

NATRIY LIGNOSULFONAT ASOSIDA ANTIKORROZION QOPLAMALAR
OLISHNING ILMIY-TEXNOLOGIK ASOSLARI

Eshqorayev Samariddin

Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti

02.00.14 - Organik moddalar va ular asosidagi materiallar texnologiyasi ixtisosligi tayanch
doktoranti

E-mail: samariddineshqorayev@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-7068-1564>

Annotatsiya. Ushbu tezisda natriy lignosulfonatning metall korroziyasini sekinlashtirish xususiyati hamda uni antikorrozion qoplamalar tarkibida faol komponent sifatida qo'llash imkoniyatlari tahlil qilindi. Natriy lignosulfonat tarkibidagi sulfonat, fenol gidroksil, karboksil va metoksil guruhlari metall yuzasiga adsorbsiyalanish, temir ionlari bilan kompleks hosil qilish va korrozion elektrokimyoviy reaksiyalarni cheklashga xizmat qiladi. Moddaning yuqori suvda eruvchanligi sababli uni mustaqil plyonka hosil qiluvchi material sifatida emas, balki epoksi matritsa, pH-sezgir CaCO_3 mikrozarrachalari, halloysit nanotubalari va rux tuzlari bilan gibriz tizimlarda qo'llash maqsadga muvofiqligi ko'rsatildi. Ilmiy manbalar asosida faol ingibitorli, boshqariladigan ajralib chiqishga ega va ekologik xavfsiz qoplamalarni ishlab chiqish istiqbollari baholandi.

Kalit so'zlar: natriy lignosulfonat, korroziya, antikorrozion qoplama, epoksi qoplama, adsorbsiya, korroziya ingibitori, halloysit nanotubasi, CaCO_3 , gibriz pigment, yumshoq po'lat.

Kirish. Metall konstruksiyalar atmosfera namligi, xloridlar, kislorod, kislota va ishqoriy muhit ta'sirida elektrokimyoviy yemiriladi. Organik qoplamalar metallni tashqi muhitdan ajratib turuvchi to'siq hosil qiladi, biroq qoplamadagi mikrog'ovak, tirnash va mexanik shikastlar orqali elektrolit metall yuzasiga yetib kelgach, oddiy to'siq mexanizmi yetarli bo'lmay qoladi. Shu sababli zamonaviy antikorrozion qoplamalarda passiv himoya bilan bir qatorda shikastlangan zonaga javob beradigan faol ingibitorlardan foydalanish muhimdir. Natriy lignosulfonat (NaLS yoki SLS) qayta tiklanuvchi lignin xomashyosidan olinadigan, suvda eruvchan anion makromolekula bo'lib, arzonligi, funksional guruhlarga boyligi va nisbatan ekologik xavfsizligi bilan "yashil" korroziya ingibitori sifatida qiziqish uyg'otadi.

Natriy lignosulfonatning antikorrozion ta'sir mexanizmi. Lignosulfonat makromolekulasidagi sulfonat guruhlari molekulaga manfiy zaryad va suvda eruvchanlik

beradi; fenol gidroksil, karboksil va boshqa kislorod tutuvchi markazlar esa metall yuzasi hamda Fe^{2+}/Fe^{3+} ionlari bilan o'zaro ta'sirlasha oladi. Aromatik halqalardagi π -elektronlar va funksional guruhlardagi erkin elektron juftlari po'lat yuzasidagi faol markazlarga adsorbsiyalanib, metall-eritma chegarasida himoya qatlamining shakllanishiga yordam beradi. Natijada anoddagi temirning erishi va katoddagi kislorod qaytarilishi yoki vodorod ajralishi kabi jarayonlarning tezligi pasayadi. Q235 po'latining simulyatsiyalangan beton g'ovak eritmasida o'rganilishida NaLS miqdori ortishi bilan ingibirlash samarasi oshgani va adsorbsiya asosan kimyoviy tabiatga ega ekani ko'rsatilgan [1].

Mazkur tadqiqotda 0,0015 mol/L NaLS optimal konsentratsiya sifatida qayd etilgan. Bundan ham muhim natija NaLS va natriy silikatning birgalikdagi ta'sirida kuzatilgan: har ikkala modda 0,0005 mol/L dan qo'llanganda ingibirlash samaradorligi 98,8% gacha yetgan [1]. Bu fakt antikorrozion qoplama yaratishda lignosulfonatni alohida komponent sifatida emas, balki boshqa passivlovchi moddalar bilan sinergik tizimda qo'llash ko'proq samara berishini ko'rsatadi. Biroq konsentratsiyani avtomatik ravishda oshirish to'g'ri strategiya emas. Ouyang va hammualliflar natriy lignosulfonatning yuqoriroq dozalarida korroziyani cheklash kuzatilgani, past dozalarda esa ayrim sharoitlarda uglerodli po'lat korroziyasi tezlashishi mumkinligini ko'rsatgan [2]. Demak, qoplama formulasi uchun optimal miqdor EIS, qutblanish va tuzli tuman sinovlari bilan aniqlanishi shart.

Antikorrozion qoplamadagi funksional roli. NaLSning eng asosiy cheklovi uning yuqori gidrofilligi va suvda yaxshi eruvchanligidir. Shu sababli NaLSni metall yuzasiga surtiladigan mustaqil, uzoq muddatli suvga chidamli plyonka hosil qiluvchi bog'lovchi sifatida talqin qilish noto'g'ri. U epoksi, poliuretan, silan yoki boshqa barer matritsasida faol ingibitor, antikorrozion pigmentning organik qismi yoxud nazorat qilinadigan ajralib chiqishga mo'ljallangan nanokonteyner ichidagi "faol modda" sifatida samaraliroq ishlaydi. Bunday arxitekturada polimer qoplama korrozion muhitning kirishini sekinlashtiradi, NaLS esa defekt zonasiga suv va ionlar yetib kelganda metall yuzasida adsorbsion-kompleks himoyani ishga tushiradi.

Liu va hammualliflar Q235 po'latini himoyalash uchun natriy lignosulfonat bilan modifikatsiyalangan $CaCO_3$ mikrozarachalarini epoksi qoplama kiritgan [3]. $CaCO_3$ zarachalari pH o'zgarishiga sezgir tashuvchi sifatida ishlaydi: korroziya boshlanadigan lokal muhitda tashuvchi fazaning xatti-harakati o'zgarib, ingibitorning ajralib chiqishiga sharoit yaratiladi. Buning natijasida oddiy "passiv barer" qoplama funksiyasi faol himoya bilan to'ldiriladi. Bunday yondashuvning afzalligi shundaki, NaLSning suvda eruvchanligi kamchilik emas, aksincha, shikastlanish nuqtasiga migratsiya qilishi uchun foydali xususiyatga aylanadi. Shu bilan birga, erkin NaLSni epoksi matritsaga haddan tashqari ko'p

qo'shish suv yutuvchanligini va ion o'tkazuvchanligini oshirishi mumkin; shuning uchun uni mineral tashuvchida immobilizatsiyalash texnologik jihatdan asosliroqdir.

Halloysit nanotubalari asosidagi "aqlli" qoplamalar ham istiqbolli. Liu va Li natriy lignosulfonatni vakuum usulida halloysit nanotubalari (HNT) bo'shlig'iga yuklab, so'ng ushbu SLS/HNT tizimini epoksi qoplamaga kiritgan [4]. Termogravimetrik tahlilda SLS yuklanish samaradorligi 4,53% ekani tasdiqlangan. HNT bir vaqtning o'zida ikki vazifani bajaradi: qoplama uchun nanoarmaturalovchi mineral faza bo'lib xizmat qiladi va korroziya ingibitori uchun rezervuar hosil qiladi. Qoplama butun bo'lgan paytda ingibitorning tez yuvilib ketishi cheklanadi; defekt paydo bo'lganda esa SLSning ajralib chiqishi faol himoya mexanizmini kuchaytiradi. Bu prinsiplardan mahalliy lak-bo'yoq materiallari uchun bioasosli "self-healing" yoki "smart" antikorrozion kompozitsiyalar ishlab chiqishda foydalanish mumkin.

Rux birikmalari bilan sinergiya. Natriy lignosulfonatning rux asetat bilan kombinatsiyasi ham kuchli antikorrozion effekt ko'rsatadi. Ahangar, Izadi va Shahrabi yumshoq po'latni 3,5% NaCl muhitida o'rganib, NaLS-rux asetat tizimida sinergizm parametri taxminan 9 ga, umumiy qarshilik esa $400 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}^2$ dan yuqori qiymatga yetganini qayd etgan; hisoblangan ingibirlash samaradorligi qariyb 96% bo'lgan [5]. Bu mexanizmida lignosulfonatning metallga adsorbsiyasi rux tutuvchi himoya birikmalarining cho'kishi va barqarorlashuvi bilan birga ishlaydi. Keyingi tadqiqotlarda natriy lignosulfonat va rux asetat asosida organik/noorganik gibridd antikorrozion pigment sintez qilinib, uning yumshoq po'latni 3,5% NaCl eritmasida himoyalash samaradorligi ko'rsatilgan [6]. Gibridd pigment konsepsiyasi xromat kabi toksik pigmentlarni kamaytirish yo'nalishida ayniqsa dolzarbdir.

Qoplama formulasi va tajriba mezonlari. NaLS asosidagi antikorrozion qoplama yaratishda "moddani epoksiga qo'shish"ning o'zi yetarli emas. Birinchi navbatda NaLSning molekulyar massa taqsimoti, sulfonatlanish darajasi, pH, kul va shakar qoldiqlari nazorat qilinishi kerak. Ikkinchidan, epoksi yoki boshqa bog'lovchi bilan moslik, pigmentning disperslanishi, qoplama yopishqoqligi, qattiqligi va suv yutuvchanligi tekshiriladi. Uchinchidan, himoya samarasi ochiq zanjir potentsiali, potentiodynamik qutblanish, elektrokimyoviy impedans spektroskopiyasi (EIS), SEM/EDS va FTIR bilan baholanadi. Amaliy qoplamalar uchun 3,5% NaCl eritmasida uzoq muddatli immersiya, tuzli tuman sinovi, sun'iy tirnalgan qoplamada delaminatsiya va zang tarqalishi kabi sinovlar majburiydir. Faqat elektrolitdagi ingibirlash foizi yuqori chiqishi qoplamaning sanoat sharoitida ham yaxshi ishlashini kafolatlamaydi.

NaLSning afzalligi qayta tiklanuvchi lignosellyulozali manbadan olinishi va funksional modifikatsiyaga mosligidir. Shu bilan birga, texnik lignosulfonatlarning partiyadan partiyaga tarkibiy farqi, to'q rangi, gidrofilligi va ortiqcha miqdorda

qo'llanganda qoplama barer xossalarini pasaytirish ehtimoli mavjud. Shuning uchun eng maqbul texnologik model sifatida NaLSni erkin holda katta dozada qo'shish emas, balki CaCO_3 , HNT, ZnAl-LDH kabi tashuvchilarga yuklash, rux yoki silikat komponentlari bilan sinergik gibrid pigmentga aylantirish va keyin epoksi matritsaga optimal miqdorda kiritish tavsiya etiladi. 2024-yildagi elektrokimyoviy va hisoblash tadqiqotlari ham lignosulfonatning neytral xloridli muhitda po'lat yuzasiga adsorbsiyalanib korroziyani bostirish salohiyatini tasdiqlaydi [7].

NaLSning qoplama mikrostrukturasi va barer xossalariga ta'siri. Antikorrozion himoya faqat ingibitorning kimyoviy faolligiga emas, balki qoplamaning mikrostrukturasi va defektlar soniga ham bog'liq. Lignosulfonat polielektrolit va dispersant sifatida pigment hamda mineral to'ldirgichlar yuzasiga adsorbsiyalanib, ularning aglomeratsiyasini kamaytirishi mumkin. Nazorat qilingan miqdorda bu holat qoplamaning bir jinsliligini yaxshilashi, lokal g'ovak va zaif zonalar paydo bo'lishini kamaytirishi mumkin. Biroq NaLSning ionogen va gidrofil tabiati ortiqcha miqdorda qoplama ichiga kiritilganda qarama-qarshi effekt berishi ehtimoli bor: suv molekulalari va xlorid ionlarining qoplama ichiga kirishi osonlashadi, hajmiy shishish kuchayadi va metall-polimer chegarasida adgeziya pasayishi mumkin. Shuning uchun NaLSning foydali dispersiyalash xususiyati bilan uning suvga moyilligi o'rtasidagi muvozanat topilishi kerak. Ushbu muammoni hal qilishning samarali yo'llari sifatida lignosulfonatni mineral tashuvchi ichida kapsulalash, metall ionlari bilan komplekslash, kimyoviy modifikatsiya orqali gidrofob fragmentlar kiritish yoki uni qoplamaning faqat faol pigment fazasiga bog'lash mumkin. Bunday yondashuv NaLSni qoplama bo'ylab erkin migratsiyadan cheklab, korroziya boshlanadigan defekt zonasida kerakli paytda ishlashini ta'minlaydi. Natijada qoplama ikki pog'onali himoyaga ega bo'ladi: birinchi pog'ona — epoksi yoki boshqa polimer matritsaning fizik bareri, ikkinchi pog'ona — NaLSning adsorbsion va kompleks hosil qiluvchi faol ingibitorlik ta'siri.

Antikorrozion kompozitsiyani olishning tavsiya etiladigan texnologik ketma-ketligi. NaLS asosidagi qoplamani ishlab chiqishda avval lignosulfonatning quruq modda ulushi, pH va noorganik qo'shimchalari aniqlanadi, so'ng uning tanlangan tashuvchi bilan o'zaro ta'siri o'rganiladi. HNT qo'llanganda vakuum ostida yuklash va keyingi yuvish-quritish jarayonlari NaLSning nanotuba ichiga kirishini oshiradi; CaCO_3 asosida esa lignosulfonatning zarracha sirtiga bog'lanishi va muhit o'zgarishida ajralib chiqish xususiyati muhim. Gibrid pigment yo'nalishida NaLS va rux asetatning nisbati, hosil bo'ladigan kompleks yoki cho'kma fazaning barqarorligi hamda epoksi bilan mosligi nazorat qilinadi. Tayyor faol pigment quruq holatda to'g'ridan-to'g'ri yuqori tezlikda aralashtirilmasligi kerak, chunki agregatsiya va nanotashuvchining shikastlanishi qoplama

sifatini pasaytirishi mumkin. Avval pigmentni epoksi komponentining bir qismida yumshoq dispersiyalash, keyin qolgan smola va qotiruvchini kiritish maqsadga muvofiq. Metall yuzasi yog'sizlantirilgan, zang va oksid qoldiqlaridan tozalangan hamda bir xil dag'allikka keltirilgan bo'lishi lozim. Qoplama qalinligi, qotish harorati va vaqti nazorat qilinmasa, NaLSning kimyoviy samarasi qoplamaning texnologik nuqsonlari bilan "yopilib" ketadi. Shu sababli nazorat namunasi, faqat epoksi, erkin NaLSli epoksi va tashuvchiga yuklangan NaLSli epoksi qoplamalarni bir xil sharoitda solishtirish tajribaning eng to'g'ri dizaynidir.

Ilmiy-amaliy istiqbol. Natriy lignosulfonatning qog'oz-sellyuloza va lignin qayta ishlash jarayonlaridan olinishi uni xromat va ayrim fosfat pigmentlariga nisbatan barqaror xomashyo zanjiri yaratish uchun qiziqarli qiladi. Biroq "bioasosli" atamasi avtomatik ravishda yuqori ekologik samaradorlikni anglatmaydi: qoplama tarkibidagi smola, erituvchi, rux birikmalari, energiya sarfi va xizmat muddati ham hayotiy sikl bo'yicha baholanishi kerak. Agar NaLS faol pigment qoplamaning xizmat muddatini uzaytirsam va toksik inhibitorlar miqdorini kamaytirsam, uning real ekologik foydasi sezilarli bo'ladi. Mahalliy sharoitda bunday materiallar neft-gaz quvurlari, metall rezervuarlar, armatura va sanoat uskunalarning xloridli yoki nam muhitdagi himoyasi uchun tekshirilishi mumkin. Eng muhim ilmiy vazifa esa bir xil tarkibli standartlashtirilgan NaLS olish, tashuvchiga yuklanish darajasini nazorat qilish va EIS ko'rsatkichlarini mexanik adgeziya hamda uzoq muddatli atmosfera sinovlari bilan bog'lashdan iborat.

Xulosa. Natriy lignosulfonat antikorroziya qoplamalar uchun istiqbolli bioasosli faol komponentdir, ammo uning eng kuchli qo'llanish shakli mustaqil qoplama emas. Ilmiy dalillar NaLSning metall yuzasida adsorbsion va kompleks himoya qatlamini shakllantirishi, natriy silikat va rux asetat bilan sinergik ta'sir ko'rsatishi hamda mineral nanokonteynerlardan boshqariladigan tarzda ajralib chiqishi mumkinligini ko'rsatadi. Epoksi + SLS/CaCO₃, epoksi + SLS/HNT va SLS-rux asetat gibrid pigment tizimlari ayniqsa asosli yo'nalishlardir. Kelgusi tadqiqotlarda NaLSning optimal yuklanishi, tashuvchidan ajralib chiqish kinetikasi, qoplama suv yutuvchanligi va tirnalgan zonadagi faol himoya mexanizmini birgalikda optimallashtirish zarur. Shu asosda toksik antikorroziya pigmentlar ulushini kamaytiradigan, iqtisodiy va ekologik jihatdan samarali yangi avlod qoplamalarini yaratish mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Li J., Liu W., Xie W. Influence of Sodium Lignosulfonate on the Corrosion-Inhibition Behavior of Q235 Steel in Simulated Concrete Pore Solutions. International

Journal of Electrochemical Science. 2020. Vol. 15. P. 7136–7151. DOI: 10.20964/2020.08.02.

2. Ouyang X., Qiu X., Lou H., Yang D. Corrosion and Scale Inhibition Properties of Sodium Lignosulfonate and Its Potential Application in Recirculating Cooling Water System. Industrial & Engineering Chemistry Research. 2006. Vol. 45, No. 16. P. 5716–5721. DOI: 10.1021/ie0513189.

3. Liu W., Li J., Huang X., Bi J. Corrosion Protection of Q235 Steel Using Epoxy Coatings Loaded with Calcium Carbonate Microparticles Modified by Sodium Lignosulfonate in Simulated Concrete Pore Solutions. Materials. 2021. Vol. 14. 1982. DOI: 10.3390/ma14081982.

4. Liu W., Li J. Sodium Lignosulfonate-Loaded Halloysite Nanotubes/Epoxy Composites for Corrosion Resistance Coating. ACS Omega. 2023. Vol. 8, No. 21. P. 18425–18434. DOI: 10.1021/acsomega.2c07786.

5. Ahangar M., Izadi M., Shahrabi T. The Synergistic Effect of Zinc Acetate on the Protective Behavior of Sodium Lignosulfonate for Corrosion Prevention of Mild Steel in 3.5 wt% NaCl Electrolyte: Surface and Electrochemical Studies. Journal of Molecular Liquids. 2020. Vol. 314. 113617. DOI: 10.1016/j.molliq.2020.113617.

6. Hajjari A., Shahrabi T., Mohammadi I. Synthesis of a Novel Environmentally Friendly Hybrid Pigment for Effective Corrosion Control of Mild Steel. Journal of Environmental Chemical Engineering. 2023. Vol. 11. 109383. DOI: 10.1016/j.jece.2023.109383.

7. Thabet M., El-Moselhy M.M., Azooz R.E., El-Zomrawy A.A. Role of Lignosulfonate as a Corrosion Inhibitor for Steel in Neutral Media, Computational and Reaction Pathway. Results in Surfaces and Interfaces. 2024. Vol. 16. 100266. DOI: 10.1016/j.rsurfi.2024.100266.