С., Бабаханова М.А., Касимова М.Н., Раупова Д.Н., Шамсиевна С.С.** Исследование влияния состава на свойства композиционных лакокрасочных материалов на основе местного сырья, применяемых в различных отраслях промышленности ..... 13
- Сафаева Д.Р., Шукруллаева М.С., Тиллаев Т.У., Шин И.Г.** Взаимосвязь структуры и энергетического состояния запечатываемых полимерных пленок с напряжением коронного разряда при их активации .... 16
- Негматов С.С., Хурсанов А.Х., Негматов Ж.Н., Негматова К.С., Абед Н.С., Холмурадова З.К., Икрамова М.Э., Эрнийёзов Н.Б.** Исследование состава и технологических режимов флотационного обогащения медно-молибденовых руд месторождения «Кальмакыр» с применением флотореагента-вспенивателя КХФ-ВС..... 18
- Жумаева А.А.** Модификацияланган поливинилхлориднинг юмшаш ҳароратларини ўрганиш ..... 21
- Khusanova M.F., Djalilov A.T., Beknazarov X.S.** Synthesis and physicochemical characterization of highly absorbent oleogels ..... 24
- Эшдавлатова Г.Э., Камолов Л.С., Бобилова Ч.Х.** Исследование эффективности пенообразования на основе блок-сополимеров в растворах диэтанолamina ..... 27
- Radjabov O.I., Yariev O.O., Azimova L.B., Djurabaev Dj.T., Filatova A.V., Turaev A.S.** Na-KMS va I tip kollagenning o'zaro ta'sirini molekulyar doking usulida ilmiy asoslash ..... 30
- Айтмуратова А.Е., Сидрасулиева Г.Б., Каттаев Н.Т., Акбаров Х.И., Дадаходжаев А.Т.** Синтез нанодисперсного NiO из отработанного промышленного катализатора ТО-2 и исследование его структурных и адсорбционных свойств ..... 34

## 2. Физико-механика и трибология композиционных материалов

- Abed N., Negmatova K., Tulyaganova V., Tukhtasheva M., Shamsiyeva S., Kosimov Sh.** Investigation of the influence of the nature and type of fillers on the antifriction-wear-resistant properties of composite polymer coatings ..... 39
- Алланазаров А.А.** Оқ чўянларни кесувчи асбоб тифининг ейилишга бардошлигини назарий тадқиқи ..... 42
- Berdiyev D.M., Liang Z., Abdullayev A.X., Ibroximova M.M.** Nikel asosli olovbardosh qotishmalar xossalariга metallmas qo'shimchalarning ta'siri ..... 44
- Абдуллаев Ф.К., Йулдошев О.Ч.** Экспериментальное исследование жидкотекучести чугуновых сплавов. 47
- Алланазаров А.А., Ахмедов А.Х., Шакиров Ш.М., Хусанов У.С.** Оқ чўянга механик кесиб ишлов бериш жараёнини назарий тадқиқ этиш ..... 50
- Saidakhmedova G.R., Inoyatkhodjaev J.Sh., Saydakhmedov R.Kh., Parpiev M.M.** Effect of aluminum coating thickness on the performance characteristics of reflectors ..... 54
- To'rayev A.N., Murodqosimov R.X., Axmedova M.E., Solijonova Sh.X., Xolmatov E.M., Rajabova M.A.** Nikel qo'shimchasining alyuminiy qotishmalarining yeyilishbardoshligiga ta'sirini o'rganish ..... 57
- Kodirov O., Safarov T., Beknazarov Kh.** Study kinetic results of the inhibitors synthesis of corrosion inhibitor based on P-phenylenediamine, formalin and alanine ..... 59

## 3. Разработка и технология получения композиционных материалов

- Абед Н.С.** Разработка метода формирования электропроводящих композитов с сегрегированной структурой, содержащих наноразмерный углеродный наполнитель ..... 64