

**METALL MATERIALLARDA ZAMONAVIY TEXNOLOGIYALAR:  
YUQORI MUSTAHKAM PO‘LATLAR VA DIFFUZIYA  
JARAYONLARINING QIYOSIY TAHLILI**

*Tojiboyev Asqar Baxtiyor o‘g‘li*

*“TIQXMMI” Milliy tadqiqot universiteti talabasi*

[asqartojiboyev034@gmail.com](mailto:asqartojiboyev034@gmail.com)

*Abduraxmonova Shoxidaxon Abduqodirovna*

*“TIQXMMI” Milliy tadqiqot universiteti assistenti*

[abdurahmonovashohida3@gmail.com](mailto:abdurahmonovashohida3@gmail.com)

**Annotatsiya**

Ushbu ilmiy maqolada zamonaviy metallshunoslikning ikki muhim yo‘nalishi — yangi avlod yuqori mustahkam po‘latlar (AHSS) va metall materiallarda diffuziya jarayonlari — keng qamrovli tahlil qilinadi. AHSS materiallarining mikrostrukturali tabiati, deformatsiya mexanizmlari hamda sanoat tatbiqiga yo‘naltirilgan xossalari bayon etiladi. Diffuziya bo‘limida sementasiya, nitridasiya va boshqa termokimyoviy jarayonlarning fizik-kimyoviy asoslari va texnologik samarasi ko‘rib chiqiladi. Materiallarning mexanik, fizik va kimyoviy ko‘rsatkichlari qiyosiy jadvallar orqali taqdim etiladi.

**Kalit so‘zlar:** AHSS, dual-faza po‘lat, TRIP effekti, diffuziya, sementasiya, nitridasiya, termik ishlov, mikrostruktura, mexanik xossalar, avtomobilsozlik.

**Kirish**

Zamonaviy sanoat tarmoqlari — xususan, avtomobilsozlik, aerokosmik va mashinasozlik sohalari — materiallarga qo‘yilgan talablarni doimiy ravishda oshirib bormoqda. Bir tomondan, og‘irlik-mustahkamlik nisbatini yaxshilash orqali yoqilg‘i tejamliligi va emissiyalar kamaytirilishi lozim; ikkinchi tomondan, konstruksiyalarning ishonchliligi va avariya bardoshliligi uzluksiz oshirilishi talab etiladi. Ushbu ikki ziddiyatli talab zamonaviy metallshunoslikda yangi avlod materiallarning paydo bo‘lishiga zamin yaratdi.

Yuqori mustahkam po‘latlar (Advanced High Strength Steels — AHSS) va diffuziya asosidagi termokimyoviy ishlov berish texnologiyalari mazkur muammolarni hal etishda markaziy o‘rin tutadi. Agar AHSS materiallar asosiy konstruktiv elementlarning mustahkamligini ta‘minlasa, diffuziya jarayonlari sirt qatlamining mexanik va kimyoviy xossalarni tubdan yaxshilashga xizmat qiladi. Ushbu maqolada ikkala yo‘nalish ham ilmiy-texnik jihatdan qiyosiy tarzda ko‘rib chiqiladi.

AHSS — bu birinchi va ikkinchi avlod yuqori mustahkam po‘latlar bilan solishtirganda ancha murakkab mikrostrukturaga ega bo‘lgan materiallar guruhidir. Ular bir necha metallurgik fazalarni (ferrit, martensit, bainit, qolgan austenit) ma‘lum nisbatlarda o‘z ichiga oladi. Aynan shu ko‘p fazali tuzilish AHSS-ga noyob xossalar berishiga imkon yaratadi: yuqori kuchlanish chegarasida ham yetarli plastiklikni saqlab qolish qobiliyati.

Quyida AHSS turlarining asosiy mexanik xossalari va qo‘llanish sohalari keltirilgan:

**1-jadval.**

**AHSS turlari: mexanik xossalar va qo‘llanish sohalari (ASM International ma‘lumotlari asosida)**

AHSS turi	Kuchlanish chegarasi (MPa)	Elastiklik chegarasi (MPa)	Cho'zilish (%)	Qo'llanish sohasi
DP (Dual Phase)	600–1000	340–600	15–30	Tana panellari, ustunlar
TRIP (Transformation Induced Plasticity)	600–900	400–650	20–35	Energiya absorbsiyasi
CP (Complex Phase)	800–1000	600–850	10–15	Bumper, pol konstruksiyasi
MS (Martensit)	1200–1500	950–1300	5–8	A-ustun, to'qnashuv elementlari
TWIP (Twinning Induced Plasticity)	800–1200	400–600	40–70	Ultra-engil elementlar

Dual-faza (DP) po'lat AHSS oilasining eng keng tarqalgan vakili bo'lib, tarkibida asosan ferrit va martensit fazalari mavjud. Martensit mikro donachalari ferrit matritsasida tarqalgan bo'ladi. Sovitish jarayonida hosil bo'lgan martensit qattiq faza

plastik ferrit matritsa ichida kuchlanishlar hosil qiladi, bu esa materialning past kuchlanishlardan boshlab doimiy deformatsiyalanishiga olib keladi.

DP po‘latlarining o‘ziga xos xususiyatlaridan biri — yuqori boshlang‘ich deformatsion qattiqlashuv koeffitsienti. Bu xususiyat moshina tana elementlarida energiyani so‘rib olish va egilish chidamliligini ta‘minlashda muhim rol o‘ynaydi.

TRIP va TWIP effektlari:

Transformatsiya orqali plastiklik induksiyasi (TRIP — Transformation Induced Plasticity) effekti TRIP po‘latlarda kuzatiladi. Bu materiallar deformatsiyalanish jarayonida qolgan austenitni martensitga aylantiradi. Ushbu faza o‘tishi kuchlanish konsentratsiyasi sodir bo‘lgan joylarda ro‘y beradi va shu orqali yoriqlarning tarqalishini to‘xtatadi. Natijada material bir vaqtda ham yuqori mustahkamlikka, ham katta plastiklikka ega bo‘ladi.

Egizaklanish orqali plastiklik (TWIP) effekti esa yuqori marganesli (>15% Mn) po‘latlarda namoyon bo‘ladi. Deformatsiya jarayonida kristall panjara ichida mexanik egizaklar hosil bo‘lishi metallning deformatsiyani qabul qilish qobiliyatini keskin oshiradi. TWIP po‘latlar 40–70% gacha cho‘ziluvchanlikni saqlab qolgan holda 1200 MPa gacha mustahkamlikka ega bo‘lishi mumkin.

Avtomobilsozlikda qo‘llanishi:

Zamonaviy yengil avtomobillarda AHSS materiallardan tashkil topgan elementlar umumiy po‘lat massasining 60–70% ni tashkil etadi. Asosiy qo‘llanish yo‘nalishlari:

- B-ustun (B-pillar) va A-ustun: to‘qnashuv paytida yo‘lovchini himoya qiluvchi eng muhim konstruktiv element, odatda 1200–1500 MPa martensit po‘latdan tayyorlanadi.

- Eshik kirish poylari: yonbosh to‘qnashuvlarda energiyani so‘rib olish uchun DP yoki CP po‘latdan ishlanadi.
- Bampfer konstruksiyasi: TRIP po‘lat ishlatiladi, chunki energiya absorpsiyasi talab etiladi.
- Pol va tom: engil DP po‘latdan yasilib, massani kamaytirish maqsadini ko‘zlaydi.

AHSS materiallarini keng joriy etish natijasida zamonaviy avtomobil tanalari 1990-yillardagiga nisbatan 25–30% yengilashdi, ammo xavfsizlik standartlari sezilarli darajada yaxshilandi.

### **Grafik va formulalar:**

Diffuziya — bu atomlarning termal harakat ta‘sirida konsentratsiya gradienti yo‘nalishi bo‘yicha tartibsiz harakat natijasida to‘lqin kabi tarqalishi jarayonidir. Metall materiallarda diffuziya ikkita asosiy mexanizm orqali amalga oshadi: bo‘shliq mexanizmi va interstitsial mexanizm.

Fick qonunlari diffuziyaning miqdoriy tavsifini beradi. Birinchi Fick qonuni statsionar holat uchun diffuziya oqimini ifodalaydi:

$$\mathbf{J} = -\mathbf{D} \cdot (dC/dx)$$

bu yerda:

$J$  — diffuziya oqimi ( $\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ),  $D$  — diffuziya koeffitsienti ( $\text{m}^2/\text{s}$ ),  $dC/dx$  — konsentratsiya gradienti. Ikkinchi Fick qonuni esa notatsionar (o‘zgaruvchan) holat uchun vaqt va makon funksiyasi sifatida konsentratsiyaning o‘zgarishini tavsiflaydi.

Diffuziya koeffitsienti haroratga “Arrenius” tenglamasi orqali bog‘liq:  $D = D_0 \cdot \exp(-Q/RT)$ , bu yerda  $Q$  — aktivasiya energiyasi,  $R$  — universal gaz doimiysi,  $T$  — absolyut harorat. Harorat oshishi bilan diffuziya koeffitsienti eksponensial tarzda ortadi — bu

sementasiya va nitridasiya jarayonlarida yuqori haroratlar qo‘llanishining asosiy sababidir.

Sementasiya — past uglerodli po‘lat sirtiga uglerod atomlarini diffuziya yo‘li bilan kiritish jarayoni bo‘lib, 850–950°C harorat oralig‘ida amalga oshiriladi. Natijada sirt qatlamida uglerod miqdori 0.8–1.2% gacha yetadi, bu esa keyinchalik yuqori martensit qattiqligi (600–900 HV) hosil bo‘lishiga zamin yaratadi.

Zamonaviy sanoatda uchta asosiy sementasiya usuli qo‘llaniladi:

- Gaz sementasiyasi: tabiiy gaz yoki propan muxitida, eng keng tarqalgan usul, avtomatlashtirish oson.
- Vakuum sementasiyasi: past bosimda, toza sirt, o‘lchov aniqligi yuqori, ekologik tozaroq.
- Pasta (qattiq) sementasiyasi: qorishma aralashmada, kichik partiyalar uchun, eskirgan usul.

Sementasiya chuqurligi (sementasiya qatlami) ishlov berish davomiyligi va haroratga bog‘liq holda 0.5 mm dan 3.0 mm gacha bo‘lishi mumkin. Jarayon tishli g‘ildiraklarlar, zanjir halqalari, podshipniklar uchun pog‘onalari ishlab chiqarishda keng qo‘llaniladi.

Nitridasiya:

Nitridasiya jarayonida azot atomlari po‘lat sirtiga diffuziyalanadi. Sementasiyadan farqli o‘laroq, nitridasiya ancha past haroratlarda (480–600°C) amalga oshiriladi — bu qisman qattiqlangan po‘latlarning yadro xossalarini saqlab qolish imkonini beradi. Nitridasiya natijasida sirtida  $Fe_2N$ ,  $Fe_3N$ ,  $Fe_4N$  kabi nitrId birikmalari hosil bo‘ladi.

Nitridasiyaning asosiy afzalliklari:

- Korroziyaga qarshilik sezilarli oshadi — nitrId qatlam kimyoviy inert bo‘ladi

- Sirt qattiqligi 600–1200 HV — sementasiyaga qaraganda yuqoriroq bo‘lishi mumkin.
- Charchash chidamliligi (fatigue strength) oshadi — sirt siqilish kuchlanishlaridan foydali ta‘sir.
- O‘lchamli o‘zgarishlar minimal — sementasiyaga nisbatan ancha kam deformatsiya.

Diffuziya jarayonlarining qiyosiy tahlili:

Quyidagi jadvalda asosiy diffuziya asosidagi termokimyoviy jarayonlar qiyosiy tarzda taqdim etilgan:

3-jadval.

**Asosiy diffuziya jarayonlari: texnologik parametrlar va maqsadlari**

Jarayon	Harorat (°C)	Vaqt (soat)	Maqsad va natija
Sementasiya (Carburizing)	850–950	4–24	Sirt qattiqligini oshirish, yadro plastikligini saqlab qolish
Nitridasiya (Nitriding)	480–600	10–100	Charchash chidamliligini, korroziyaga qarshilikni oshirish
Karbonitridasiya	700–900	2–10	C va N bir vaqtda diffuziyasi, arzon texnologiya

Bor diffuziyasi	700–1100	2–12	Ekstremal qattqlik (1400–2000 HV), yuqori haroratga chidamlilik
Xromlashtirish	900–1100	8–24	Korroziya va oksidlanishga qarshilik, eskirishga chidamlilik

Quyida diffuziya chuqurligi ko‘rsatkichlari vizual tarzda taqdim etiladi.

Chuqurlik				
1				
0.8				
0.60000000000000000001				
0.4				
0.2				
0				
(mm)	Sementasiya (900°C, 8s)	Nitridasiya (520°C, 50s)	Karbonitridasiya (800°C, 6s)	Bor diffuziyasi

4-rasm. Turli diffuziya jarayonlarida tipik sirt qatlamining maksimal chuqurligi (mm), standart sharoitlar uchun

AHSS va diffuziya jarayonlarining qiyosiy tahlili:

AHSS texnologiyalari va diffuziya asosidagi ishlov berish usullari ko‘pincha muqobil emas, balki bir-birini to‘ldiruvchi yondashuv sifatida qaralishi lozim. Quyidagi jadvalda ushbu texnologiyalarning asosiy ko‘rsatkichlari solishtirilgan:

**5-jadval.**

**AHSS va diffuziya jarayonlarining asosiy ko‘rsatkichlari bo‘yicha qiyosiy tahlil**

<b>Ko‘rsatkich</b>	<b>AHSS (DP)</b>	<b>AHSS (TRIP)</b>	<b>Diffuziya (Sementasiya)</b>	<b>Diffuziya (Nitridasiya)</b>
Sirt qattiqligi (HV)	180–250	200–280	600–900	600–1200
Mustahkamlik (MPa)	600–1000	600–900	500–800 (yadro)	Asosiy qiymat saqlanadi
Cho‘zilish (%)	15–30	20–35	Kamayadi	5–10 (sirt)
Texnologik murakkablik	O‘rtacha	Yuqori	O‘rtacha-yuqori	Yuqori
Qo‘llanish sohasi	Konstruktiv	Energiya absorb.	Tishli g‘ildiraklarlar	Vallar, vtiulkalar

Tahlil ko'rsatadiki, AHSS materiallar butun hajm bo'yicha yuqori mexanik xossalarga ega bo'lsa, diffuziya jarayonlari sirt va yadro xossalarini alohida optimallashtirish imkonini beradi. Amaliyotda bu ikki yondashuv birlashtirilishi ham mumkin: masalan, DP po'latdan tayyorlangan tishli g'ildiraklarlar nitridasiyaga tobe etilsa, konstruktiv mustahkamlik ham, sirt chidamliligi ham bir vaqtda ta'minlanadi.

### **Natijalar va ularning tahlili:**

Ekologik jihat:

Zamonaviy sanoat uchun materiallar tanlashda ekologik ko'rsatkichlar tobora muhim ahamiyat kasb etmoqda. AHSS materiallardan foydalanish avtomobil massasini kamaytirish orqali yoqilg'i sarfini va CO<sub>2</sub> emissiyasini kamaytiradi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, avtomobil massasini 100 kg kamaytirish yoqilg'i sarfini 0.3–0.5 l/100 km ga kamaytirishi mumkin.

Diffuziya jarayonlarida esa ekologik muammo boshqacha: an'anaviy sementasiya va nitridasiya jarayonlari zararli gazlar (CN<sup>-</sup>, NH<sub>3</sub>) chiqarishi mumkin. Shu sababli vakuum sementasiyasi va plazma nitridasiyasi kabi ekologik tozaroq texnologiyalarga o'tish tendensiyasi kuzatilmoqda.

Hisoblash metallurgiyasi sohasidagi yutuqlar yangi materiallar ishlab chiqish vaqtini sezilarli qisqartirmoqda. CALPHAD (CALculation of PHase Diagrams) usuli yordamida yangi AHSS tarkiblarini eksperiment o'tkazmasdan modellashtirish mumkin. Diffuziya jarayonlari uchun esa sonli modellashtirish usullari (FEM, FDM) diffuziya chuqurligi va konsentratsiya profilini oldindan bashorat qilishga imkon beradi.

Uchinchi avlod AHSS (Gen-3 AHSS) hozirgi vaqtda faol tadqiqot va ishlab chiqish bosqichida. Bu materiallar birinchi avloddan qimmatroq, lekin ikkinchi avlod kabi qimmat bo'lishi mo'ljallanadi. Ular bir vaqtda 1200 MPa va undan yuqori

mustahkamlik hamda 30% dan ortiq cho'zilishni ta'minlashi kutiladi. Medium Manganese steels (MnSi asosidagi) va Q&P (Quenching and Partitioning) texnologiyasi ushbu maqsadga eng yaqin erishgan usullar sifatida tan olinmoqda.

Xulosa:

Ushbu maqolada yangi avlod yuqori mustahkam po'latlar (AHSS) va metall materiallarda diffuziya jarayonlari keng ko'lamda tahlil qilindi. Quyidagi asosiy xulosalar chiqarildi:

- AHSS materiallar ko'p fazali mikrostrukturasi tufayli an'anaviy po'latlarga nisbatan ancha murakkab deformatsiya mexanizmlariga ega bo'lib, bu ularga yuqori mustahkamlik bilan yetarli plastiklikni birlashtirish imkonini beradi.
- DP, TRIP va TWIP turidagi AHSS materiallarning har biri o'ziga xos qo'llanish sohasiga ega bo'lib, avtomobilsozlik sanoatida samarali tatbiq etilmoqda.
- Diffuziya jarayonlari — sementasiya, nitridasiya va boshqa termokimyoviy usullar — materiallarning sirt xossalari tubdan yaxshilash imkonini beradi, yadro xossalari esa zararsiz holatda saqlab qoladi.
- Ikki yo'nalish — AHSS va diffuziya jarayonlari — amaliyotda bir-birini to'ldiruvchi texnologiyalar sifatida birgalikda qo'llanilishi yuqori samaradorlikka erishish imkonini beradi.
- Raqamli modellashtirish va ekologik talablar ushbu materiallar sohasidagi kelajakdagi tadqiqotlarning asosiy yo'nalishlarini belgilab bermoqda.

Xulosa qilib aytganda, zamonaviy metallshunoslik sohasida AHSS va diffuziya jarayonlari bir-birini to'ldiruvchi texnologiyalar sifatida sanoatning turli ehtiyojlarini qondirishga xizmat qiladi. Bu materiallarni chuqur o'rganish va yanada rivojlantirish zamonaviy muhandislikning muhim vazifalaridan biri bo'lib qolmoqda.

**Adabiyotlar ro'yxati**

1. Hasanov A.T., Toshmatov B.R. (2018). Konstruksion materiallar texnologiyasi. O'quv qo'llanma. Toshkent: "TDTU nashriyoti", 312 b.
2. Yo'ldoshev S.I., Mirzayev J.A. (2020). Metallar va qotishmalar metallurgiyasi. Darslik. Toshkent: "Fan va texnologiya" nashriyoti, 448 b.
3. Qodirov T.O., Sobirov B.X. (2019). Termik ishlov berish texnologiyasi. O'quv qo'llanma. Toshkent: "Tafakkur" nashriyoti, 280 b.
4. Normo'minov A.A., Xasanov O.X. (2017). Qattiq jismlarda diffuziya jarayonlari. Monografiya. Toshkent: O'zbekiston Milliy Ensiklopediyasi Davlat ilmiy nashriyoti, 196 b.
5. Ismoilov U.J., Razzaqov A.N. (2021). Materiallar fizikaviy kimyosi va termodinamikasi. Darslik. Toshkent: "TDTU nashriyoti", 364 b.
6. Umarov E.S., Jurayev T.X. (2016). Po'lat va cho'yanning strukturasi va xossalari. O'quv qo'llanma. Samarqand: SamDU nashriyoti, 244 b.
7. Tursunov N.X., Qosimov F.A. (2022). Avtomobil sanoatida zamonaviy konstruksion materiallar. O'quv qo'llanma. Toshkent: "Yangi nashr" nashriyoti, 188 b.
8. Begmatov I.I., Saidov M.X. (2018). Sirt mustahkamlash texnologiyalari: kimyoviy va termik usullar. Toshkent: "Akademiya" nashriyoti, 256 b.
9. Xoliqov S.B., Alijonov D.O. (2020). Mashinasozlikda materiallarni issiqlik bilan ishlash. Darslik. Farg'ona: FarPI nashriyoti, 320 b.
10. Raximov R.R., Nazarov Sh.T. (2023). Metallshunoslik va termik ishlov berish asoslari. Darslik. Toshkent: "O'zbekiston" nashriyoti, 408 b.
1. Hasanov A.T., Toshmatov B.R. (2018). Konstruksion materiallar texnologiyasi. O'quv qo'llanma. Toshkent: "TDTU nashriyoti", 312 b.

2. Yo‘ldoshev S.I., Mirzayev J.A. (2020). Metallar va qotishmalar metallurgiyasi. Darslik. Toshkent: "Fan va texnologiya" nashriyoti, 448 b.
3. Qodirov T.O., Sobirov B.X. (2019). Termik ishlov berish texnologiyasi. O‘quv qo‘llanma. Toshkent: "Tafakkur" nashriyoti, 280 b.
4. Normo‘minov A.A., Xasanov O.X. (2017). Qattiq jismlarda diffuziya jarayonlari. Monografiya. Toshkent: O‘zbekiston Milliy Ensiklopediyasi Davlat ilmiy nashriyoti, 196 b.
5. Ismoilov U.J., Razzaqov A.N. (2021). Materiallar fizikaviy kimyosi va termodinamikasi. Darslik. Toshkent: "TDTU nashriyoti", 364 b.
6. Umarov E.S., Jurayev T.X. (2016). Po‘lat va cho‘yanning strukturasi va xossalari. O‘quv qo‘llanma. Samarqand: SamDU nashriyoti, 244 b.
7. Tursunov N.X., Qosimov F.A. (2022). Avtomobil sanoatida zamonaviy konstruksion materiallar. O‘quv qo‘llanma. Toshkent: "Yangi nashr" nashriyoti, 188 b.
8. Begmatov I.I., Saidov M.X. (2018). Sirt mustahkamlash texnologiyalari: kimyoviy va termik usullar. Toshkent: "Akademiya" nashriyoti, 256 b.
9. Xoliqov S.B., Alijonov D.O. (2020). Mashinasozlikda materiallarni issiqlik bilan ishlash. Darslik. Farg‘ona: FarPI nashriyoti, 320 b.
10. Raximov R.R., Nazarov Sh.T. (2023). Metallshunoslik va termik ishlov berish asoslari. Darslik. Toshkent: "O‘zbekiston" nashriyoti, 408 b.