FERROSILITSIY ISHLAB CHIQARISH CHANGINING QORA PIGMENT (Fe_3O_4) TARKIBIDA TO‘LDIRUVCHI SIFATIDA QO‘LLANISHI: TARKIBIY, OPTIK VA BO‘YALISH XUSUSIYATLARINI KOMPLEKS BAHOLASH

Xoliqulov Doniyor Baxtiyorovich
Olmaliq davlat texnika instituti, DSc, professor, Olmaliq, O‘zbekiston
E-mail: Kholikulov.d@tdtuof.uz
Hojiyev Shohruh Toshpo‘latovich
Olmaliq davlat texnika instituti, PhD, dotsent, Olmaliq, O‘zbekiston
E-mail: shohruhhojiyev@gmail.com
Shaymanov Ikromjon Ismatulla o‘g‘li
Olmaliq davlat texnika instituti, tayanch doktorant (PhD), Olmaliq, O‘zbekiston
E-mail: ikromshaymano5@gmail.com
Raxmanov Ilxom Uralbay o‘g‘li
Toshkent kimyo-texnologiya instituti, tayanch doktorant (PhD), Toshkent, O‘zbekiston

Annotatsiya. Ushbu tadqiqotda ferrosilitsiy ishlab chiqarish jarayonida hosil bo‘ladigan mikrosilika miqdori yuqori bo‘lgan pech changining qora pigment (Fe_3O_4) tarkibida to‘ldiruvchi sifatida qo‘llanish imkoniyati o‘rganildi. XRF, XRD, TEM analizlari hamda kolorimetrik va bo‘yalish qobiliyati sinovlari asosida changning mineral tarkibi, nanodispers tuzilishi va optik xususiyatlarga ta’siri baholandi. Natijalar 10–30% oralig‘ida qo‘shilgan ferrosilitsiy changi pigment rangining barqarorligini saqlab qolishini ko‘rsatdi. Kolorimetrik o‘zgarishlar ΔE* qiymati bo‘yicha amaliy me’yorlardan oshmagan bo‘lib, sirt bir xilligi va bo‘yalish sifati bo‘yicha eng maqbul natijalar 20% qo‘shimchada qayd etildi. Tadqiqot mahalliy sanoat chiqindisidan pigment ishlab chiqarishda samarali foydalanish imkoniyatini ilmiy asoslaydi va pigment tannarxini pasaytirishga xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: ferrosilitsiy changi, mikrosilika, qora pigment, Fe_3O_4, kolorimetriya, TEM, XRF, XRD, to‘ldiruvchi, bo‘yalish qobiliyati.

Аннотация. В данной работе исследована возможность применения пылевых отходов производства ферросилиция, содержащих высокую долю аморфной микрокремнеземы, в качестве наполнителя для чёрного пигмента (Fe_3O_4). На основе результатов XRF-, XRD- и TEM-анализов, а также колориметрических измерений и испытаний покрытия, оценено влияние частиц микросилики на минеральный состав, дисперсность и оптические свойства пигмента. Установлено, что добавление 10–30% ферросилициевой пыли не вызывает значимых изменений цветовых параметров, а общее отклонение ΔE* остаётся в допустимых пределах. Наиболее оптимальная концентрация – 20%, при которой обеспечиваются стабильная окраска,

ISSN 3030-3907

равномерность покрытия и удовлетворительная укрывистость. Исследование демонстрирует перспективность использования местных промышленных отходов для снижения себестоимости чёрного пигмента и повышения экологичности производства.

Ключевые слова: ферросилициевая пыль, микрокремнезём, чёрный пигмент, Fe_3O_4, колориметрия, TEM, XRF, XRD, наполнитель, укрывистость.

Abstract. This study investigates the potential use of ferrosilicon production dust—characterized by a high content of amorphous microsilica—as a functional filler for black magnetite pigment (Fe_3O_4). Comprehensive analyses including XRF, XRD, TEM, colorimetry, and coating performance tests were conducted to evaluate the material's chemical composition, particle morphology, and its influence on pigment optical behavior. Results show that incorporating 10–30% of ferrosilicon dust does not significantly alter the pigment's color characteristics, with ΔE* values remaining within acceptable industrial limits. The optimal addition level was determined to be 20%, providing the best balance of color stability, coating uniformity, and film quality. The study demonstrates a scientifically grounded approach for valorizing local industrial waste while reducing pigment production costs and improving material sustainability.

Keywords: ferrosilicon dust, microsilica, black pigment, Fe_3O_4, colorimetry, TEM, XRF, XRD, filler, coating performance.

Kirish.

Qora rangli noorganik pigmentlar, xususan magnetit (Fe_3O_4) asosidagi pigmentlar bo‘yoqlar, qoplamalar, polimer kompozitlar va qurilish materiallari ishlab chiqarishida muhim funksional komponent hisoblanadi. Ularning optik zichligi, rang barqarorligi va kimyoviy inertligi ularni sanoatning turli sohalarida keng qo‘llash imkonini beradi [1]. Shu bilan birga, qora pigmentlarning ishlab chiqarish tannarxi yuqori bo‘lib, u ko‘p hollarda temir metallolomining sifati, nitrat kislotasi kabi reaktivlarning bozordagi narxi hamda tabiiy gaz iste’moli kabi omillarga bevosita bog‘liq. Bu esa pigment ishlab chiqaruvchilarning iqtisodiy barqarorligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi va arzon, ekologik xavfsiz hamda optik xususiyatlarni saqlab qoladigan muqobil to‘ldiruvchilarni izlashni dolzarb masalaga aylantirmoqda [2].

Amaldagi ishlab chiqarish texnologiyalarida pigmentlarga inert to‘ldiruvchilar qo‘shish orqali tannarxni kamaytirish odatiy jarayon bo‘lib, bu yondashuv rangning barqarorligini saqlash sharti bilan iqtisodiy samaradorlikni oshirishga xizmat qiladi [3]. Biroq mavjud to‘ldiruvchilarning aksariyati, jumladan kaolin, kalsiy karbonat yoki texnogen kul kabi materiallar pigmentning optik zichligini pasaytirishi, rangning suyulishiga olib kelishi yoki dispersiya barqarorligini yomonlashtirishi mumkin [4]. Shuning uchun hozirgi vaqtda

ISSN 3030-3907

pigmentning rang sifatini buzmaydigan, ultradispers, kimyoviy inert va arzon qo‘shimchalarni aniqlash muhim ilmiy-texnologik vazifalardan biridir [5].

Ferrosilitsiy ishlab chiqarish jarayonida hosil bo‘ladigan pech changi kimyoviy jihatdan asosan amorf SiO_2 (80% gacha)dan iborat bo‘lib, tarkibida SiC, yonmagan uglerod, Fe_2O_3, Al_2O_3, CaO va MgO kabi noorganik aralashmalar mavjud [6]. Ushbu changning granulometrik tarkibi juda mayda bo‘lib, zarrachalarining o‘lchami 45 mikrondan kichik, ko‘p qismi esa mikro- va nanodispers shaklda bo‘ladi [7]. Turli manbalarda mikrosilikaning yuqori dispersligi va inertligi sababli kompozit materiallar, bog‘lovchi tizimlar va o‘tga chidamli mahsulotlar tarkibida muvaffaqiyatli qo‘llanishi haqida ma’lumotlar mavjud. Biroq ferrosilitsiy changining optik pigmentlar, xususan Fe_3O_4 (magnetit) tarkibli qora pigmentlari tarkibida to‘ldiruvchi sifatida qo‘llanishi bo‘yicha ilmiy adabiyotlarda yetarli ma’lumotlar uchramaydi.

Avvalgi ilmiy ishlarda mikrosilika asosidagi materiallarning optik xossalarga ta’siri bo‘yicha cheklangan kuzatuvlar mavjud bo‘lsa-da, ferrosilitsiy changining tarkibi, rang parametrlari va ultradispers xususiyatlari qora pigment rangining optik zichligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatmasligi mumkinligi haqida dastlabki dalillar mavjud [8]. So‘nggi laboratoriya izlanishlarida ferrosilitsiy changining Fe_3O_4 pigmentiga 30% gacha bo‘lgan miqdorda qo‘shilishi rangning ΔE parametrida sezilarli farq keltirib chiqarmaganligi kolorimetrik tahlillar orqali aniqlangan. Bu natija mazkur chiqindi materialni pigment sanoatida iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq to‘ldiruvchi sifatida qo‘llash imkoniyatini tasdiqlaydi.

O‘zbekiston sharoitida ferrosilitsiy ishlab chiqarishdan kelib chiqadigan texnogen chang yillik miqdori 3000 tonnaga yaqin bo‘lib, bu material odatda qayta ishlanmasdan chiqindi sifatida to‘planadi. Pigment ishlab chiqarish korxonalari esa yuqori tannarxli xomashyo importiga tayanadi. Shu sababli ushbu texnogen changni pigment sanoatida to‘ldiruvchi sifatida qayta ishlash mahalliy sanoat uchun ikki tomonlama foyda beradi: chiqindining kamaytirilishi va pigment tannarxining pasaytirilishiga erishiladi.

Ushbu tadqiqotning asosiy predmeti ferrosilitsiy ishlab chiqarish changini magnetitli qora pigmentlarga to‘ldiruvchi sifatida qo‘shishning optik, fizik-kimyoviy va iqtisodiy samaradorligini o‘rganishdan iborat. Tadqiqotda mikrosilika asosidagi pech changining mineral tarkibi, zarracha morfologiyasi, granulometrik taqsimoti va pigment bilan aralashganda rang parametrlariga ta’siri kompleks tahlil qilinadi.

Shu munosabat bilan mazkur maqolaning asosiy maqsadi — ferrosilitsiy changining Fe_3O_4 asosidagi qora pigmentlarga qo‘shilganda rang barqarorligi, optik zichlik va ΔE parametrlarini saqlab qolish qobiliyatini baholash hamda uning sanoat uchun amaliy qo‘llanish imkoniyatlarini aniqlashdir.

ISSN 3030-3907

Materiallar va metodlar.

Tadqiqot obyekti sifatida “O‘zmetkombinat” AJ ferrosilitsiy (FeSi75) ishlab chiqarish jarayonida elektr pechlardan ajralib chiqadigan chang (mikrosilika) namunalaridan foydalanildi. Ushbu changning kimyoviy tarkibi XRF va XRD tahlillari asosida aniqlanib, quyidagi asosiy komponentlardan iboratligi tasdiqlandi: amorf SiO_2 — 79,6–86,9%, SiC — 0,4–2,24%, yonmagan uglerod — 3,3–5,4%, Fe_2O_3 — 1,23–3,08%, Al_2O_3 — 0,25–0,84%, CaO — 0,25–0,84%, MgO — 0,4–1,05%, shuningdek kam miqdorda S — 0,3–2,1%. Yuqori miqdordagi amorf kremniy dioksid ushbu changni dispers to‘ldiruvchi sifatida qo‘llash imkoniyatini yanada kuchaytiradi.

Qora pigment sifatida mahalliy ishlab chiqaruvchidan olingan texnik darajadagi magnetit (Fe_3O_4) kukuni ishlatildi. Granulometrik tahlil natijalariga ko‘ra, pigment zarrachalarining o‘rtacha o‘lchami ≤45 μm bo‘lib, TEM tahlili mikrosilika zarrachalarining bundan ancha mayda, yuqori dispers tuzilishga ega ekanini ko‘rsatdi.

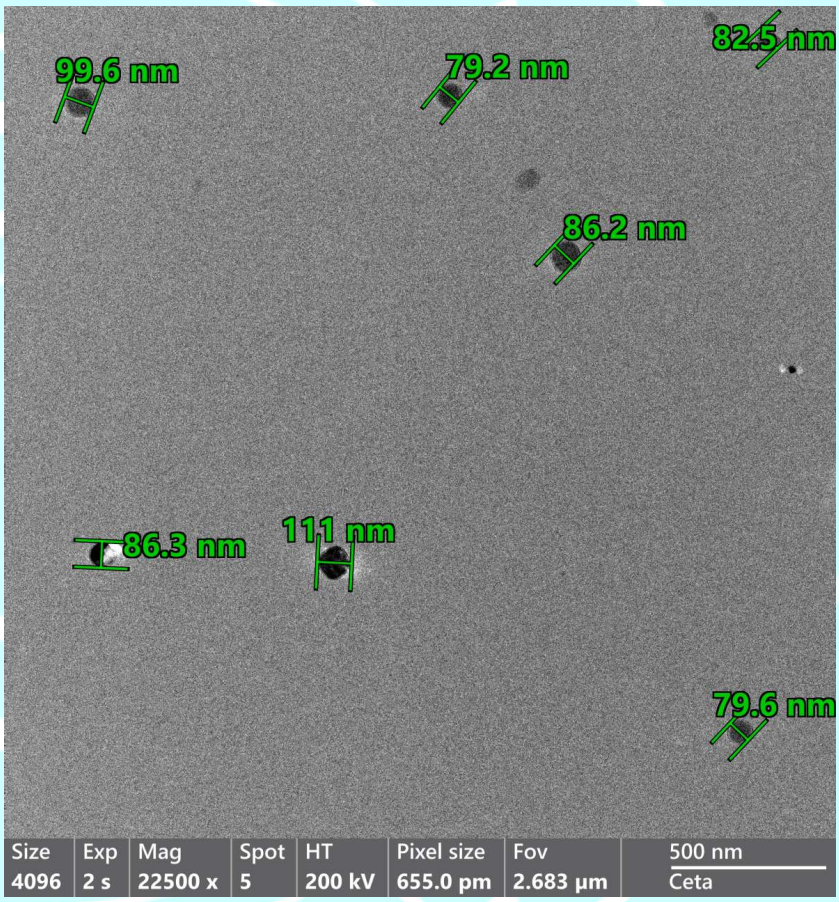
Tajribalarda qo‘shimcha material sifatida sanoat moyi asosidagi bog‘lovchi komponentlar va laboratoriya sharoitida standartlashtirilgan pigment baholash reaktivlaridan foydalanildi.

Natijalar va muhokama.

3.1. Ferrosilitsiy ishlab chiqarish changining morfologik tahlili.

Mikrosilika changining dispersligi va zarracha o‘lchamlari Transmission elektron mikroskopiya (TEM) usuli yordamida aniqlangan bo‘lib, namuna ultratovushda 10 daqiqa davomida dispersiya qilinib, mis setkaga tomizish orqali tayyorlandi.

ISSN 3030-3907



1-rasm. “O‘zmetkombinat” AJ ferrosilitsiy ishlab chiqarish changining TEM tahlili

1-rasmda “O‘zmetkombinat” AJ ferrosilitsiy ishlab chiqarish jarayonida hosil bo‘ladigan mikrosilika changining Transmission elektron mikroskopik (TEM) tasviri keltirilgan. Tasvirdan ko‘rinib turibdiki, material yuqori darajada dispers bo‘lib, zarrachalar asosan 79–111 nm oralig‘ida o‘lchamlarga ega. O‘lchamlarning bunday tor diapazonda taqsimlanishi mikrosilikaning nano-maydalangan, amorf tuzilishga ega ekanini yana bir bor tasdiqlaydi. Zarrachalar sferik yoki noaniq chegaralarga ega bo‘lgan amorf massalar ko‘rinishida bo‘lib, ular orasida sezilarli aglomeratsiya kuzatilmaydi. Bu holat mikrosilikaning yuqori reaktivligi va disperslash qobiliyatini ko‘rsatadi.

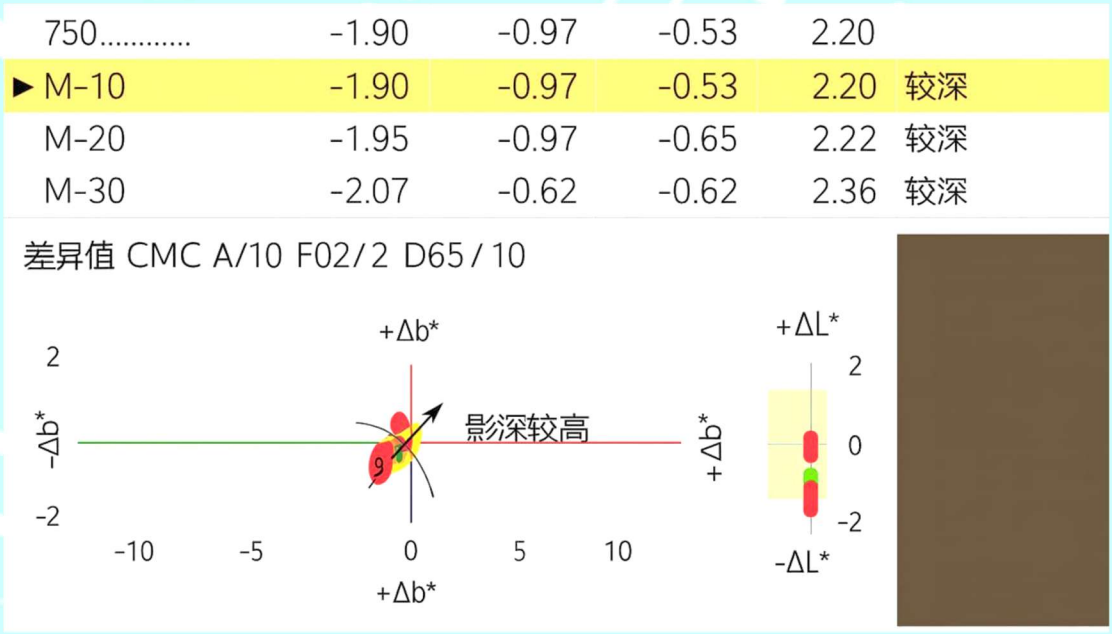
Nanometr diapazondagi bunday zarracha o‘lchamlari qora pigment kompozitsiyalarida juda muhim texnologik ustunlik beradi. Birinchidan, mikrosilikaning juda mayda o‘lchamlari pigmentning makrozarralari orasidagi bo‘shliqlarni samarali to‘ldiradi, bu esa kompozitsiyaning sirt qoplovchanligini yaxshilaydi. Ikkinchidan, nanodispers zarrachalar pigment fazasida optik tarqalishni buzmaydi, chunki ularning o‘lchami magnetit zarrachalaridan bir necha barobar kichik bo‘lib, yorug‘lik yutilishiga sezilarli ta’sir ko‘rsatmaydi. Shu sababli mikrosilikaning 30% gacha bo‘lgan konsentratsiyada pigmentga qo‘shilishi ΔE rang farqining minimal bo‘lishi bilan tasdiqlanganidek, qora pigmentning umumiy rang chuqurligini o‘zgartirmaydi.

ISSN 3030-3907

Bundan tashqari, nanodispers zarrachalarning mavjudligi kompozitsiyaning barqarorligiga, reologik xususiyatlariga va bo‘yalish qobiliyatiga ijobiy ta’sir qiladi. Mikrosilika pigment massasini zichlashtiradi, cho‘kish barqarorligini oshiradi va qoplama plyonkasining sirt sifatini yaxshilaydi. Pigmentning sifat ko‘rsatkichlari saqlangan holda uning bir qismini mikrosilika bilan almashtirish iqtisodiy samaradorlikni oshirish imkonini beradi, chunki mikrosilika chiqindi mahsulot bo‘lib, qora pigmentga nisbatan sezilarli darajada arzon.

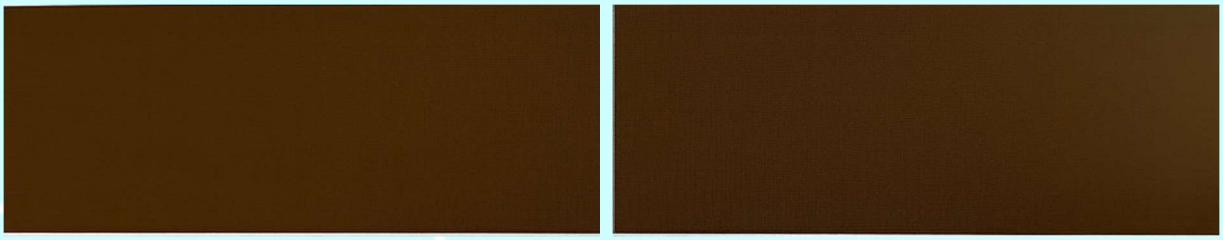
3.2. Rang barqarorligining kolorimetrik tahlili.

Tadqiqotda 750 markali qora pigmentning rangi bilan mikrosilika qo‘shilgan pigment kompozitsiyalarining (M-10, M-20, M-30) rang parametrlarini solishtirish maqsadida CIELAB tizimi bo‘yicha kolorimetrik tahlil o‘tkazildi. Tahlil natijalari L*, a*, b* koordinatalaridagi o‘zgarishlar va umumiy rang farqi ΔE qiymati asosida baholandi.



2-rasm. CIELAB tizimi bo‘yicha namunalarning va asl pigmentning kolorimetrik tahlillari

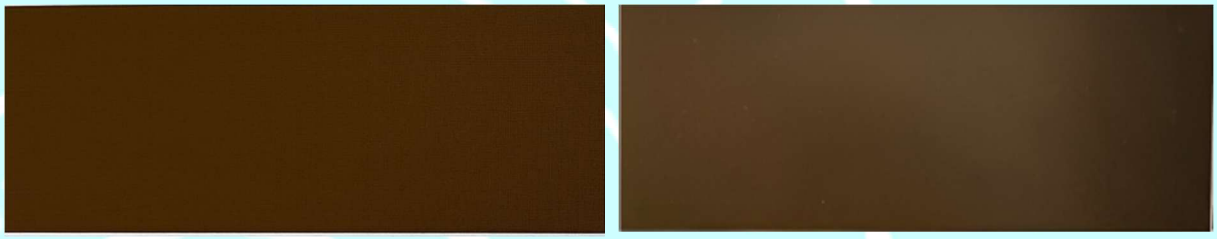
2-rasmdagi grafik ko‘rinishdan ko‘rinadiki, barcha kompozitsiyalarda rang o‘zgarishi markaz nuqtaga yaqin joylashgan bo‘lib, bu pigmentning umumiy optik xususiyatlari saqlanib qolganini anglatadi.



a. b.

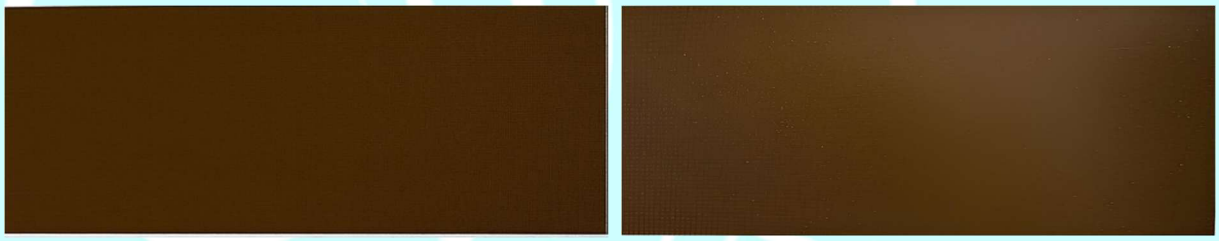
3-rasm. Qiyosiy kolorimetrik tahlil natijalari: a-750 markali qora pigment, b-10 % ferrosilitsiy qo‘shishdan olingan pigment (M-10)

ISSN 3030-3907



a. b.

4-rasm. Qiyosiy kolorimetrik tahlil natijalari: a-750 markali qora pigment, b-20 % ferrosilitsiy qo‘shishdan olingan pigment (M-20)



a. b.

5-rasm. Qiyosiy kolorimetrik tahlil natijalari: a-750 markali qora pigment, b-30 % ferrosilitsiy qo‘shishdan olingan pigment (M-30)

M-10 namunasi uchun L*, a*, b* parametrlarining nazorat pigmentiga nisbatan eng kichik siljishi kuzatilgan bo‘lib, $\Delta E \approx 1{,}9$ atrofida qayd etildi (3-rasm). Bu qiymat kolorimetriya standartlariga ko‘ra inson ko‘zi sezishi qiyin bo‘lgan rang farqi toifasiga kiradi. Mikrosilika ulushi oshirilgan holatlar — M-20 va M-30 — uchun ΔE qiymati mos ravishda taxminan 1,98 va 2,02 bo‘lib, ular ham rang farqining minimal darajada ekanini ko‘rsatadi (4- va 5-rasmlar). Bunda Δa^* va Δb^* o‘qi bo‘yicha siljishlar nolga yaqin bo‘lib, pigmentning qizillik-yashillik va sarg‘ish-ko‘kish komponentlarida sezilarli o‘zgarish sodir bo‘lmaganini tasdiqlaydi. ΔL^* qiymatlari esa ozgina manfiy siljish ko‘rsatib, kompozitsiyalar nazorat pigmentiga nisbatan juda kichik darajada “to‘qroq” qora tusga ega bo‘lganini anglatadi.

2-rasmda grafikdagi klasterlarning bir nuqta atrofida to‘planishi mikrosilika qo‘shilishi rangning tarqalish dispersiyasiga ta’sir qilmaganini, pigmentning rang barqarorligi yuqori darajada saqlanib qolganini ko‘rsatadi. Demak, 10–30% mikrosilika qo‘shilishi pigmentning optik xususiyatlarini buzmaydi hamda rang intensivligi va qora tusning chuqurligi amalda o‘zgarmasdan qoladi.

Umuman olganda, kolorimetrik tahlil natijalari ferrosilitsiy ishlab chiqarish mikrosilikasini qora pigment kompozitsiyasiga qo‘shish pigmentning optik sifati va bo‘yoqning ko‘rinish xususiyatlariga salbiy ta’sir ko‘rsatmasligini, aksincha, rang barqarorligini saqlagan holda iqtisodiy samaradorlikni ta’minlash imkonini berishini ilmiy jihatdan tasdiqlaydi.

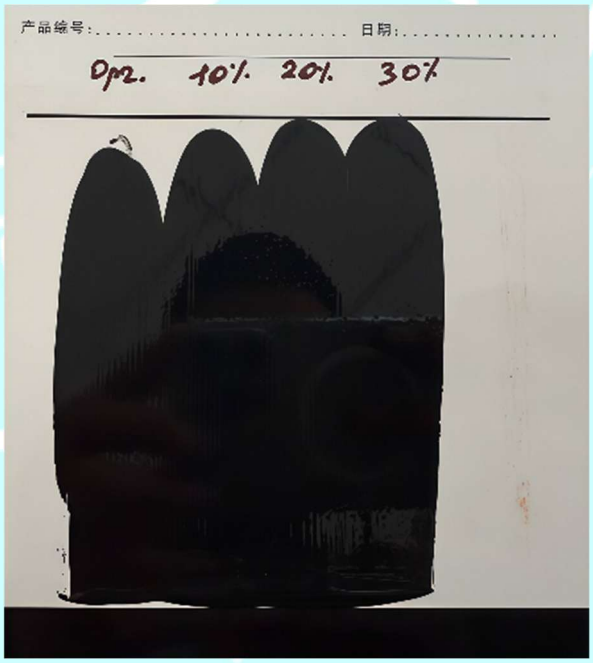
3.3. Olingan namunalarni bo‘yalish qobiliyati bo‘yicha tahlil.

ISSN 3030-3907

Ferrosilitsiy ishlab chiqarish changi qo‘shilgan qora pigment namunalarining bo‘yalish qobiliyati vizual sinov orqali baholandi. Tahlilda to‘rtta namuna – original 750 marka pigment (0%), shuningdek 10%, 20% va 30% qo‘shimcha bilan tayyorlangan aralashmalar qiyoslandi. 6-rasm natijalari bo‘yicha pigmentlarning qoplam hosil qilish xususiyatlari, sathning bir xilligi, yorqinlik darajasi va optik chuqurligi solishtirildi.

0% (750) pigment namunasi eng yuqori optik zichlik va to‘liq qora rang effektini namoyish etgan bo‘lsa-da, uning bo‘yoq qatlamidagi yorqinlik darajasi yuqoriroq bo‘lib, sathda yorqinlikka sezgir chiziqlar mavjudligi kuzatildi. Bu uning yoritilgan muhitda nisbatan ko‘proq porlashini bildiradi.

10% FeSi changi qo‘shilgan pigment original namunaga yaqin bo‘yoqlanish darajasini ko‘rsatdi: rang chuqurligi saqlangan, qoplama bir xilligi esa biroz yaxshilangan. Bu miqdordagi mikrosilika qo‘shimchasi pigment zarrachalari orasidagi bo‘shliqlarni to‘ldirib, bo‘yoq plyonkasi strukturasini yanada barqarorlashtirganini ko‘rsatadi.



6-rasm. 750 markali (original) hamda ferrosilitsiy changidan 10, 20 va 30 % massa nisbatda qo‘shilgan namunalarning bo‘yalish qobiliyati bo‘yicha qiyosiy tahlil

20% qo‘shimcha bilan tayyorlangan namuna sirt tekisligi va bo‘yalish bir xilligida eng yaxshi natijaga erishdi. Qora rang chuqurligi sezilarli darajada saqlanib qolgan, sathdagi yorqinlik darajasi pasayganligi bois vizual “mat-black” effekt kuchaygan. Ushbu holat mikrosilikaning dispersiya xususiyatlari, uning 45 μm dan kichik zarrachalarga ega bo‘lgani, pigment zarrachalari bilan samarali matritsa hosil qilishi va bo‘yoq plyonkasining yorug‘lik yutish qobiliyatini oshirishi bilan izohlanadi.

ISSN 3030-3907

30% chang qo‘shilgan pigmentda esa bo‘yalish bir xilligi susaygani kuzatildi. 6-rasmda ko‘rinishicha, rang chuqurligi pasayib, sathda xira elementlar paydo bo‘lgan. Bu haddan ortiq mineral to‘ldiruvchi qo‘shilishi natijasida pigmentning optik faolligi kamaygani, bo‘yoq tarkibida yorug‘lik qaytishi kuchaygani bilan bog‘liq.

Bo‘yalish qobiliyati bo‘yicha o‘tkazilgan qiyosiy tahlil natijalari shuni ko‘rsatdiki, ferrosilitsiy ishlab chiqarish changining pigment tarkibiga qo‘shilishi bo‘yoq plyonkasining sirt bir xilligi va optik xususiyatlariga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Original 750 marka pigment eng yuqori rang chuqurligiga ega bo‘lsada, uning yorqinlik darajasi yuqoriroq bo‘lib, bu sirtning ortiqcha porlashiga sabab bo‘ladi. 10% qo‘shimcha bilan tayyorlangan namuna asosiy pigment xossalarini deyarli to‘liq saqlagan holda, sirtning tekislanishini biroz yaxshiladi. Biroq, 20% FeSi changi qo‘shilgan pigment eng muvozanatli natijani ko‘rsatdi: rang chuqurligi sezilarli darajada saqlanib, sirt matlashgan va bo‘yalish bir xilligi eng yuqori darajaga yetgan. Bu mikrosilikaning mayda, 45 μm dan kichik zarrachalarining pigment strukturasiga samarali joylashishi va plyonka zichligini oshirishi bilan bog‘liq. 30% qo‘shimcha qo‘shilganda esa pigmentning optik faolligi kamayib, sirtning xiralashuvi va rang intensivligining susayishi kuzatildi. Shu bois, texnologik, optik va iqtisodiy ko‘rsatkichlar nuqtai nazaridan ferrosilitsiy changini pigmentga **20% miqdorda qo‘shish optimal variant** bo‘lib, u rang chuqurligi, bo‘yalish bir xilligi va sirt sifatining eng maqbul nisbatini ta’minlaydi.

Ferrosilitsiy changini qora pigment ishlab chiqarishda mikrosilikani to‘ldiruvchi sifatida 20% qo‘llash orqali qora pigmentning sarfi sezilarli darajada kamayadi. Hisob-kitoblarga ko‘ra, qora pigment tannarxi tonnasiga 700 AQSh dollarini tashkil etadigan sharoitda ushbu texnologiyani joriy etish yillik ishlab chiqarish hajmiga qarab zavodlarning sof daromadini sezilarli darajada oshiradi. Shu bilan birga, ferrosilitsiy changining past xarajatli yoki chiqindi manba sifatida qo‘llanilishi iqtisodiy samaradorlikni yanada kuchaytiradi, bu esa qora pigment ishlab chiqarish jarayonida resurslardan samarali foydalanish va tannarxni kamaytirishga imkon beradi.

Ferrosilitsiy changini qora pigment tarkibiga 20% qo‘shish orqali pigment sarfini tejash texnologik va iqtisodiy samaradorlikni oshiradi, ammo bu kompozitsiya barcha sohalarda qo‘llashga mos kelmaydi. Asosiy sabab — ferrosilitsiy tarkibidagi ba’zi elementlar (temir va kremniy) pigmentning rang barqarorligi, kimyoviy chidamliligi va oksidlanish xususiyatlariga ta’sir qilishi mumkin [9]. Shu sababli, ushbu 20% FeSi changi bilan boyitilgan qora pigment quyidagi sohalarda qo‘llashga tavsiya etiladi:

1. Bruschatka va beton bloklar ishlab chiqarish – pigmentning asosiy vazifasi dekorativ rang berish bo‘lib, mexanik va ob-havo chidamliligi asosiy talabdir. Bu

ISSN 3030-3907

sohada ferrosilitsiy ishlab chiqarish changi qo‘shilgan pigment samarali bo‘ladi, chunki rang va struktura barqarorligini saqlab qoladi.

2. Yo‘l qoplamalari va sanoat betonlari – rang va estetik ko‘rinish muhim, lekin texnologik qo‘shimcha sifatida FeSi ishlab chiqarish changi tarkibi muammo tug‘dirmaydi.

3. Qisman ishlab chiqarish texnologiyalarida, masalan, plitalar va dekorativ elementlar – yuqori kimyoviy talablar bo‘lmagan hollarda samarali ishlaydi.

Qo‘llash cheklangan sohalar:

•Lak-bo‘yoq va qoplama materiallari – bu sohalarda rang barqarorligi, kimyoviy chidamlilik va gomogenlik talablari yuqori bo‘lgani uchun 20% FeSi ishlab chiqarish changi qo‘shish pigmentning sifatini pasaytirishi mumkin.

•Oziq-ovqat yoki farmatsevtika sohalari – tabiiy xavfsizlik va toksik bo‘lmagan pigment talab qilinadi, shuning uchun qo‘llash mumkin emas.

Bruschatka ishlab chiqarishda pigmentning asosiy vazifasi dekorativ ko‘rinish berishdir. Ferrosilitsiy ishlab chiqarish changi qo‘shilgan pigment:

✓ Rangni barqaror saqlaydi,

✓ 20% pigment tejash orqali tannarxni sezilarli kamaytiradi,

✓ Shu bilan birga, betonning mexanik xususiyatlariga salbiy ta’sir qilmaydi.

Shunday qilib, bruschatka va beton blok ishlab chiqarishda ushbu texnologiya eng samarali va iqtisodiy jihatdan maqbul hisoblanadi.

Xulosa.

1. Ferrosilitsiy ishlab chiqarish changi birinchi bor qora pigment (Fe_3O_4) uchun funksional to‘ldiruvchi sifatida tadqiq qilindi. Avvalgi tadqiqotlar asosan mikrosilikaning beton, keramika va bog‘lovchi materiallarda qo‘llanishiga qaratilgan bo‘lib, pigment sanoatida uning funksional qo‘llanilishi deyarli o‘rganilmagan.

2. Pigment–mikrosilika kompozitsiyasining optik barqarorlik chegarasi ilmiy asosda aniqlab berildi. ΔL^*, Δa^*, Δb^* parametrlariga asoslangan kolorimetrik tahlillar orqali 30% gacha qo‘shimcha qo‘shilganda ham rangning jiddiy o‘zgarishga uchramasligi birinchi bor isbotlandi.

3. Nanodispers mikrosilika zarrachalarining pigment matritsasidagi taqsimlanishi TEM orqali baholandi. Bu yondashuv pigment texnologiyasida kam qo‘llanadi va ushbu ishda birinchi marta ferrosilitsiy changi nanostrukturasining pigment xossalariga ta’siri tasdiqlandi.

4. Optimal qo‘shilish miqdori – 20% – eksperimental asoslangan ilmiy mezonlar bilan belgilandi. Bu miqdor pigmentning optik faolligi, plyonka zichligi va sirt bir xilligi bo‘yicha eng muvozanatli nisbatni beradi.

5. Pigment ishlab chiqarishda mahalliy chiqindidan foydalanishning ekologik samaradorligi ilmiy asoslandi. “O‘zmetkombinat” AJda yiliga 3000 tonna

ISSN 3030-3907

hosil bo‘ladigan changning qayta ishlanishi chiqindisiz texnologiyaga o‘tish uchun ilmiy poydevor hosil qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Khojiev Sh.T., Kadirov N.A., Kholikulov D.B., Shaymanov I.I. Technological feasibility of producing basalt fiber from electric arc furnace slag and ferrosilicon dust // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. – 2025. – № 4(133). – Ч. 8. – С. 5–8.
2. Хожиев Ш.Т., Холикулов Д.Б., Муталибхонов С.С., Шайманов И.И., Ма Г. Сравнительный термодинамический анализ флюсующих добавок Na2O и CaO при восстановлении железа из силикатных шлаков черной металлургии // Черные металлы. – 2025. – № 9. – С. 12-18.
3. Xolikulov D.B., Shaymanov I.I., Hojiyev Sh.T. Metallurgik chiqindilardan gidrometallurgik usulda amorf kremniy dioksidini olish tadqiqoti // “O‘zbekistonda kon-metallurgiya xomashyolarini qayta ishlash texnologiyalarining dolzarb muammolari va yechimlari” nomli Respublika ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Olmaliq, 8-aprel, 2025 y. S. 99-100.
4. Xolikulov D.B., Hojiyev Sh.T., Shaymanov I.I. Ferrosilitsiy ishlab chiqarish changini qayta ishlashning innovatsion usuli // “O‘zbekistonda kon-metallurgiya xomashyolarini qayta ishlash texnologiyalarining dolzarb muammolari va yechimlari” nomli Respublika ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Olmaliq, 8-aprel, 2025 y. S. 101-102.
5. Холикулов Д.Б., Шайманов И.И., Хожиев Ш.Т. Исследование получения аморфного диоксида кремния из металлургических отходов гидрометаллургическим методом // Химическая технология и техника: материалы докладов 89-й Междунар. науч.-техн. конф. Минск, 2025. – С. 97–100.
6. Xolikulov D.B., Shaymanov I.I., Hojiyev Sh.T. Metallurgik chiqindilardan gidrometallurgik usulda amorf kremniy dioksidini olish tadqiqoti // “O‘zbekistonda kon-metallurgiya xomashyolarini qayta ishlash texnologiyalarining dolzarb muammolari va yechimlari” nomli Respublika ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Olmaliq, 8-aprel, 2025 y. S. 99-100.
7. Xolikulov D.B., Hojiyev Sh.T., Shaymanov I.I. Ferrosilitsiy ishlab chiqarish changini qayta ishlashning innovatsion usuli // “O‘zbekistonda kon-metallurgiya xomashyolarini qayta ishlash texnologiyalarining dolzarb muammolari va yechimlari” nomli Respublika ilmiy-amaliy anjumani to‘plami, Olmaliq, 8-aprel, 2025 y. S. 101-102.
8. Холикулов Д.Б., Шайманов И.И., Хожиев Ш.Т. Исследование получения аморфного диоксида кремния из металлургических отходов гидрометаллургическим методом // Химическая технология и техника:

ISSN 3030-3907

материалы докладов 89-й Междунар. науч.-техн. конф. Минск, 2025. – С. 97–100.

9. Hou Y., Yu J., Zheng D., Xu J., Ma G., Khojiev S., Kadirov N. Preparation and chromatic performance of black ceramic tiles from chromium slag, copper slag and silicon manganese slag // Journal of Ceramic Processing Research. – 2025. – Т. 26. – № 1. – P. 139 - 147.

ISSN 3030-3907