



## PO‘LAT ERITISH TEXNOGEN CHANGLARINING MIKROSTRUKTURAVIY VA ELEMENTAR TARKIBINI TEM–EDS USULLARIDA O‘RGANISH

**Samadov A.U.** <sup>1</sup>[0009-0001-9631-4658], **Jalolov B.A.** <sup>2</sup>[0009-0004-3736-3056],  
**Kamalova I.M.** <sup>3</sup>[0009-0008-0245-3827]

<sup>1</sup>Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti Olmaliq filiali direktori, t.f.d.,  
professor, E\_mail: alishersamadov@yandex.ru

<sup>2</sup>Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti Olmaliq filiali tayanch doktoranti,  
E\_mail: jalolovbaxtiyorjon319@gmail.com

<sup>3</sup>Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti Olmaliq filiali magistranti,  
E\_mail: irodaashirmatova14@gmail.com

**Annotatsiya.** Ushbu maqolada “O‘zmetkombinat” AJda ishlab turgan yoyli po‘lat eritish pechidan ajralib chiqayotgan texnogen changlarning morfologik, granulometrik, kimyoviy va fazaviy tarkibi chuqur tahlil qilindi. TEM (Transmission Electron Microscopy) va EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) usullari yordamida chang zarrachalarining shakli, tuzilmasi va elementlar tarkibi o‘rganildi. Tahlil natijalari changdagi asosiy komponentlar temir (Fe) va rux (Zn) ekanligini ko‘rsatdi. Zarrachalarning aksariyati sferik yoki yaqin-sferik shaklda bo‘lib, yuqori haroratli jarayonlar ta’sirida hosil bo‘lganligini anglatadi. Fazaviy tahlilda esa  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ , MgO, ZnO va  $SiO_2$  kabi birikmalar mavjudligi qayd etildi. Ushbu ma’lumotlar texnogen changlarni qayta ishlash orqali ikkilamchi metallurgik xomashyo sifatida foydalanish imkoniyatlarini ochib beradi.

**Kalit so‘zlar:** yoyli po‘lat eritish pechi changi, TEM-EDS tahlili, morfologik xususiyat, elementar tarkib, fazaviy tahlil, rux va temir oksidlari, Ikkilamchi xomashyo, qayta ishlash texnologiyasi.

**Annotation.** This article presents a comprehensive analysis of the morphological, granulometric, chemical, and phase composition of technogenic dust generated in the electric arc furnace at JSC “Uzmetkombinat”. Using Transmission Electron Microscopy (TEM) and Energy Dispersive Spectroscopy (EDS), the shape, structure, and elemental content of dust particles were examined. The analysis revealed that iron (Fe) and zinc (Zn) oxides are the primary components. The particle morphology suggests formation under high-temperature conditions. Phase analysis confirmed the presence of compounds such as  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ , MgO, ZnO, and  $SiO_2$ . These findings support the potential for recycling such dust as a valuable secondary raw material in metallurgy.

**Keywords:** Electric arc furnace dust, TEM–EDS analysis, particle morphology, elemental composition, phase analysis, iron and zinc oxides, secondary raw materials, metallurgical recycling.

**Аннотация.** В данной статье представлен углублённый анализ морфологического, гранулометрического, химического и фазового состава техногенных пылей, образующихся в дуговой сталеплавильной печи АО «Узметкомбинат». С использованием методов просвечивающей электронной микроскопии (TEM) и энергодисперсионной спектроскопии (EDS) исследованы форма, структура и элементный состав пылевых частиц. Анализ показал, что основными компонентами пыли являются оксиды железа (Fe) и цинка (Zn), а морфология частиц указывает на их образование в условиях высоких температур. Фазовый анализ выявил присутствие таких соединений, как  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ , MgO, ZnO и  $SiO_2$ . Полученные результаты подтверждают возможность переработки этих пылей как вторичного сырья в металлургии.

**Ключевые слова:** Пыль дуговой сталеплавильной печи, TEM–EDS анализ, морфология частиц, элементный состав, фазовый анализ, оксиды железа и цинка, вторичное сырьё, металлургическая переработка.

### Kirish

Yurtimizda qora metallurgiya sanoatini izchil rivojlantirish, aholining ushbu sohadagi mahsulotlarga bo‘lgan ortib borayotgan talabini qondirish muhim vazifalardan biri hisoblanadi. Shu maqsadda O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2025-yil

30-yanvardagi PF-16 son farmoni bilan 2030-yilgacha qora metallurgiya sanoatini rivojlantirish strategiyasini ishlab chiqish belgilangan [1].

Strategiya natijasida 2030 yilgacha temir ma'danlari qazib olish hajmini 7,2 million tonnaga, qora metallurgiya mahsulotlari ishlab chiqarishni esa 7,8 million tonnaga yetkazish rejalashtirilgan. Shuningdek, sohaga oid 10 ta yirik istiqbolli loyiha amalga oshiriladi [2].

Hozirgi vaqtda metallurgiya ishlab chiqarishining texnogen xomashyosini qayta ishlash masalalariga tobora ko'proq e'tibor qaratilmoqda. Qora metallurgiya korxonalarining ishlab chiqarish faoliyatidan ko'p miqdorda chiqindilar (moy bilan ifloslangan okalina, gaz tozalash changlari, shlamlar, shlaklar) doimiy ravishda to'planmoqda.

O'zbekiston Respublikasining yetakchi metallurgiya korxonalaridan biri bo'lgan "O'zmetkombinat" AJning Elektrda po'lat eritish sexida ishlab turgan DSP100-UMZ yoyli po'lat eritish pechida 1ta eritish davomiyligida 100 t. suyuq po'lat quyib olinadi.

Eritish jarayoni natijasida hosil bo'ladigan changning hajmi yiliga 60 ming tonnani tashkil etadi. Ushbu chiqindilarning asosiy qismini metall oksidlari tashkil etadi, bu ularni keyinchalik qayta ishlash hamda rux va temir kabi foydali komponentlarni ajratib olish uchun qimmatli xomashyoga aylantiradi [3].

Hozirgi kunda "O'zmetkombinat" AJda Quyuv-prokatlash majmuasi (QPM) qurilmoqda. Ushbu loyiha yiliga 1 million tonnadan ortiq issiq prokat ishlab chiqarish imkonini beradi.

Majmua Italiyaning "Danieli" kompaniyasining ilg'or texnologiyalari bilan jihozlanmoqda. DSP-120 rusumli yoyli po'lat eritish pechi, uzluksiz quyish mashinasi va prokatlash dastgohi o'rnatilmoqda.

DSP-120 rusumli yoyli po'lat eritish pechida kuniga 3480 t. va yiliga 1270000 t. suyuq po'lat olish imkoni mavjud. Quyuv-prokatlash majmuasining ishga tushirilishi (PF-16, 30.01.2025ga muvofiq 2025-yil iyunda) orqali eritish jarayoni natijasida hosil bo'luvchi chang miqdori 2 barobar va undan ko'proqga oshishi mumkin.

## Uslubiyat

"O'zmetkombinat" AJning Elektrda po'lat eritish sexida ishlab turgan yoyli po'lat eritish pechidan ajralib chiqayotgan chang namunalarning morfologik, granulometrik, kimyoviy va fazaviy tarkibi chuqur o'rganildi. Chang namunasi dastlab elakli ajratish orqali besh fraksiyaga bo'lindi va uning granulometrik tarkibi 1-jadvalda keltirilgan.



1-rasm. "O'zmetkombinat" AJ YPE pechidan hosil bo'lgan chang namunasi.

1-jadval.

Changning granulometrik tarkibi

T/r	O'lchami, mm	Og'irligi, gr	Ulushi, %
1.	+1-2	850	11,3
2.	+0,5-1	2850	37,9
3.	+0,1-0,5	3500	46,7
4.	+0,074-0,1	250	3,3
5.	+0,04-0,074	60	0,8
Jami		7510	100

Chang namunasini o'rganishda EDS (Energy Dispersive Spectroscopy), TEM (Transmission Electron Microscopy) va EDS (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) tahlil usullaridan foydalanildi.

Tahlillar Rigaku MiniFlex 300/600 difraktometri yordamida 2θ burchak oralig'i 3°–120° oralig'ida 40 kV, 15 mA quvvatda rentgen nurlanishi ostida, Thermo Scientific Talos F200i

(S)TEM 20-200 kV maydon emissiyasi (skanerlash) transmission elektron mikroskopida va Rigaku NEX CG EDXRF Yuqori samarali energiya dispersiyali rentgen fluorescent spektrometri yordamida amalga oshirildi.

Elakli tahlil natijalariga ko'ra, chang zarrachalarining asosiy qismini o'rta o'lchamli fraksiyalar tashkil etadi: +0,1–0,5 mm o'lchamdagi zarrachalar 46,7% ni, +0,5–1 mm esa 37,9% ni tashkil etdi. Bu esa namunaning yirik va o'ta mayda zarrachalardan iborat emasligini, balki asosiy hajmni o'rta disperslikdagi zarrachalar egallashini ko'rsatadi. Bu holat keyingi metallurgik ishlov berish usullarini tanlashda muhim omil hisoblanadi.

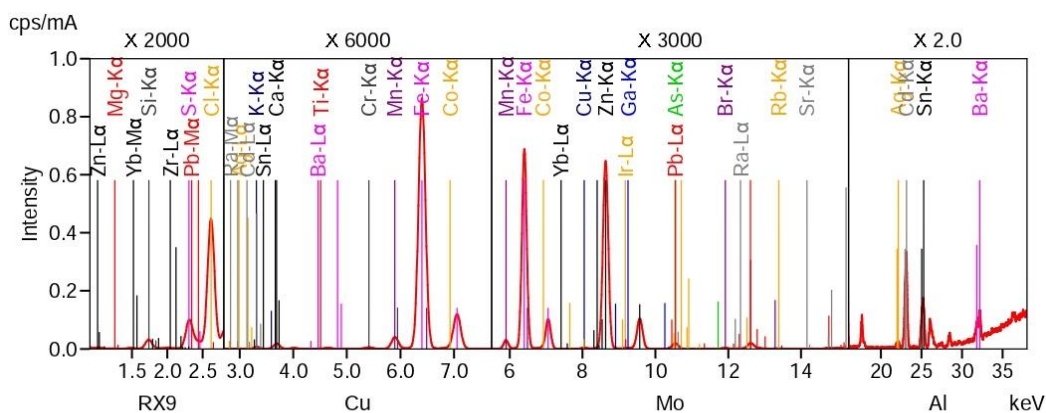
Chang tarkibidagi har bir zarracha fraksiyasining asosiy kimyoviy elementlari EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) usuli yordamida aniqlanib, natijalar 2-jadvalda keltirilgan. Tahlil natijalariga ko'ra, barcha fraksiyalar tarkibida temir (Fe) va rux (Zn) yuqori miqdorda aniqlandi. Jumladan:

- temir miqdori 35,1–40,06% oraliqda bo'lib, ayniqsa +0,1–0,5 mm fraksiyada maksimal qiymatga yetgan;
- rux konsentratsiyasi esa 17,9–38,96% diapazonda bo'lib, +0,1–0,5 mm fraksiyada eng yuqori ko'rsatkichga ega.

2-jadval.

Changning o'lchamlar bo'yicha kimyoviy tarkiblari

T/r	Elementlar	Ulushlari, %				
		+0,04-0,074 mm	+0,074-0,1 mm	+0,1-0,5 mm	+0,5-1 mm	+1-2 mm
1.	Uglerod (C)	-	6.6	1.95	4.80	-
2.	Kislorod (O)	-	13.84	7.98	13.95	-
3.	Natriy (Na)	8.63	1.98	1.36	1.82	7.72
4.	Magniy (Mg)	0.815	0.38	0.21	0.34	0.729
5.	Alyuminiy (Al)	0.547	0.45	0.11	0.25	0.489
6.	Kremniy (Si)	2.34	1.91	1.09	1.68	2.78
7.	Oltinugurt (S)	1.32	1.24	0.81	1.28	0.994
8.	Xlor (Cl)	3.80	1.05	1.24	1.35	2.08
9.	Kaliy (K)	2.45	1.74	1.49	1.62	2.13
10.	Kalsiy (Ca)	4.40	2.29	2.35	2.58	3.66
11.	Marganes (Mn)	2.14	1.88	2.38	2.46	1.57
12.	Temir (Fe)	35.1	39.23	40.06	35.33	37.2
13.	Rux (Zn)	26.7	27.18	38.96	33.54	17.9

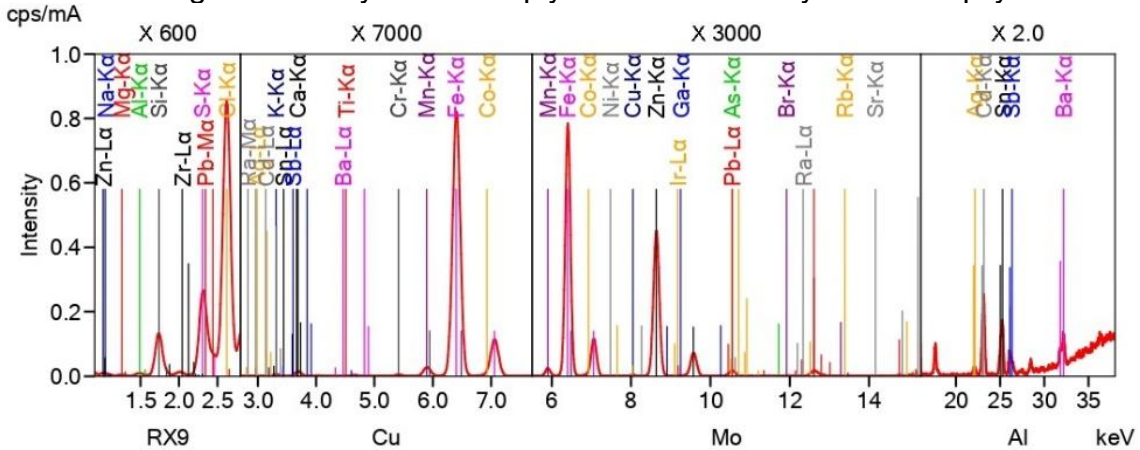


2-rasm. +0,04-0,074 mm o'lchamdagi chang zarrachalarining EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) spektrogrammasi.

Bundan tashqari, kislorod, natriy, magniy, alyuminiy, kremniy, kalsiy va boshqa mikroelementlar ham ma'lum miqdorlarda aniqlandi. Uglerod miqdori esa +0,5–1 mm va

+0,1–0,5 mm fraksiyalarda nisbatan yuqori (4,8% gacha) bo'lgan bo'lsa-da, eng mayda zarrachalarda u aniqlanmagan. 2-jadvalda keltirilgan kimyoviy elementlardan tashqari Br, Ti, Cr, Co, Cu, Ga, Rb, Sr, Zr, Ag, Cd, Sn, Ba, Ir, Pb, Ra, Yb kabi elementlar ham juda kam miqdorda bo'lsa ham mavjudligi aniqlangan.

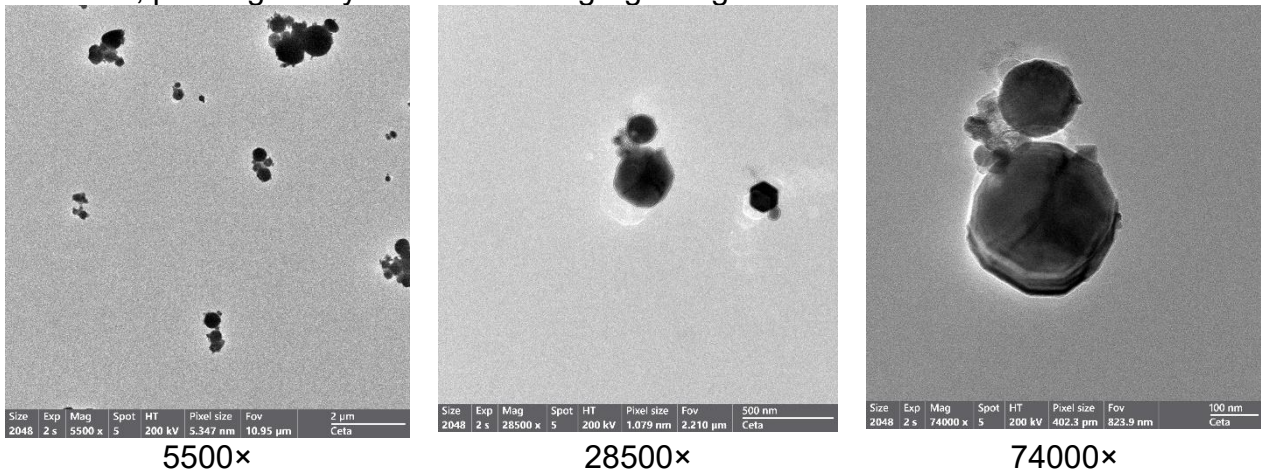
Ushbu ko'rsatkichlar, ayniqsa rux va temirning yuqori konsentratsiyasi, bu changlarni ikkilamchi metallurgik xom ashyo sifatida qayta ishlash imkoniyatini tasdiqlaydi.



**3-rasm. +1-2 mm o'lchamdagi chang zarrachalarining EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) spektrogrammasi.**

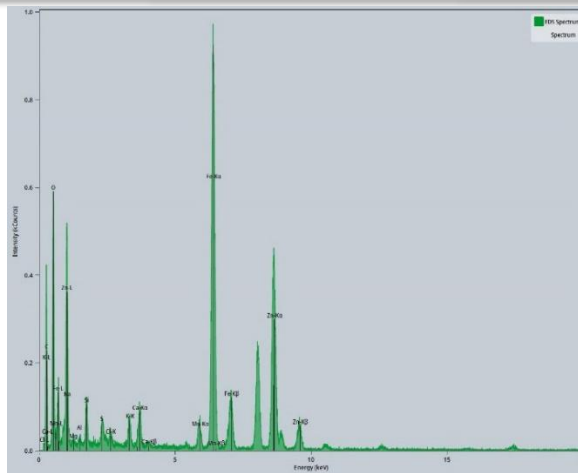
Struktura va tarkibiy xususiyatlarni chuqur o'rganish maqsadida changga TEM (Transmission Electron Microscopy) va EDS (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) tahlillari qo'llanildi. TEM yordamida zarrachalarning morfologiyasi va fazaviy shakllanishi aniqlangan bo'lsa, EDS yordamida esa ular tarkibidagi elementar kompozitsiya miqdoriy va sifat jihatdan baholandi.

Chang zarrachalarining morfologik xususiyatlari TEM usuli orqali turli kattalikdagi fraksiyalar bo'yicha o'rganildi (4–9-rasmlar). Tasvirlarda zarrachalarning noorganik tuzilmalari, porozligi va ayrim holatlarda agregatlangan shaklda bo'lishi kuzatildi.



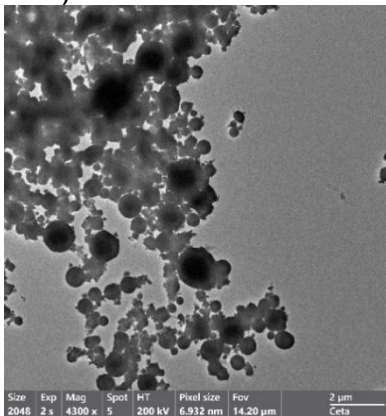
**4-rasm. +0,074-0,1 mm o'lchamdagi chang zarrachalarining TEM (Transmission Electron Microscopy) tasvirlari.**

4-rasmdagi TEM tasvirlaridan ko'rinib turibdiki, +0,074-0,1 mm o'lchamdagi chang zarrachalari asosan sferik yoki yaqin-sferik shaklga ega bo'lib, ular o'zaro birikkan agregatlar holida taqsimlangan. 5500× kattalashtirishda zarrachalarning keng o'lcham oralig'i (50–300 nm) qayd etilgan.

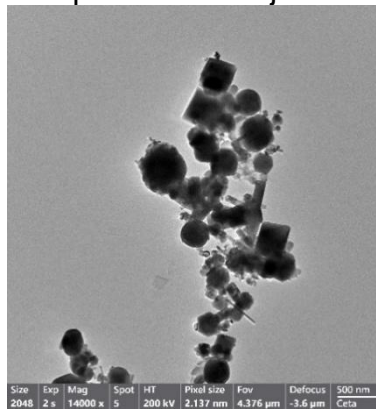


5-rasm. +0,074-0,1 mm o'lchamdagi chang zarrachalarining dispersiv rentgen spektroskopiyasi (EDS) spektri.

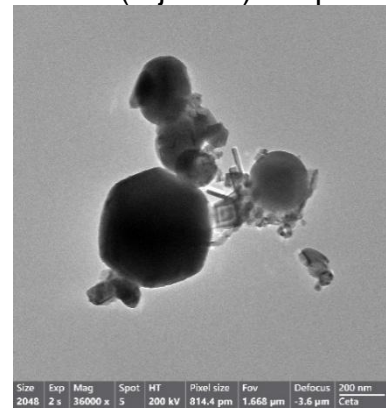
28500× va 74000× kattalashtirishlarda esa ularning aniqlik darajasi ortib, kristallik va fazali struktura yaxshiroq ko'zga tashlandi. Ayrim zarrachalar aniq qirrali shaklga ega bo'lib, bu ularning kristallik xususiyatga ega ekanligidan dalolat beradi. Kichik zarrachalarning yirik strukturalarga birikkan holati esa nukleatsiya va o'sish mexanizmlarining faol kechayotganini anglatadi. TEM tasviri asosida aniqlangan strukturaviy xususiyatlar EDS tahlil natijalari (5-rasm) bilan mustahkamlandi. EDS spektr tahlilida jami 14 ta element (2-jadval) aniqlandi.



4300×

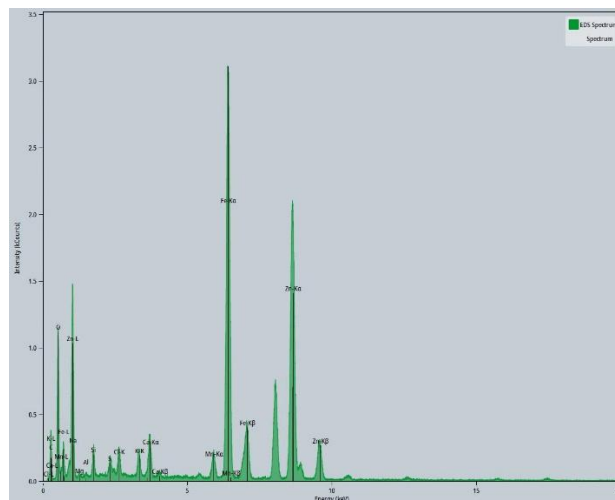


14000×



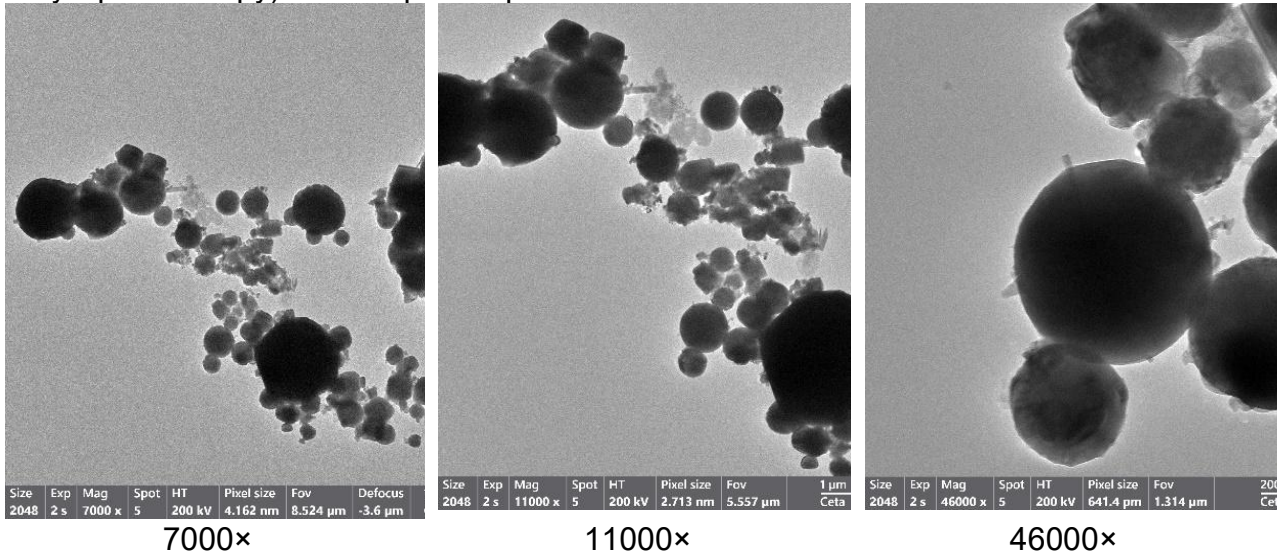
36000×

6-rasm. +0,1-0,5 mm o'lchamdagi chang zarrachalarining TEM (Transmission Electron Microscopy) tasvirlari.

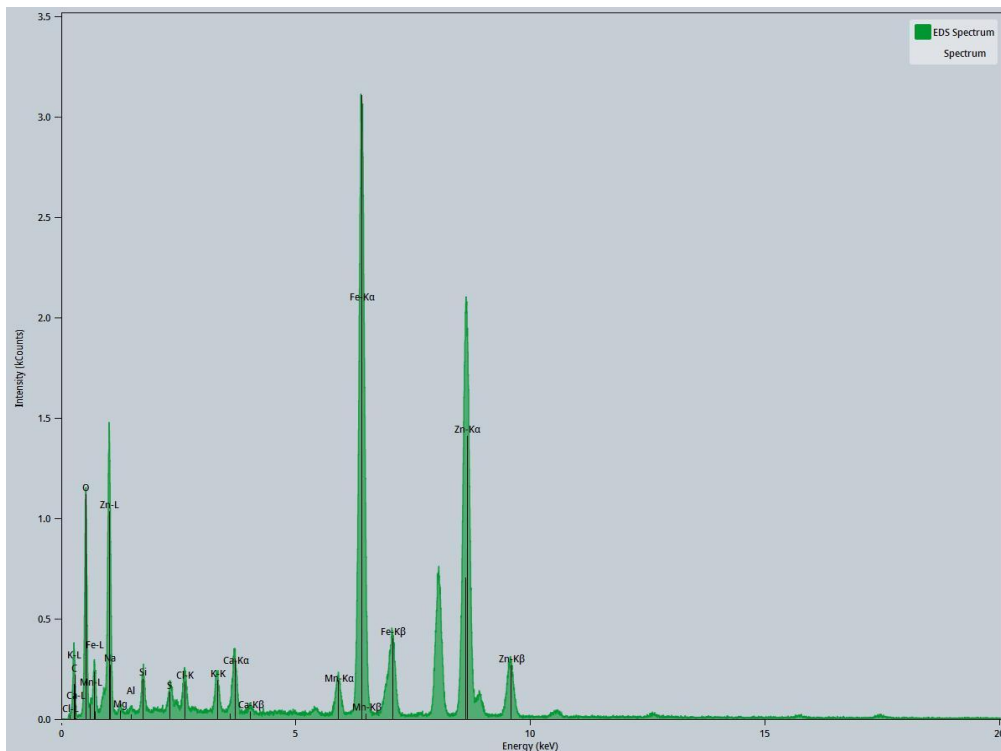


7-rasm. +0,1-0,5 mm o'lchamdagi chang zarrachalarining dispersiv rentgen spektroskopiyasi (EDS) spektri.

6-rasmda 36000×, 14000× va 4300× ko'paytirish darajasidagi tasvirlarda +0,1-0,5 mm o'lchamdagi chang zarrachalari sferik, kubik va notekis shakllarda aglomeratsiyalashgan holatda aniq kuzatildi. Bu shakllar ularning yuqori haroratli jarayonlarda hosil bo'lganligidan dalolat beradi. Ayniqsa sferik shakldagi zarrachalarning ustunligi ularning erigan holatdan tez soviganligini bildiradi. Aglomeratsiyalangan mayda zarrachalar esa changning kondensatsiyalangan va qayta birikkan holatda ekanligiga ishora qiladi. 6–7–rasmlarga muvofiq elementar tahlil natijalari (2-jadval) EDS (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) usuli orqali aniqlandi.



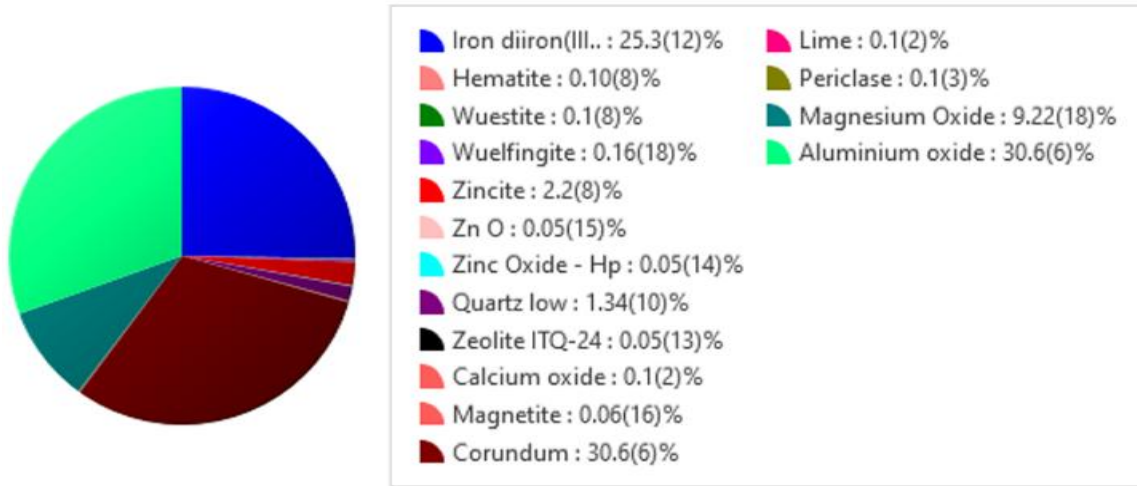
8-rasm. +0,5-1 mm o'lchamdagi chang zarrachalarining TEM (Transmission Electron Microscopy) tasvirlari.



9-rasm. +0,5-1 mm o'lchamdagi chang zarrachalarining dispersiv rentgen spektroskopiyasi (EDS) spektri.

+0,5-1 mm o'lchamdagi chang zarrachalarining TEM tasvirlari (8-rasm) 7000×, 11000× va 46000× ko'paytirish darajalarida olingan bo'lib, unda zarrachalarning sferik, yarim sferik va mayda qirralangan holatlari kuzatildi. Ko'pgina zarrachalar to'liq sferik shaklda bo'lib, bu

ularning suyuq fazadan tez sovib qotganligini bildiradi. Kattaroq zarrachalar atrofida mayda zarrachalar yig'ilgan bo'lib, bu ularning aglomeratsiyalangan holatda ekanligini va gaz muhitida kondensatsiyalanganligini ko'rsatadi. Shuningdek, ba'zi zarrachalar kubik va notekis ko'rinishda bo'lib, bu kristallik fazalarning shakllanganligini bildiradi. EDS tahlil natijalari (9-rasm, 2-jadval) namunada temir va rux asosiy metall komponentlar sifatida mavjudligini ko'rsatdi.



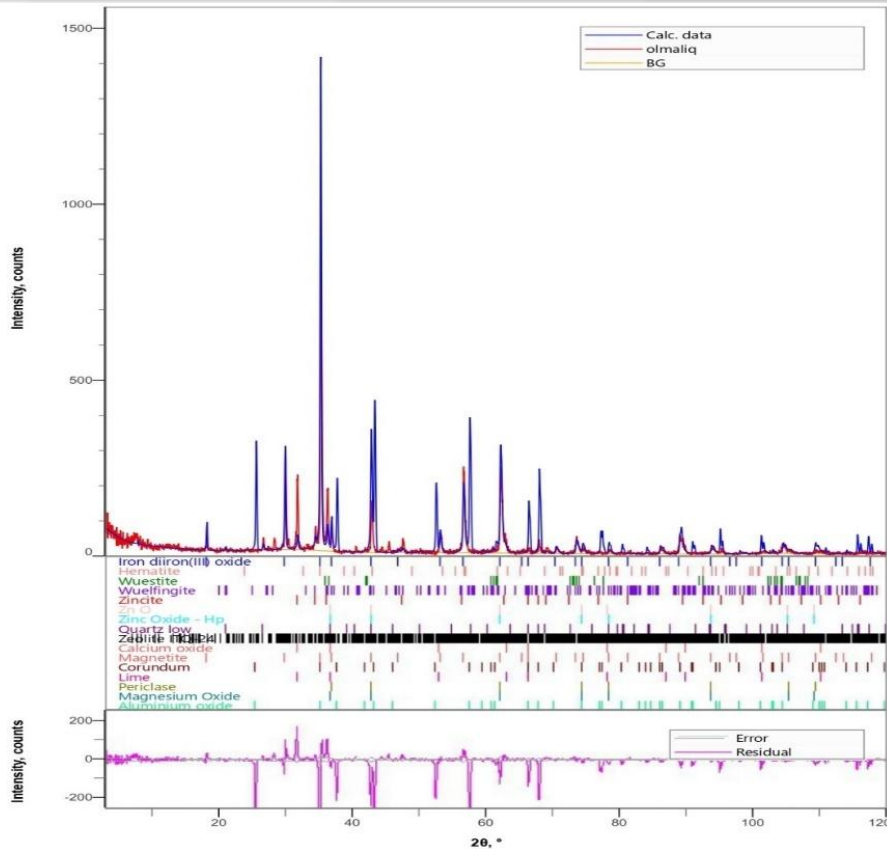
10-rasm. Changing WPPF (Weight Percentage per Phase Fraction) bo'yicha fazaviy tarkibi.

10–11-rasmlarda keltirilgan WPPF va XRD tahlillari natijalari asosida fazaviy tarkibi aniqlanib, 3-jadvalda umumlashtirilgan holatda keltirilgan. Eng ko'p uchraydigan komponentlar  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $ZnO$  va  $SiO_2$ lardir.

3-jadval.

WPPF tahliliga ko'ra changning fazaviy tarkibi

T/r	Komponentlar	Ulushi, %
1.	Alyuminiy oksidi ( $Al_2O_3$ )	30.6
2.	Korund (tabiiy $Al_2O_3$ )	30.6
3.	Temir (III) oksidi ( $Fe_2O_3$ )	25.3
4.	Magniy oksidi ( $MgO$ )	9.22
5.	Rux oksidi ( $ZnO$ )	2.2
6.	Vyulfingit $Zn(OH)_2$	0.16
7.	Sinkit ( $Zn,Mn$ )O	2.2
8.	Rux oksidi-Hp	0.05
9.	Kremniy dioksidi ( $SiO_2$ )	1.34
10.	Magnetit ( $Fe_3O_4$ )	0.06
11.	Gematit ( $Fe_2O_3$ )	0.1
12.	Vyustit ( $Fe_{1-x}O$ )	0.1
13.	Kalsiy oksidi ( $CaO$ )	0.1
14.	ITQ-24 seoliti	0.05
15.	Ohak	0.1
16.	Periklaz ( $MgO$ )	0.1



11-rasm. Changning rentgen difraksiyon (XRD) tahlili.

Fazaviy tahlil natijalarida korund (tabiiy  $Al_2O_3$ ), gematit, vyustit, sinkit, vyulfingit kabi minerallar mavjudligi qayd etilgan. Bu esa chang tarkibida bir nechta kristallik fazalarning mavjudligini va ularning har xil termodinamik holatlarda mavjudligini anglatadi. Fe va Zn changdagi asosiy elementlar bo'lib, umumiy og'irlik ulushi 70% dan ortiq. Kislorod ulushining yuqoriligi, komponentlarning oksid holatida mavjudligini ko'rsatadi. Bu holat ularni qaytaruvchi yoki xlorlovchi usullar bilan ajratib olish imkonini yaratadi.

Yuqoridagi tahlillar asosida, "O'zmetkombinat" AJning yoyli po'lat eritish pechidan ajralayotgan changlar boy mineral va kimyoviy tarkibga ega bo'lib, ushbu texnigen changni ikkilamchi xomashyo manbai sifatida foydalanish mumkinligini hamda uning tarkibidan temir va ruxni ajratib olish iqtisodiy va texnologik jihatdan maqsadga muvofiqligini ko'rsatadi. Changdagi yirik fraksiyalarda rux va temir nisbati balandligi bo'lgani uchun pirometallurgik yoki gidrometallurgik usullar bilan kompleks qayta ishlash istiqbolidir.

## Xulosa

O'tkazilgan tadqiqotlar yoyli po'lat eritish pechida po'lat ishlab chiqarishda hosil bo'luvchi texnogen changlarining elementar va fazaviy tarkibi bo'yicha qimmatli ma'lumotlarni taqdim etdi. Tahlil natijalari ushbu changlarning yuqori miqdorda temir va rux oksidlarini o'z ichiga olishini, shuningdek, morfologik va kristallik jihatdan qayta ishlashga yaroqli ekanligini tasdiqlaydi. Fazaviy tahlil esa oksidlar, korund, vyustit, sinkit kabi birikmalar mavjudligini ko'rsatdi. Bu esa changlarni metallurgik jihatdan samarali qayta ishlashga asos bo'ladi. Natijalar, ayniqsa, gidrometallurgik va pirometallurgik texnologiyalarni ishlab chiqish uchun muhim asos bo'lib xizmat qiladi.

Bunday tarkibli changlar gidro- yoki pirometallurgik usullar orqali metall va foydali birikmalarni ajratib olish imkoniyatini yaratadi. Bu esa, texnogen chiqindilardan foydalanish samaradorligini oshirish bilan birga, ekologik xavflarni kamaytirishga ham xizmat qiladi.



### Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati:

[1.] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining "O'zbekiston — 2030" strategiyasini "Atrof-muhitni asrash va "yashil iqtisodiyot" yilida amalga oshirishga oid davlat dasturi to'g'risidagi 30.01.2025 yildagi PF-16-son farmoni.

[2.] <https://uza.uz/posts/721600>

[3.] Samadov A.U., & Jalolov B.A. (2024). Po'lat ishlab chiqarishda hosil bo'luvchi rux saqlovchi changlar tahlili / Journal of Advances in Engineering Technology, (4), 132-136.

[4.] Samadov A.U., & Jalolov B.A. (2024). Yoyli po'lat eritish pechida po'lat ishlab chiqarishda changning hosil bo'lishi / International journal of advanced technology and natural sciences, 5 (4), 12-16.

[5.] Sunnatov J.B, & Qarshiyev X.K (2021). Qora metallurgiyada hosil bo'lgan changlardan rangli metallarni ajratib olish texnologiyalarini o'rganish va tahlil qilish. Oriental renaissance: innovative, educational, natural and social sciences, 1 (4), 1414-1427.

[6.] Samadov A.U., & Jalolov B.A. (2024). Po'lat ishlab chiqarishda hosil bo'luvchi rux saqlovchi changlar tahlili / Journal of advances in engineering technology, (4), 132-136.

[7.] Самадов Алишер Усманович, Тошкодирова Рано Эркинжоновна, & Жалолов Бахтиёржон Адхамжон Угли (2024). Анализ цинксодержащей пыли, образующейся при производстве, стали / Universum: технические науки, 3 (12 (129)), 20-23. Doi: 10.32743/unitech.2024.129.12.18967

[8.] Топоркова Ю.И., Блудова Д., Мамяченков С.В., & Анисимова О.С. (2021). Обзор методов переработки пылей электродуговой плавки / iPolytech Journal, 25 (5 (160)), 643-680.

[9.] Самадов А.У., Жалолов Б.А., Музафарова Н.М. Пыли дуговых сталеплавильных печей и анализ возможностей его переработки // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2025. 5(134).

[10.] Svetlana V. Sverguzova, Zhanna A. Saponova, Olga S. Zubkova, Anastasia V. Svyatchenko, Karina I. Shaikhieva, & Yulia S. Voronina (2023). Electric steelmaking dust as a raw material for coagulant production. Записки Горного института, (260 (eng)), 279-288. doi: 10.31897/PMI.2023.23