

Məsumə Əliyeva

Azərbaycan Texniki Universiteti

<https://orcid.org/0009-0007-1093-0980>

ehmedova_m@yahoo.com

Nanoərintilərin materialşünaslığı: üstünlüklər və çətinliklər

Xülasə

Bu məqalədə nanoərintilərin metallurgiyada tətbiqi və onların ənənəvi ərintilərlə müqayisədə yaratdığı əsas üstünlüklər araşdırılmışdır. Nanoölçülü struktura malik ərintilərin metalın mexaniki, fiziki və kimyəvi xüsusiyyətlərinə təsiri sadə və anlaşılan formada izah edilmişdir. Təhlil zamanı nanoərintilərin möhkəmlik, aşınmaya və korroziyaya davamlılıq baxımından daha əlverişli nəticələr verdiyi göstərilmişdir. Eyni zamanda bu materialların istehsalı zamanı rast gəlinən texnoloji çətinliklərə, xüsusilə temperaturun idarə olunması, oksidləşmə riski və prosesə daimi nəzarət ehtiyacına diqqət yetirilmişdir. Məqalədə nanoərintilərdə baş verən əsas kimyəvi reaksiyalar, xüsusilə qoruyucu oksid təbəqələrinin formalaşması prosesi analiz edilmiş və bu reaksiyaların materialın istismar xüsusiyyətlərinə təsiri izah olunmuşdur. Aparılan təhlillər göstərir ki, nanoərintilər yüksək potensiala malik olsa da, onların effektiv tətbiqi üçün düzgün texnoloji yanaşma və nəzarət mexanizmləri vacibdir. Nəticə etibarilə nanoərintilər müasir metallurgiyanın perspektivli istiqamətlərindən biri kimi qiymətləndirilir.

Açar sözlər: nanoərintilər, metallurgiya, nanoteknologiya, oksidləşmə, mexaniki xüsusiyyətlər, korroziyaya davamlılıq

Giriş

Müasir dövrdə sənaye sahələrinin inkişafı metallurgiyanın qarşısında yeni tələblər qoyur və bu tələblər daha keyfiyyətli, möhkəm və uzunömürlü materialların hazırlanmasını zəruri edir. Xüsusilə metal məmulatlarının istismar şəraitinin ağırlaşması onların daha davamlı olmasını vacib edir və bu da yeni texnologiyaların tətbiqinə ehtiyac yaradır. Bu baxımdan nanoteknologiya metallurgiya sahəsində diqqət çəkən və geniş imkanlar açan istiqamətlərdən biri hesab olunur.

Nanoteknologiyanın əsas tətbiq sahələrindən biri olan nanoərintilər metalların daxili quruluşunu daha incə səviyyədə dəyişməyə imkan verir. Nanoölçülü struktur materialın mexaniki xassələrinə birbaşa təsir göstərərək möhkəmliyin artmasına və deformasiya riskinin azalmasına səbəb olur. Eyni zamanda, bu cür ərintilər aşınma və korroziyaya qarşı daha dayanıqlı olur, bu da metal məmulatlarının xidmət müddətini xeyli uzadır.

Nanoərintilərin metallurgiyada tətbiqi yalnız materialın keyfiyyətini artırmaqla məhdudlaşmır, həm də istehsal proseslərinin daha səmərəli aparılmasına şərait yaradır. Bu materialların istifadəsi metalın çəkisinin azaldılmasına, enerji sərfiyyatının optimallaşdırılmasına və ümumi istehsal xərclərinin aşağı salınmasına kömək edir. Buna görə də nanoərintilər müasir metallurgiyanın perspektivli və əhəmiyyətli istiqamətlərindən biri kimi qiymətləndirilir[1].

1. Nanoərintilərin materialşünaslıqda rolunun təhlili

Nanoərintilərin metallurgiyada tətbiqinə baxarkən ilk olaraq onların praktikada necə nəticə verdiyini nəzərə almaq lazımdır. Çünki hər yeni texnologiya kağız üzərində nə qədər uğurlu görünərsə də, əsas dəyərini real istehsal və istifadə şəraitində göstərir. Nanoərintilər də bu baxımdan metallurgiya sahəsində maraq doğuran və eyni zamanda müxtəlif suallar yaradan materiallardır [2].

Təcrübələr və istehsal proseslərində aparılan müşahidələr göstərir ki, nanoölçülü struktur metalın xassələrinə birbaşa təsir edir. Metal əvvəlki kimi kövrək olmur, xarici təsirlərə qarşı daha dayanıqlı reaksiya verir və uzunmüddətli istifadə zamanı öz xüsusiyyətlərini daha yaxşı saxlayır. Bu dəyişikliklər xüsusilə mexaniki yüklərin çox olduğu sahələrdə aydın şəkildə hiss olunur[3].

İstismar zamanı nanoərintilərdən hazırlanan məmulatların daha az aşınması və səthində zədələrin gec yaranması da diqqət çəkən məqamlardandır. Bu isə istifadəçilər və istehsalçılar tərəfindən müsbət qarşılır, çünki məhsulun xidmət müddəti uzanır və əlavə xərclər azalır [4]. Digər tərəfdən, bəzi hallarda nanoərintilərin istehsalı zamanı texnoloji çətinliklər və əlavə nəzarət tələbləri ilə də qarşılaşılır, bu da prosesin diqqətlə idarə olunmasını zəruri edir [5].

Cədvəl : Nanoərintilərin istehsalı zamanı rast gəlinən texnoloji çətinliklər

Çətinliyin növü	Nə ilə bağlıdır	İstehsala təsiri
Hissəciklərin bərabər paylanmaması	Nanoölçülü hissəciklərin ərinti daxilində bir yerə yığılması	Materialın bəzi hissələri zəif olur, xüsusiyyətlər eyni olmur
Temperaturun dəqiq idarə olunmaması	Ərimə və soyutma zamanı temperaturun dəyişməsi	Nano struktur pozula bilər, istənilən nəticə alınmaz
Oksidləşmə riski	Nano hissəciklərin havaya qarşı həssas olması	Metalın keyfiyyəti aşağı düşür, səth qüsurları yaranır
Xüsusi avadanlıq tələbi	Standart metallurgiya avadanlıqlarının kifayət etməməsi	İstehsal xərcləri artır, proses çətinləşir
Prosesə daimi nəzarət ehtiyacı	Parametrlərin davamlı yoxlanılması	Vaxt itkisi və əlavə insan resursu tələb olunur
Ölçmə və analiz çətinliyi	Nano ölçülərin adi üsullarla ölçülməməsi	Keyfiyyətə tam nəzarət çətinləşir
Miqyaslama problemi	Laboratoriya nəticələrinin sənayeyə uyğunlaşdırılması	Kütləvi istehsalda çətinliklər yaranır

Mənbə : Koch, C. C. (2007). Nanostructured Materials: Processing, Properties and Applications. William Andrew Publishing.

Nanoərintilərin istehsalı zamanı qarşıya çıxan çətinliklər ilk baxışdan texniki detal kimi görünə bilər, əslində prosesin bütün gedişinə birbaşa təsir göstərir. Ən çox rast gəlinən problemlərdən biri nanoölçülü hissəciklərin ərinti daxilində bərabər paylanmamasıdır. Bu hissəciklər çox kiçik olduğuna görə bir-birinə yapışmağa meyilli olur və nəticədə materialın bəzi hissələri daha möhkəm, bəzi hissələri isə nisbətən zəif alınır [6]. Bu cür qeyri-bərabərlik hazır məhsulun etibarlılığına mənfi təsir göstərə bilər və istehsalçı əlavə yoxlamalar aparmağa məcbur edir. Digər ciddi məsələ temperaturun dəqiq idarə olunması ilə bağlıdır. Nanoərintilərin quruluşu temperatur dəyişikliklərinə olduqca həssasdır və ərimə və ya soyutma zamanı kiçik bir kənar çıxma belə materialın daxili strukturunu poza bilər. Bu halda əldə olunan ərinti gözlənilən mexaniki xüsusiyyətləri göstərmir və əvvəlcədən planlaşdırılan nəticə alınmır. Buna görə istehsal prosesi boyunca temperaturun sabit saxlanılması xüsusi diqqət tələb edir.

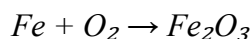
Nanoölçülü hissəciklərin havaya və ətraf mühitə qarşı həssas olması da istehsal zamanı problemlər yaradır. Oksidləşmə riski yüksək olduğu üçün materialın səthində arzuolunmaz dəyişikliklər baş verə bilər. Bu dəyişikliklər metalın həm xarici görünüşünə, həm də funksional xüsusiyyətlərinə təsir göstərir. Xüsusilə açıq mühitdə aparılan proseslərdə bu risk daha da artır və əlavə qoruyucu tədbirlərin görülməsini zəruri edir. Nanoərintilərin istehsalı üçün adətən standart metallurgiya avadanlıqları kifayət etmir. Daha dəqiq və həssas işləyən xüsusi qurğulara ehtiyac yaranır ki, bu da istehsal xərclərinin artmasına səbəb olur. Hər bir müəssisə bu cür avadanlıqları əldə etmək imkanına malik olmadığından, nanoərintilərin geniş tətbiqi bəzən məhdudlaşır. Üstəlik, bu avadanlıqlarla işləmək üçün ixtisaslı kadrlar da tələb olunur [7].

İstehsal prosesinə daimi nəzarət ehtiyacı da nəzərəcarpacaq çətinliklərdəndir. Nanoölçülü strukturlar adi materiallarla müqayisədə daha diqqətli yanaşma tələb edir və parametrlərin davamlı şəkildə izlənməsi vacib olur. Bu isə həm vaxt, həm də əlavə insan resursu tələb edir. Nəzarətin zəiflədiyi hallarda isə materialın keyfiyyəti gözlənilən səviyyədə olmaya bilər. Nanoərintilərin keyfiyyətinin qiymətləndirilməsi və ölçülməsi də asan proses deyil. Nano ölçülər adi ölçmə üsulları ilə tam

dəqiqliklə müəyyən edilə bilmədiyi üçün daha mürəkkəb analiz metodlarından istifadə olunur. Bu da həm vaxt aparır, həm də əlavə xərc tələb edir. İstehsalçı üçün bu mərhələ bəzən prosesin ən çətin hissəsinə çevrilir. Laboratoriya şəraitində uğurla əldə edilən nanoərintilərin sənaye miqyasında istehsalat tətbiqi də müəyyən problemlərlə müşayiət olunur. Kiçik həcmdə alınan müsbət nəticələri kütləvi istehsalda eyni səviyyədə qorumaq hər zaman mümkün olmur. Bu mərhələdə həm texnoloji, həm də iqtisadi çətinliklər ortaya çıxır və prosesin yenidən optimallaşdırılmasını tələb edir.

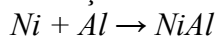
Nanoərintilərin istehsalı və istismarı zamanı baş verən prosesləri daha yaxşı anlamaq üçün kimyəvi reaksiyalara ayrıca diqqət yetirmək lazımdır. Bu reaksiyalar materialın son xüsusiyyətlərinin formalaşmasında əsas rol oynayır. Xüsusilə nanoölçülü hissəciklərin yüksək aktivliyə malik olması səbəbindən adi metallarla müqayisədə kimyəvi proseslər daha sürətli və daha həssas şəkildə baş verir [8].

İstehsal zamanı ən çox rast gəlinən reaksiyalardan biri oksidləşmə prosesidir. Nanoölçülü metal hissəcikləri havadakı oksigenlə asanlıqla reaksiyaya girir. Məsələn, nanoölçülü dəmir hissəcikləri ilə oksigen arasında baş verən



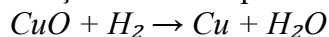
reaksiyası çox qısa zamanda baş verə bilər. Bu proses nəzarətsiz qaldıqda ərintinin tərkibində arzuolunmaz oksid fazaları yaranır və materialın möhkəmliyi zəifləyir. Buna görə istehsal zamanı inert qaz mühitindən istifadə olunması vacib hesab edilir.

Nanoərintilərdə komponentlər arasında diffuziya prosesləri də kimyəvi baxımdan mühüm rol oynayır. Məsələn, nikel və alüminium əsasında hazırlanmış nanoərintilərdə atomların bir-birinə sürətlə keçməsi nəticəsində yeni fazalar formalaşır.



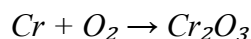
kimi reaksiyalar nəticəsində alınan birləşmələr yüksək temperatur və mexaniki yüklərə qarşı daha davamlı olur. Nanoölçülü quruluş bu reaksiyanın daha aşağı temperaturda və daha sürətli baş verməsinə şərait yaradır.

Bəzi hallarda nanoərintilərin istehsalı zamanı reduksiya reaksiyalarından da istifadə olunur. Metal oksidlərin nanoölçülü metal halına çevrilməsi bu prosesə nümunədir. Məsələn,



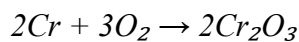
reaksiyası nəticəsində alınan nanoölçülü mis hissəcikləri daha sonra ərinti tərkibinə daxil edilir. Bu cür reaksiyalar dəqiq nəzarət tələb edir, çünki proses tam başa çatmadıqda ərintidə qalıq oksidlər qala bilər.

İstismar mərhələsində isə nanoərintilər korroziya reaksiyalarına fərqli reaksiya verir. Məsələn, adi poladla müqayisədə xrom əsaslı nanoərintilərdə



reaksiyası nəticəsində yaranan nazik oksid təbəqəsi metalı qoruyur və reaksiyanın dərinləşməsinin qarşısını alır. Nanoölçülü struktur bu qoruyucu təbəqənin daha sıx və davamlı olmasına kömək edir.

Nanoərintilərin metallurgiyada tətbiqində üzərində ən çox dayanılan reaksiyalardan biri dəmir–xrom əsaslı nanoərintilərdə oksidləşmə reaksiyasıdır. Bu reaksiya həm istehsal mərhələsində, həm də materialın real istismar şəraitində baş verir və nanoərintinin davranışını açıq şəkildə göstərir. Reaksiya aşağıdakı kimidir:



Xrom oksigenlə reaksiyaya girərək metal səthində çox nazik, lakin sıx və davamlı bir oksid təbəqəsi yaradır. Nanoərintilərdə xrom atomlarının ölçüsü və paylanması nano səviyyədə olduğu üçün bu oksid təbəqəsi adi poladlarda yaranan oksid qatından fərqli olaraq daha bərabər və daha möhkəm olur. Nəticədə oksigenin metalın dərin qatlarına keçməsi çətinləşir və korroziya prosesi xeyli zəifləyir. Bu reaksiyanın nanoölçülü struktura malik ərintilərdə daha stabil getməsinin əsas səbəbi atomların yüksək səth enerjisinə malik olmasıdır. Nanoölçülü xrom atomları oksigenlə daha sürətli reaksiya verir, lakin yaranan oksid təbəqəsi prosesi öz-özünə dayandırır. Yəni reaksiya nəzarətsiz şəkildə davam etmir, əksinə qoruyucu rol oynayır. Bu xüsusiyyət nanoərintilərin yüksək temperatur və rütubətli mühitlərdə istifadəsini mümkün edir. Eyni reaksiya yanlış şəraitdə baş verdikdə isə fərqli nəticələr ortaya çıxa bilər. Əgər istehsal zamanı oksigen miqdarı nəzarətdən çıxarsa və ya temperatur həddindən artıq yüksəlsə, Cr_2O_3 təbəqəsi qeyri-bərabər formalaşır. Bu halda metalın bəzi hissələri

qorunur, bəzi hissələri isə açıq qalır və lokal korroziya başlayır. Bu da nanoərintinin mexaniki xüsusiyyətlərinin qeyri-sabit olmasına səbəb olur [9].

Nanoərintilərdə kimyəvi proseslər təkcə maddələrin qarşılıqlı təsiri deyil, eyni zamanda strukturun necə formalaşdığını müəyyən edən əsas amillərdən biridir. Xromun oksidləşməsi düzgün idarə edildikdə materiala uzunömürlülük, istiliyə və kimyəvi təsirlərə qarşı davamlılıq qazandırır [10]. Lakin proses üzərində nəzarət zəiflədikdə eyni reaksiya material üçün risk faktoruna çevrilə bilər. Elə bu səbəbdən nanoərintilərin istehsalı zamanı bu tip reaksiyalar diqqətlə izlənməli, temperatur, mühit və tərkib dəqiq tənzimlənməlidir. Bu reaksiya üzərində aparılan analizlər nanoərintilərin real sənaye şəraitində necə davrandığını anlamaq üçün əsas baza rolunu oynayır [11].

2. Aparılmış təhlilin nəticələrinin müzakirəsi

Nanoərintilərin metallurgiyada tətbiqi bu sahə üçün sadəcə yeni bir texnoloji yanaşma deyil, eyni zamanda materialların keyfiyyətinə və istismar xüsusiyyətlərinə birbaşa təsir edən mühüm bir inkişaf mərhələsidir. Nanoölçülü strukturun metalın daxili quruluşuna verdiyi təsir nəticəsində möhkəmlik, davamlılıq və uzunömürlülük kimi əsas göstəricilərdə nəzərəcarpacaq yaxşılaşmalar müşahidə olunur. Bu isə nanoərintiləri müasir sənayenin artan tələblərinə cavab verən perspektivli materiallar sırasına daxil edir. Nanoərintilərin üstünlükləri əsasən onların kimyəvi və fiziki proseslərə fərqli reaksiya verməsi ilə bağlıdır. Xüsusilə oksidləşmə, diffuziya və korroziya kimi proseslərin nano səviyyədə daha nəzarətli şəkildə baş verməsi materialın səthində qoruyucu təbəqələrin formalaşmasına və daxili quruluşun sabit qalmasına şərait yaradır. Bu xüsusiyyətlər nanoərintilərin ağır istismar şəraitində belə öz funksional xüsusiyyətlərini qorumasına imkan verir [12].

Nanoərintilərin tətbiqi müəyyən çətinliklərsiz mümkün deyil. İstehsal prosesində temperaturun, mühitin və tərkibin dəqiq idarə olunması xüsusi diqqət tələb edir. Nanoölçülü hissəciklərin yüksək aktivliyi səbəbindən nəzarətsiz kimyəvi reaksiyalar materialın keyfiyyətinə mənfi təsir göstərə bilər. Buna görə də bu sahədə istifadə olunan texnologiyalar və nəzarət mexanizmləri daim təkmilləşdirilməlidir. Bütün bunlara baxmayaraq, nanoərintilərin verdiyi üstünlüklər mövcud çətinlikləri əhəmiyyətli dərəcədə üstələyir. Daha az material sərf etməklə daha yüksək mexaniki göstəricilərə malik məhsulların əldə olunması həm iqtisadi, həm də ekoloji baxımdan müsbət nəticələr yaradır. Bu isə nanoərintilərin gələcəkdə metallurgiyanın əsas istiqamətlərindən birinə çevriləcəyini göstərir.

Nanoərintilər metallurgiya sahəsində yeni imkanlar açmaqla yanaşı, materialşünaslıq baxımından da mühüm elmi və praktiki dəyərə malikdir. Bu sahədə aparılan araşdırmaların davam etdirilməsi və əldə olunan nəticələrin sənaye miqyasında tətbiqi gələcəkdə daha dayanıqlı, etibarlı və effektiv materialların istehsalına zəmin yaradacaqdır.

Nəticə

Aparılmış təhlil nanoərintilərin metallurgiyada yüksək elmi və texnoloji potensiala malik materiallar olduğunu göstərir. Nanoölçülü strukturun təsiri nəticəsində bu ərintilər mexaniki möhkəmlik, aşınmaya və korroziyaya davamlılıq baxımından ənənəvi ərintilərdən üstün xüsusiyyətlər nümayiş etdirir. Bu üstünlüklər nanoərintilərin ağır istismar şəraitində istifadəsini mümkün edən əsas amillər sırasındadır.

Tədqiqat nəticələri sübut edir ki, nanoərintilərdə oksidləşmə və diffuziya proseslərinin idarə olunması materialın struktur sabitliyi və uzunömürlülüüyü üçün həlledici əhəmiyyət daşıyır. Qoruyucu oksid təbəqələrinin formalaşması korroziya müqavimətini artırırsa da, istehsal mərhələsində temperatur və mühit parametrlərinə nəzarətin zəifləməsi struktur qeyri-sabitliyinə səbəb ola bilər.

Nəticə etibarilə, nanoərintilərin tətbiqi müəyyən texnoloji çətinliklərlə müşayiət olunsada, onların təqdim etdiyi funksional üstünlüklər bu məhdudiyyətləri əhəmiyyətli dərəcədə üstələyir. Bu sahədə istehsal texnologiyalarının optimallaşdırılması və elmi tədqiqatların davam etdirilməsi nanoərintilərin metallurgiyada geniş tətbiq perspektivlərini formalaşdırır.

Ədəbiyyat

1. Гусев, А. И. (2016). Наноматериалы и нанотехнологии в металлургии. Москва: ФИЗМАТЛИТ.
2. Koch, C. C. (2019). Nanostructured materials: Processing, properties and applications. Oxford, UK: Elsevier.
3. Yıldız, M., & Kaya, A. (2019). Nanoteknolojinin metalurji alanındaki uygulamaları. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(2), 310–318.
4. Çelik, E. (2020). Nanomalzemeler ve endüstriyel uygulamaları. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
5. Рагуля, А. В. (2018). Наноструктурированные материалы. Киев: Наукова думка.
6. Gleiter, H. (2017). Nanostructured materials: Basic concepts and microstructure. Acta Materialia, 48(1), 1–29. [https://doi.org/10.1016/S1359-6454\(99\)00285-2](https://doi.org/10.1016/S1359-6454(99)00285-2)
7. Князев, М. В., & Петров, С. А. (2017). Структурные особенности наносплавов. Металловедение и термическая обработка металлов, 5, 12–18.
8. Əliyev, R. H., & Məmmədov, T. Ə. (2020). Nanoölçülü materialların metallurgiyada tətbiqi perspektivləri. Azərbaycan Texniki Universitetinin Elmi Əsərləri, 12(3), 45–52.
9. Abbasov, A. M. (2018). Materialşünaslığın əsasları. Bakı: Elm və Təhsil.
10. Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). Materials science and engineering: An introduction (10th ed.). Hoboken, NJ: Wiley.
11. Demir, O., & Arslan, H. (2021). Nano alaşımların mekanik özelliklerinin incelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 34(1), 85–94.
12. Əhmədov, S. N. (2019). Metallar və ərintilər. Bakı: Bakı Universiteti Nəşriyyatı.