

METALL MATERIALLARDA DIFFUZIYA JARAYONLARI

Muallif: Toshkent irrigatsiya va qishloq xo`jaligini

mehanzatsiyalashtirish muhandislari instituti

“Milliy tadqiqot universiteti”

Qishloq xo`jaligini mehanizatsiyalashtirish fakulteti

2- kurs talabasi **Nusharov Islom**

ad929220@gmail.com

Ilmiy raxbar: **Abdurahmonova Shohidaxon**

abdurahomonovashohida3@gmail.com

Annotatsiya Ushbu maqolada metall materiallarda kechadigan diffuziya jarayonlarining fundamental asoslari va ularning zamonaviy texnologik jarayonlardagi o‘rni atroflicha tahlil qilinadi. Tadqiqotning asosiy diqqat markazi diffuzion mexanizmlarning metallar strukturasi va ekspluatatsion xossalarini shakllantirishdagi ahamiyatiga qaratilgan. Xususan, materiallar yuzasining fizik-mexanik xususiyatlarini yaxshilashda keng qo‘llaniladigan kimyoviy-termik ishlov berish usullari — sementasiya (uglerod bilan to‘yintirish) va nitridasiya (azot bilan to‘yintirish) jarayonlari nazariy va amaliy jihatdan ko‘rib chiqiladi. Maqolada diffuziya koeffitsiyentining haroratga bog‘liqligi, atomlarning kristall panjaradagi harakat qonuniyatlari va ushbu jarayonlarning detallar chidamliligini oshirishdagi roli ilmiy dalillar bilan yoritilgan. Bundan tashqari, diffuziya jarayonlarini boshqarish orqali materiallarning korroziyaga bardoshliligi, qattiqligi va yeyilishga chidamliligini oshirish imkoniyatlari tahlil qilingan. Mazkur ish mashinasozlik va materialshunoslik sohasidagi mutaxassislar, shuningdek, metallarga termik ishlov berish texnologiyalarini tadqiq etayotgan izlanuvchilar uchun mo‘ljallangan.

Maqolaning nazariy qismida diffuziyaning vakansiya va tugunlararo mexanizmlari, Fik qonuniyatlari hamda diffuziya koeffitsientining harorat va aktivlanish energiyasiga bog‘liqligi zamonaviy metallurgiya nuqtayi nazaridan yoritilgan. Materialshunoslikning dolzarb masalalaridan biri bo‘lgan — metallar sirtini legirlovchi elementlar bilan

to'yintirish orqali ularning funksional imkoniyatlarini kengaytirish masalasiga alohida urg'u berilgan.

Amaliy qismda kimyoviy-termik ishlov berishning eng samarali usullari bo'lgan sementasiya va nitridasiya jarayonlari qiyosiy tahlil qilinadi:

Sementasiya jarayonida past uglerodli po'latlar sirtida yuqori qattqlikka ega bo'lgan qatlam hosil qilish va o'zak qismining plastikligini saqlab qolish mexanizmlari ko'rib chiqiladi.

Nitridasiya qismida esa azot atomlarining metall panjarasiga diffuziyasi natijasida hosil bo'ladigan nitridli fazalarning korroziyaga va yeyilishga o'ta yuqori bardoshliligi ilmiy asoslab beriladi.

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, diffuziya jarayonlarini aniq boshqarish orqali mashinasozlik detallarining ishlash muddatini bir necha barobarga oshirish, ularning ekstremal sharoitlardagi (yuqori bosim, harorat va agressiv muhit) chidamliligini ta'minlash imkonini beradi. Mazkur ish materialshunoslik yo'nalishidagi olimlar, muhandistexnologlar va oliy o'quv yurtlarining magistrantlari uchun muhim nazariy-amaliy manba bo'lib xizmat qiladi.

Аннотация Тема: Диффузионные процессы в металлических материалах В данной статье подробно анализируются фундаментальные основы диффузионных процессов, протекающих

в металлических материалах, и их роль в современных технологических циклах. Основное внимание уделяется значимости диффузионных механизмов в формировании структуры и эксплуатационных свойств металлов. В частности, теоретически и практически рассматриваются методы химико-термической обработки, широко применяемые для улучшения физикомеханических характеристик поверхностей материалов — цементация (насыщение углеродом) и нитрирование (насыщение азотом). В работе на основе научных данных освещены зависимости коэффициента диффузии от температуры, закономерности

перемещения атомов в кристаллической решетке и роль этих процессов в повышении долговечности деталей. Кроме того, проанализированы возможности управления процессами диффузии для повышения коррозионной стойкости, твердости и износостойкости материалов. Данная работа предназначена для специалистов в области машиностроения и материаловедения, а также для исследователей, изучающих технологии термической обработки металлов

В теоретической части статьи рассматриваются вакансионный и межузельный механизмы диффузии, законы Фика, а также зависимость коэффициента диффузии от температуры и энергии активации с точки зрения современной металлургии. Особое внимание уделено одной из актуальных задач материаловедения — расширению функциональных возможностей металлов путем насыщения их поверхности легирующими элементами. В практической части проводится сравнительный анализ цементации и нитрирования как наиболее эффективных методов химикотермической обработки: В процессе цементации рассматриваются механизмы формирования высокотвердого слоя на поверхности низкоуглеродистых сталей при сохранении пластичности сердцевины. В разделе нитрирования научно обосновывается чрезвычайно высокая коррозионная и износостойкость нитридных фаз, образующихся в результате диффузии атомов азота в металлическую решетку. Результаты исследования показывают, что точное управление диффузионными процессами позволяет в несколько раз увеличить срок службы деталей машин и обеспечить их устойчивость в экстремальных условиях (высокое давление, температура и агрессивные среды). Данная работа является важным теоретико-практическим ресурсом для ученых в области материаловедения, инженеров-технологов и магистрантов высших учебных заведений.

Abstract Subject: Diffusion Processes in Metallic Materials This article provides a comprehensive analysis of the fundamental principles of diffusion processes in metallic materials and their significance in modern technological applications. The primary focus of the research is on the role of diffusion mechanisms in shaping the microstructure and

functional properties of metals. Specifically, the paper examines the theoretical and practical aspects of thermochemical treatment methods widely used to enhance the physical and mechanical properties of material surfaces, such as carburizing (carbon enrichment) and nitriding (nitrogen enrichment). Based on scientific evidence, the study highlights the temperature dependence of the diffusion coefficient, the laws governing atomic movement within the crystal lattice, and the contribution of these processes to increasing component durability. Furthermore, the potential for controlling diffusion processes to improve corrosion resistance, hardness, and wear resistance of materials is analyzed. This work is intended for specialists in mechanical engineering and materials science, as well as researchers focusing on heat treatment technologies for metals.

In the theoretical section of the article, the vacancy and interstitial mechanisms of diffusion, Fick's laws, and the dependence of the diffusion coefficient on temperature and activation energy are analyzed from the perspective of modern metallurgy. Particular emphasis is placed on one of the pressing issues in materials science: expanding the functional capabilities of metals by saturating their surfaces with alloying elements. In the practical section, a comparative analysis of carburizing and nitriding, the most effective methods of thermochemical treatment, is presented: Regarding the carburizing process, the mechanisms for forming a high-hardness surface layer on low-carbon steels while maintaining the core's plasticity are examined. In the nitriding section, the exceptionally high corrosion and wear resistance of nitride phases, formed as a result of nitrogen atom diffusion into the metallic lattice, is scientifically substantiated. The research results demonstrate that precise control of diffusion processes allows for a multi-fold increase in the service life of machine components and ensures their durability under extreme conditions (high pressure, temperature, and aggressive environments). This work serves as an essential theoretical and practical resource for materials science researchers, process engineers, and graduate students at higher education institutions.

Kalit soʻzlar: metallarda diffuziya, sementasiya, nitridasiya, kimyoviytermik ishlov, kristall panjara, diffuziya koeffitsiyenti, qattiqlik, yeyilishga chidamlilik, materialshunoslik, termik ishlov.

MAVZUNING DOLZARBLIGI Zamonaviy mashinasozlik va metallurgiyaning bugungi rivojlanish bosqichida materiallarning ichki imkoniyatlarini maksimal darajaga yetkazish asosiy vazifa hisoblanadi. Metallarda diffuziya jarayonlarini oʻrganish shunchaki nazariy izlanish emas, balki global sanoat muammolarini yechish kalitidir. Ushbu mavzuning dolzarbligi quyidagi strategik yoʻnalishlar bilan asoslanadi:

Ekstremal sharoitlarda chidamlilik: Masalan, aviatsiya dvigatellari yoki neft-gaz burgʻulash uskunalarining detallari $+500^{\circ}\text{C}$ dan yuqori haroratda va agressiv kimyoviy muhitda ishlaydi. Bunday sharoitda oddiy metallar tezda korroziyaga uchraydi yoki shaklini yoʻqotadi. Diffuzion mustahkamlash (masalan, aluminirlash yoki xromlash) detalning ishlash muddatini 5-10 barobargacha oshiradi.

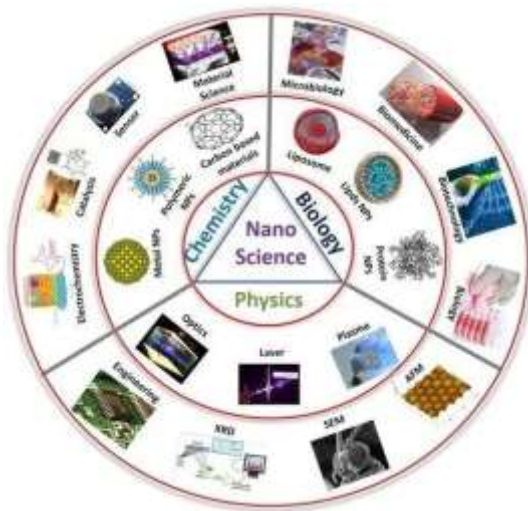


Energiya va resurs samaradorligi: Butun boshli detalni qimmatbaho titan yoki nikel qotishmalaridan yasash oʻrniga, nisbatan arzon poʻlat sirtiga diffuziya orqali maxsus xossalarni berish tannarxni 40-60% ga pasaytiradi.

Диффузия перманганата калия в воде



Nano-darajadagi texnologiyalar: Hozirgi kunda diffuziya jarayonlarini boshqarish orqali metall sirtida nano-qatlamlar hosil qilish, bu esa mikroelektronika va yuqori aniqlikdagi asbobsozlikda yangi davrni ochmoqda.



1. Diffuziyaning termodinamik va kinetik asoslari Diffuziya — bu tizimning minimal energiya holatiga intilishi natijasidir.

Fikning birinchi qonuni: Modda oqimi konsentratsiya gradientiga proporsionaldir ($J = -D \frac{dc}{dx}$).

Haroratning roli: Harorat 100°C ga ko'tarilishi diffuziya tezligini o'nlab marta oshirishi mumkin.

Misol: Po‘latni 500°C da sementasiya qilib bo‘lmaydi, chunki atomlar metall panjarasiga kirib borishi uchun yetarli kinetik energiyaga ega bo‘lmaydi. Shu sababli jarayon 900-950°C da (austenit sohasida) amalga oshiriladi.

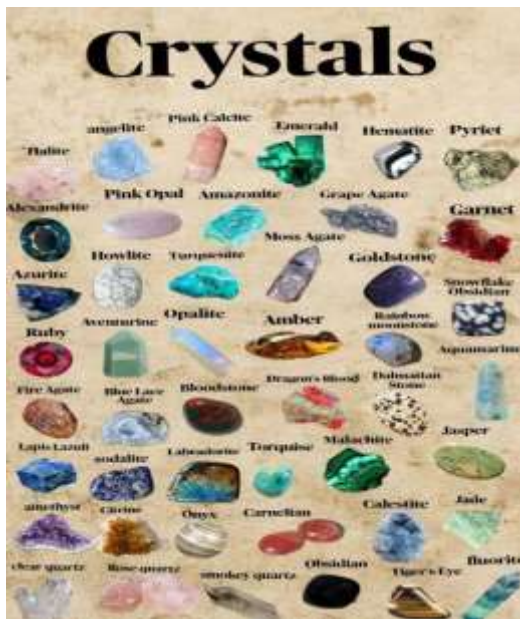
2. Kimyoviy-termik ishlov berishning zamonaviy usullari A) Sementasiya (Uglerod bilan to‘yintirish) Bu usulda detal yuzasidagi uglerod miqdori 0,8–1,0% gacha yetkaziladi, o‘zagi esa 0,15–0,2% darajasida qoladi.

Amaliy misol: Avtomobil vites qutisi (KPP) tishli g‘ildiraklari. Agar tishli g‘ildirak butunlay qattiq bo‘lsa, u zarbadan sinib ketadi. Sementasiya natijasida tish sirti shishadek qattiq (yeyilmaydi), o‘zagi esa qayishqoq (zarbaga chidamli) bo‘ladi. B) Nitridasiya (Azot bilan to‘yintirish) Azot atomlari metall ichida o‘ta barqaror birikmalar — nitridlar (masalan, (Fe_4N, AlN)) hosil qiladi.

Amaliy misol: Ichki yonuv dvigatellarining tirsakli vallari (korenbal). Nitridlangan sirt nafaqat o‘ta qattiq bo‘ladi, balki +500°C haroratgacha o‘z qattiqligini yo‘qotmaydi (sementasiyadan farqli o‘laroq). V) Sianlash va Nitrosementasiya Bu usulda sirt bir vaqtning o‘zida ham uglerod, ham azot bilan to‘yintiriladi. Bu jarayon pastroq haroratda kechadi va detalning shakli o‘zgarishi (deformatsiya) minimal bo‘ladi.

3. Diffuziya jarayoniga ta’sir etuvchi omillar.

Kristall panjara turi: Masalan, uglerod atomlari temirning (γ) panjarasida (austenit) (α) -panjaraga (ferrit) qaraganda yaxshiroq eriydi va tezroq diffuziyalanadi.



Sirt holati: Agar metall sirti oksid qatlami yoki moy bilan qoplangan bo‘lsa, diffuziya to‘xtaydi. Shuning uchun detallar oldindan kimyoviy usulda tozalanadi.

Vaqt faktori: Diffuzion qatlam chuqurligi vaqtning kvadrat ildiziga proporsional ($\approx \sqrt{\tau}$). Ya'ni, qatlamni 2 marta qalinlashtirish uchun vaqtni 4 marta oshirish kerak.

4. Sanoatda qo‘llanilishi va natijalar Bugungi kunda "Plazmali nitridasiya" kabi yuqori texnologik usullar qo‘llanilmoqda. Bunda gaz razryadi yordamida azot ionlari metall sirtiga "bombardimon" qilinadi. Bu usul ekologik toza va jarayon vaqtini 30-50% ga qisqartiradi.

Sementasiya va nitridasiya — bu metallar yuzasini mustahkamlashning eng asosiy ikki usuli hisoblanadi.

Sementasiya (Uglerod bilan to‘yintirish) Bu jarayonda past uglerodli po‘lat detallar uglerodga boy muhitda yuqori haroratda qizdiriladi.

Harorat: Odatda 900–950°C (yuqori harorat).

Maqsad: Detal sirtida qattiq "qobiq" hosil qilish, lekin uning ichki qismini (o‘zagini) yumshoq va zarbalarga chidamli holatda saqlash.

Qattqlik: Jarayondan so‘ng detal albatta toblash (zakalka) qilinishi shart. Shundan keyingina sirt o‘ta qattiq bo‘ladi.

Misol: Avtomobillarning tishli g‘ildiraklari (shesternya), vallar va barmoqlar (pals). Ular ish paytida ham yeyilishga, ham kuchli zarbalarga bardosh berishi kerak.

Nitridasiya (Azot bilan to‘yintirish) Bu jarayonda metall sirti azot atomlari bilan to‘yintiriladi.

Harorat: Odatda 500–600°C (past harorat).

Maqsad: Sirtida o‘ta yuqori qattqlik va korroziyaga chidamlilik hosil qilish.

Qattqlik: Sementasiyadan farqli o‘laroq, nitridasiyadan keyin toblash shart emas. Detal jarayonning o‘zidayoq qattqlashadi.

Afzalligi: Past haroratda bo‘lgani uchun detalning shakli deyarli o‘zgarmaydi (qiyshaymaydi). Shuningdek, nitridlangan detal +500°C issiqda ham o‘z qattqligini yo‘qotmaydi.

Misol: Dvigatellarning tirsakli vallari (kolental), silindr gilzalari va yuqori aniqlikdagi o‘lchov asboblari.

Termik ishlov — bu metall va qotishmalarning ichki tuzilishini (mikrostrukturasini) o‘zgartirish orqali ularning fizik-mexanik xususiyatlarini (qattqligi, mustahkamligi, plastikligi) boshqarish jarayonidir. Bunda metall ma‘lum haroratgacha qizdiriladi, shu haroratda ushlab turiladi va so‘ngra ma‘lum tezlikda sovitiladi.

Termik ishlovning asosiy turlari quyidagilardir:

Tovlash (Othig) — "Yumshatish" Metallni yuqori haroratgacha qizdirib, pechning o‘zi bilan birga juda sekin sovitish jarayoni.

Maqsadi: Ichki kuchlanishlarni yo‘qotish, metallni yumshatish va keyingi ishlov berishni (masalan, kesib ishlashni) osonlashtirish.

Normallashtirish (Normalizatsiya) Metallni qizdirib, ochiq havoda sovitish.

Maqsadi: Metall donachalarini maydalash, strukturasi bir xil holatga keltirish va mustahkamligini oshirish.

Toblash (Zakalka) — "Qattiqlashtirish" Metallni kritik haroratdan yuqori qizdirib, so'ngra suv, moy yoki tuzli eritmalarda juda tez sovitish.

Maqsadi: Maksimal darajadagi qattqlik va mustahkamlikka erishish.

Natija: Metall o'ta qattiq, lekin mo'rt (tez sinuvchan) bo'lib qoladi.

4. Bo'shatish (Otpusk) Toblangan metallni qayta qizdirish (lekin pastroq haroratda) va havoda sovitish.

Maqsadi: Toblashdan keyingi mo'rtlikni kamaytirish, detalga qayishqoqlik va plastiklik berish. Bu jarayon toblashdan keyin albatta bajariladi.

5. Kimyoviy-termik ishlov (KTIB) Bu biz yuqorida gaplashgan sementasiya va nitridasiya jarayonlaridir. Bunda metall nafaqat qizdiriladi, balki uning sirti boshqa elementlar (C, N) bilan to'yintiriladi.

O'zbek va Rus tillaridagi adabiyotlar:

Gulyayev A.P. "Metallshunoslik" (Металловедение). **Moskva:** Metallurgiya, 1986. (Ushbu darslik metallardagi diffuziya va termik ishlov bo'yicha eng mashhur manbalardan biri hisoblanadi).

Ismoilov M.I. "Materialshunoslik". **Toshkent:** O'zbekiston, 2002

.To'raev A.S., Norxudjaev F.R. "Materialshunoslik va metallar texnologiyasi". **Toshkent:** Fan va texnologiya, 2015.

Laktin Yu.M. "Kimyoviy-termik ishlov berish" (Химико-термическая обработка металлов). **Moskva:** Mashinostroyeniye, 1985.

Novikov I.I. "Metallar nazariyasi" (Теория термической обработки металлов). *Moskva:* Metallurgiya, 1986.

Paul Shewmon. "Diffusion in Solids". – Springer, 2016. (Diffuziya jarayonlari bo'yicha dunyodagi eng asosiy fundamental kitoblardan biri).

Robert DeHoff. "Thermodynamics in Materials Science". – CRC Press, 2006.

Porter D.A., Easterling K.E. "Phase Transformations in Metals and Alloys". – CRC Press, 2009. (Faza almashinuvlari va diffuziya mexanizmlari bo'yicha eng yaxshi qo'llanma).

William D. Callister, David G. Rethwisch. "Materials Science and Engineering: An Introduction". – Wiley, 2018.