

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM
VAZIRLIGI

ABU RAYHON BERUNIY NOMIDAGI
TOSHKENT DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI

ABDULLAYEV F.S., MAHKAMOV Q.X.

Metallarni bosim bilan ishlash nazariyasi asoslari

Toshkent 2004

UDK 621.73.073

Abdullayev F.S., Mahkamov Q.X. Metallarni bosim bilan ishlash nazariyasi asoslari. Toshkent: ToshDTU, 2004. -216 b.

Darslikda metallarni bosim bilan ishlash nazariyasining asoslari 5520600 – «Mashinasozlik texnologiyasi, mashinasozlik ishlab chiqarish jihozlari va ularni avtomatlashtirish» yoʻnalishi bakalavrlarining oʻquv dasturi hajmida bayon etilgan.

Oʻzbekiston Respublikasi Oliy va oʻrta maxsus taʼlim vazirligining muvofiqlashtiruvchi Kengashi bakalavrlar uchun darslik sifatida nashr etishga tavsiya etgan.

Taqrizchilar:

T.f.n., dotsent Zoirov E.U., t.f.d., professor Kalamazov R.U. (ToshDTU)

Texnika fanlari doktori, professor Mehridinov R. (O'zbekiston qiyin eruvchi va o'tga chidamli materiallar kombinati)

© Toshkent davlat texnika universiteti, 2004

Toshkent davlat texnika universitetining 75 yilligiga bag'ishlanadi

KIRISH.

Metallarni bosim bilan ishlash nazariyasi amaliy muhandislik fani bo'lib, uning vazifasi metallarni bosim bilan ishlash jarayonlarini ratsional qurish va tahlil qilishning umumiy prinsiplarini ishlab chiqish hisoblanadi. Bunda metallarga bosim bilan ishlov berish faqat xomaki mahsulot, ko'pincha talab qilingan shakldagi tayyor detallar ham olishni ta'minlash emas, balki metallda sifat o'zgarishlarini ham keltirib chiqarishini hisobga olish lozim.

Metallarni bosim bilan ishlash nazariyasi bunday ishlov berish texnologiyasining ilmiy asosi bo'lishi kerak.

Metallarni bosim bilan ishlash nazariyasi quyidagilarni ko'rib chiqadi va o'rganadi:

1. Operatsiyalari soni eng kam bo'lgan, ya'ni eng samarador texnologik jarayonlar yaratish maqsadida turli operatsiyalarda me-

tallning eng katta shakl o'zgarishlari imkoniyati ta'minlanadigan sharoitlar.

2. Xomaki mahsulot va detallarning eng yaxshi foydalanish tavsiflari olish maqsadida bosim bilan ishlov berishni metallning mexanik va fizikaviy xossalari ta'siri.

3. Dastlabki xomaki mahsulotni yoki bosim bilan ishlov berishdan keyin olinadigan detallarni o'lchamlari va shakllari orasidagi eng qulay nisbatlarni qidirib topish, xususan mahsulot sifatini oshirish va metall sarfini kamaytirish maqsadida xomaki mahsulotning turli operatsiyalarda shakl o'zgarishlari xarakteri.

4. Bosim bilan ishlov berish operatsiyalarida metallning plastik deformatsiyalarga qarshiligi, ya'ni jihozlarni to'g'ri tanlash va ishchi asbobni mustahkamlikka hisoblash maqsadida kuchlanishlarni, bu operatsiyalarni amalga oshirish uchun kerakli kuchlarni va ishlarni taqsimlanishi.

Metallarni bosim bilan ishlash nazariyasi uchun asosiy poydevor bo'lib, reologiya, ya'ni moddalarning oqishi to'g'risidagi fanning bo'limi bo'lgan, metallarning plastik deformatsiyasi haqidagi fan hisoblanadi.

Metallning plastik deformatsiyalari haqidagi fan quyidagi, metallarga bosim bilan ishlov berish nazariyasi uchun birdek muhim ahamiyatga ega bo'lgan o'zaro bog'liq uchta asosiy yo'nalishlarda birgalikda rivojlanmoqda:

1. Metallning plastik deformatsiyasi jarayoni fizikasi. Bu yo'nalish metallning plastik shakl o'zgarishi mexanizmini tajribada va nazariy o'rganadi, turli omillarning, asosan temperaturani, deformatsiya tezligi va kuchlanganlik holatining turini bu jarayonga ta'sirini belgilaydi, demak, metall elastik holatdan plastik holatga o'tish shartlarini belgilaydi.

2. Plastik deformatsiyani metallning kimyoviy tarkibi va fazaviy holati bilan bog'lanishini ko'rib chiqadigan deformatsiya jarayonining fizikaviy kimyosi.

3. Kuchlangan va deformatsiyalangan holatlarni, plastik deformatsiyalanuvchi jismda kuchlanishlarning kattaligi va taqsimlanishi masalalarini matematik ishlab chiquvchi, jismni plastik holatga o'tish shartlarini tahlil etuvchi plastik deformatsiya mexanikasi.

Plastik deformatsiya nazariyasi nisbatan yosh fan hisoblanadi. Uning jadal rivojlanishini boshlanishi yaqin yuz yillikka tegishli. Metallarni bosim bilan ishlash nazariyasi yanada yangi hisoblanadi. Uni ishlab chiqish faqat asrimizning 30-yillarida, bunday ishlov berishning sanoatdagi ahamiyati keskin o'sishi munosabati bilan boshlandi.

Metallarni bosim bilan ishlash nazariyasi ko'plab zamonamiz olimlari mehnati bilan yaratildi. Ular orasidan S.I.Gubkin, E.P.Unksov, G.A. Smirnov-Alyayev, N.I. Korneev, I.M. Pavlov va boshqalar bu nazariyaning alohida boshqa ko'plab bo'limlari va masalalarini ishlab chiqqanlar: L.A. Shofman, A.D. Tomlenov, K.N. Shevchenko, I.A. Noritsin, M.V. Storojev, E.A. Popov va A.G. Ovchinnikovlarni birinchi navbatda eslab o'tish lozim. O'zbekistonda fanning bu tarmog'ini rivojlanishi va joriy qilinishiga M.T.O'rozboev va boshqalar o'z hissalarini qo'shganlar.

Bu ishlarning ahamiyati beqiyosdir. Ular texnologik jarayonlarni ijodiy va tushungan holda takomillashtirish, sanoatimiz texnikasini yanada baland pog'onalarga ko'tarish imkoniyatini beruvchi muhandislik fani sifatida metallarga bosim bilan ishlov berish texnologiyasi ilmiy asosini yaratishni ta'minladilar.

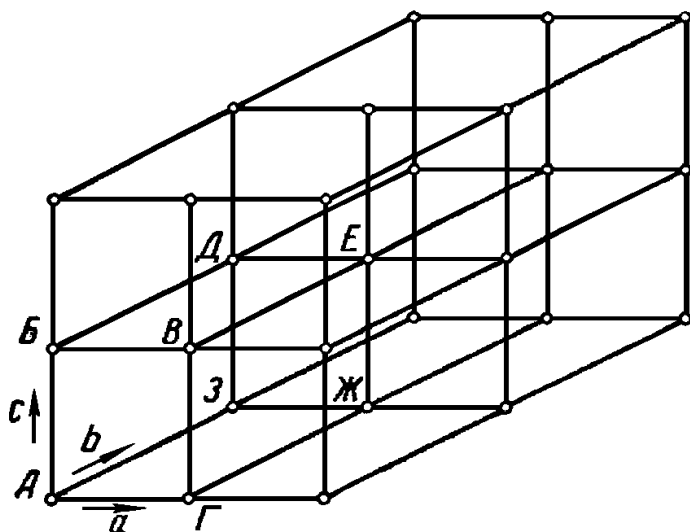
Metallarni bosim bilan ishlash nazariyasi bo'yicha ko'p sonli adabiyotlar mavjud. Ularda ko'plab alohida olimlar ham, ilmiy tadqiqot institutlari jamoalari va texnika o'quv muassasalari ham bajargan nazariy va tajriba ishlari ifodalangan.

Metallarni bosim bilan ishlash nazariyasining sanoatdagi ahamiyati, temirchilik-press ishlab chiqarishni uzluksiz oshib borayotgan qiymatini nazarda tutsak, tinmay oshib bormoqda.

1-bob. PLASTIK DEFORMATSIYANING TABIATI.

1.1. Metallarning tuzilishi.

Barcha metall va qotishmalar kristall tuzilishga ega. Kristall tuzilish umuman atomlarning fazoda qonuniyatli va davriy joylashuvi bilan ajralib turadi. Bunda har bir atom qo'shnilari bilan bir hil joylashgan bo'ladi. Kristallarning rentgenogrammalari ko'rsatishicha, ular da atomlar to'g'ri chiziqli va tekisliklar bo'yicha joylashadi va nafaqat atomlarning fazoda o'zaro joylashishini ochib berishni, balki ular orasidagi angstremlarda o'lchanadigan masofani ($1\text{Å} = 1 \cdot 10^{-8}\text{sm}$) ham aniqlashga imkon beradi.



1- rasm. Kristall panjaraning ramziy tasviri.

Atomlarning tekisliklar va to'g'ri chiziqlar bo'yicha qonuniyat bilan joylashishi natijasida, kristallning tuzilishini uch o'lchovli to'g'ri chiziqlardan iborat to'r ko'rinishida tasavvur qilish mumkin. Ularning kesishish nuqtalarida (tugunlarida) atomlar joylashgan. Bu 1 - rasmda ramziy ko'rsatilgan.

Bunday to'rni bir hil kattalikdagi umumiy tegib turuvchi qirralarga ega geometrik ko'pburchaklardan (parallelopipedlar, prizmalar va hokazo) tashkil topgan deb hisoblash mumkin. Bu to'rning har qanday ko'pqirradi, masalan ABVGDEJZ parallelepiped (agar to'r

parallelepipedlardan tashkil topgan bo'lsa) berilgan to'ring har qanday boshqa parallelepiped bilan uch yo'nalishdan ($a; b; c$) har biri bo'ylab belgilangan masofaga ko'chirish yo'li bilan to'liq almashtirishi mumkin ekanligini payqash qiyin emas.

Uchta kristallografik yo'nalishlarda uzluksiz ko'chirishlar yo'li bilan barcha fazoviy to'ringni qurish mumkin bo'lgan eng kichik ko'pqirra, kristall panjaraning elementar katakchasi deb ataladi.

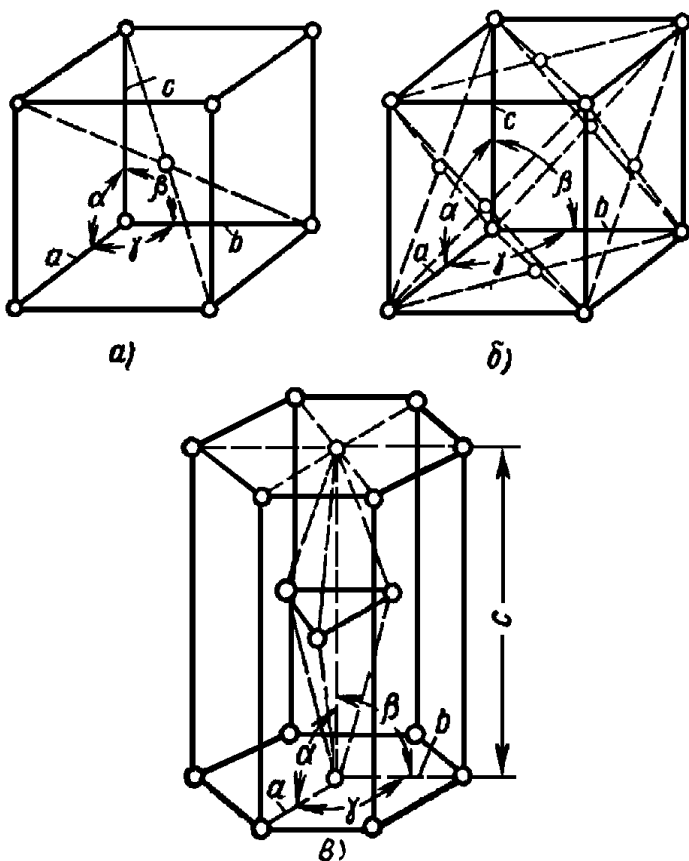
Uch o'lchovli fazoda joylashgan, qirralari bilan birlashgan elementar katakchalarning yig'indisi fazoviy panjara deb ataladi. Ushbu katakcha atomlarini qo'shni katakcha atomlari bilan to'liq mos tushishi uchun zarur bo'lgan, elementar katakchani eng kichik surilish kattaligini aniqlovchi (a, b, c) kesmalar uzunligi, panjara parametrlari yoki qaytarilish davrlari deb ataladi.

Atomlarning katakchada o'zaro joylashishi atomlarning ushbu fazoviy panjarada joylashuvini to'liq aniqlaydi.

Kristallarning atomlar faqat panjara tugunlarida (faqat asosiy elementar katakchani uchlarida) joylashgan oddiy fazoviy panjara va asosiy elementar katakchani ichida aynan bir xil joylarda ham atomlar joylashgan murakkab fazoviy panjara va farqlaydilar.

Kristallar yoki kristallarning fazoviy panjarasi tuzilishini bayon etish uchun odatda koordinat tizimi tanlab olinadi. Uning o'qlari bo'lib, bir nuqtadan (panjara tugunidan) o'tuvchi, kristallning asosiy tugun chiziqlari bilan mos tushuvchi uchta to'g'ri chiziq, (masalan 1-rasmdagi a, b, c vektorlar bilan yo'nalishi mos tushuvchi to'g'ri chiziqlar), xizmat qiladi. Bunda kristallografik tizim o'qlarini kristallning simmetriyasiga mos ravishda tanlab olinadi. Kristallografik o'qlar tizimida fazoviy panjaraning elementar katakchasi shakli kristallografik o'qlar orasidagi uchta koordinat burchagi α, β, γ va panjaraning uchta parametri a, b, c yordamida ifodalanishi mumkin.

Metallar fazoviy kristall panjarasining asosiy elementar katakchalarini namunaviy shakllari 2 - rasmda keltirilgan.



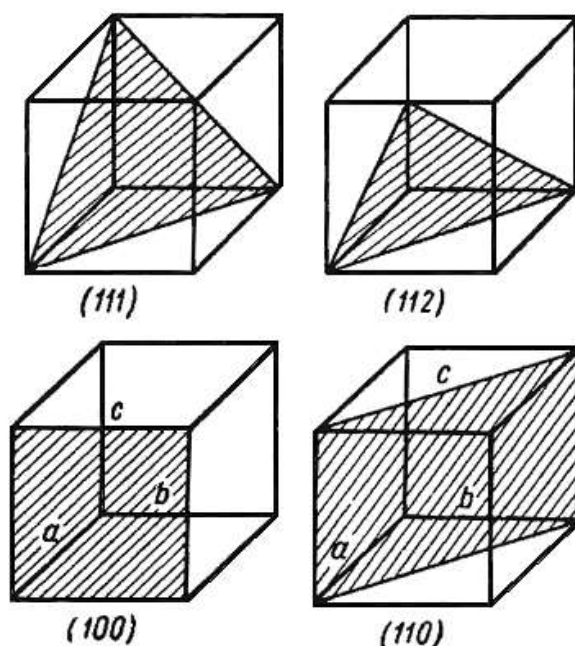
2-rasm. Kristall panjaraning elementar katakchalari.

Kubsimon panjaralar (2-rasm, a va b) $\alpha = \beta = \gamma$ burchaklar tengligi va $a = b = c$ panjara parametrlarining o'zaro tengligi bilan ajralib turadi. Agar kubsimon panjarada elementar katakcha kubining uchlarida joylashgan atomlardan boshqa, kub markazida joylashgan atom ham bo'lsa, unda bunday panjara hajmiy markazlashtirilgan kubsimon deb ataladi. Kub tomonlarining markazida joylashgan atomlarga ega bo'lgan kubsimon panjara tomonlari markazlashtirilgan kubsimon deb ataladi. Geksagonal panjaraning elementar ka-

takchasi (2 - rasm, v) $\alpha = \beta = 90^\circ$ va $\gamma = 120^\circ$ burchaklar qiymati va panjaraning faqat ikkita parametrini o'zaro tengligi $a = b \neq c$ bilan ajralib turadi.

Panjaralarning keltirilgan uch turi ko'plab metallarga taalluqlidir.

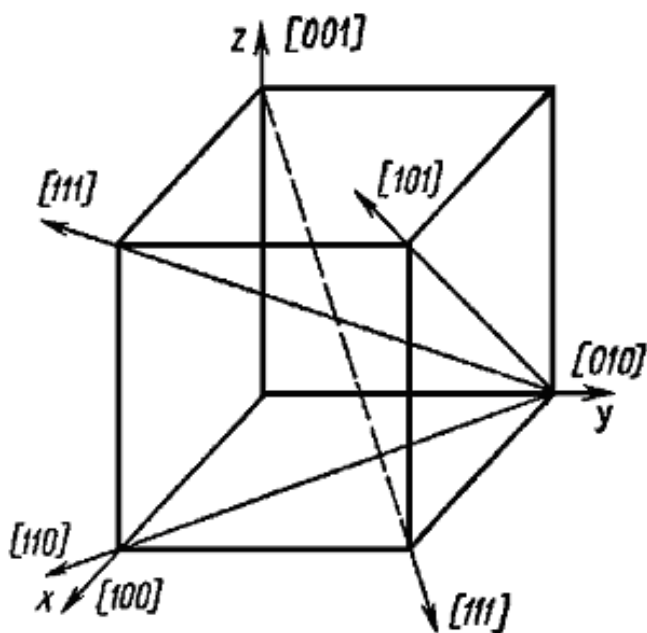
Hajmiy markazlashtirilgan kubsimon katakchali panjaraga masalan, metallar: α - va β - temir, litiy, vanadiy, volfram, molibden, xrom, tantal egadir; alyuminiy, γ - temir, oltin, mis, nikel, platina, qo'rg'oshin, kumush metallari tomonlari markazlashtirilgan kubsimon katakchali panjaraga ega; geksagonal zich joylangan katakchali (ya'ni, prizmaning ichida uchta atomga ega bo'lgan, 2-rasm, v) panjara magniy, rux, beriliy, kadmiy, kobalt, α - titan metallarida bo'ladi.



3-rasm. Kubsimon katakchada o'tkazilgan tekisliklarning belgilanishi.

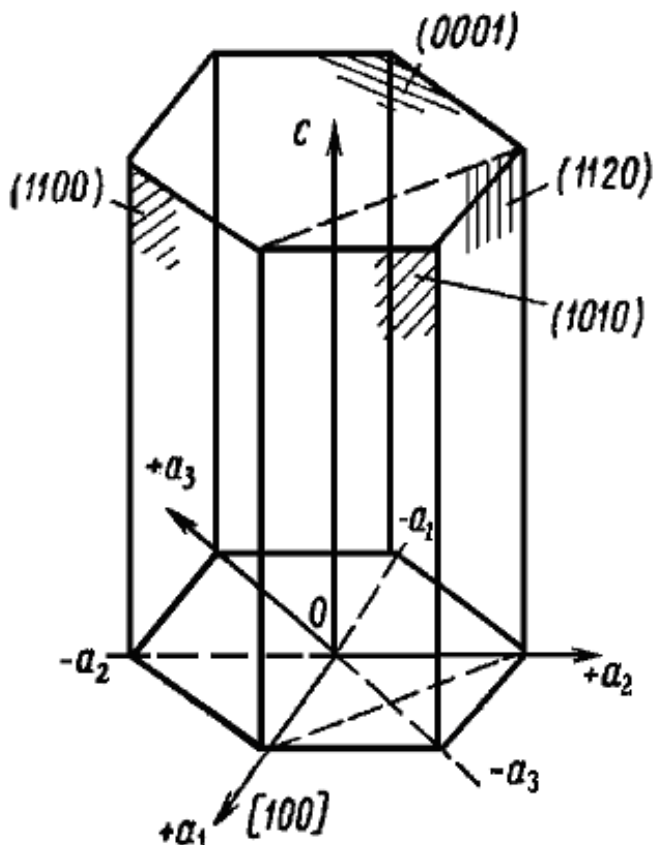
Fazoviy panjaraning elementar katakchalarida (demak, fazoviy panjaraning o'zida ham) o'tkazish mumkin bo'lgan tekisliklarni aniqlash uchun, shuningdek, kristallografik yo'nalishlarni aniqlash uchun kristallografiyada indekslash tizimi qabul qilingan. Bu tizim bo'yicha kubsimon panjara tekisliklarini indekslash yumaloq qavsga olingan uchta raqam bilan amalga oshiriladi. Bu raqamlar koordinat o'qlarida tekislik bilan kesilgan kesmalar kattaligiga o'zaro teskari proporsional uchta oddiy sonlardan iborat bo'ladi. Bunda kesmalarning o'lchov birligi sifatida panjara parametrlari qabul qilinadi.

3 - rasmda elementar kubsimon katakchada o'tkazilgan ba'zi tekisliklar bu tekisliklarning belgilanishi bilan birga keltirilgan.



4-rasm. Kubsimon katakchadagi belgilanishlar.

Geksagonal elementar katakchada indekslash ko'rilayotgan tekislik bilan to'rtta kristallografik o'qda kesilgan kesmalarning kattaligiga teskari olib boriladi. Bu o'qlardan uchta si olta yoqli prizmaning (bazis tekisligi deb ataluvchi) asosi tekisligida yotadi.



5-rasm. Geksagonal katakchadagi belgilanishlar.

1.2. Plastik deformatsiya haqida tushuncha

Metallning qandaydir hajmiga qo'yilgan tashqi kuchlar tizimi uni deformatsiyasini keltirib chiqaradi. Elastik va plastik deformatsiyalar bo'ladi. Agar tashqi kuchlar olingandan so'ng deformatsiyalangan jism o'zining dastlabki shakl va o'lchamlarini to'liq tiklasa, bunday deformatsiya elastik deb ataladi. Agar tashqi kuchlar keltirib chiqargan jismning shakli va o'lchamlarining o'zgarishi, bu kuchlar olingandan so'ng o'z holida qolsa, bunday deformatsiyani plastik yoki qoldiq (qaytmas) deb ataladi.

Metallarga bosim bilan ishlov berish usulida detallarni olish xomaki mahsulotni plastik deformatsiyalashga asoslangan. Plastik deformatsiya xomaki mahsulotni buzmasdan turib, uning alohida hajmlarini nisbiy siljitish yo'li bilan detalning berilgan shaklini olishga imkon beribgina qolmay, balki xomaki mahsulot materialining mexanik va fizik-kimyoviy xossalriga ham ta'sir ko'rsatadi.

Elastik deformatsiya metallda atomlarning turg'un muvozanat holatidan chetlatish hisobiga ro'y beradi va potensial energiyaning minimum bo'lishi bilan ajralib turadi. Bu chetlanishning kattaligi qo'shni atomlar orasidagi masofadan oshmaydi. Elastik deformatsiya atomlararo masofani o'zgarishi natijasida qaytadigan hajm o'zgarishlarini keltirib chiqaradi. Hajmning qaytadigan o'zgarishi, masalan, 10 MPa bosim bilan har tomonlama siqilishda po'lat uchun $\sim 0,6\%$, mis uchun $1,3\%$ ni tashkil etadi.

Atomlarni turg'un muvozanat holatidan chetlanishi jismda to'plangan potensial energiyani oshiradi va belgilangan chegaralargacha chetlanish kattaligi deformatsiyalovchi kuchlar oshishiga proporsional ortib boradi. Har qanday sharoitlarda ham tashqi kuchlarning jismga ta'siri, atomlarni eng kam potensial energiyali holatga qaytarishga intiluvchi, atomlararo kuchlarning qarshi ta'siri bilan muvozanatlashadi.

Plastik deformatsiya atomlarni yangi turg'un muvozanat holatlarga, kristall panjaradagi atomlar orasidagi masofadan ancha katta bo'lgan nisbiy siljishi hisobiga amalga oshadi. Plastik

deformatsiyalashda jismga qo'yilgan kuchlar keltirib chiqargan umumiy deformatsiya plastik tashkil etuvchini ham, shu qatorda deformatsiyalovchi kuchlar olingandan so'ng yo'qoladigan elastik tashkil etuvchini ham o'z ichiga oladi.

1.3. Monokristallning sovuq plastik deformatsiyasi mexanizmi.

Monokristallning plastik deformatsiyasi asosan ikki yo'l: sirpanish va qiyofadoshlanish bilan bo'lishi mumkin.

Sirpanish kristallning yupqa qatlamlarini yonidagilarga nisbatan parallel siljishdan iborat bo'ladi. Harakat qator tekisliklarni yoki oralig'ida plastik deformatsiya elementlari bo'lmagan juda yupqa qatlamlarni (sirpanish yo'llarini) qamrab oladi.

Sirpanish yo'llari bir-biridan o'rtacha 1 mkm atrofidagi masofada ketma-ket saflanadi, bu vaqtda qo'shni atom tekisliklari orasidagi masofa esa 10^{-4} mkm raqami bilan ifodalanishi tajriba yo'li bilan aniqlangan.

Monokristallning sirpanish yo'li bilan deformatsiyalanishi 6 - rasmda keltirilgan mis va alyuminiy qotishmasi monokristallini cho'zilishga uchragan namunasi fotosuratidan yaqqol ko'rinib turibdi.



6-rasm. Monokristallning sirpanish yo'li bilan deformatsiyalanishi.

Monokristallarda sirpanish aniq kristallografik tekisliklar bo'yicha ro'y beradi. Bularni sirpanish tekisliklari deyiladi. Odatda atomlar joylashuvining eng katta zichligiga ega tekisliklar sirpanish tekisliklari bo'lib hisoblanadi, atomlararo masofalar minimal kattalikka ega bo'lgan yo'nalishlar esa sirpanish yo'nalishi bo'lib hisoblanadi. Masalan, yon tomoni markazlashgan kubsimon kristall panjarali metallarda odatda (111) turidagi oktaedr tekisliklari sirpanish tekisliklari hisoblanadi, (101) turidagi yo'nalish esa sirpanish yo'nalishi bo'lib hisoblanadi.

Geksagonal kristall panjarali metallarda odatda sirpanish tekisligi bo'lib (0001) turidagi bazis tekisligi, sirpanish yo'nalishi bo'lib esa, oltiburchakning diagonaliga mos tushadigan (100) turidagi (bu katakchani asosi) yo'nalish hisoblanadi.

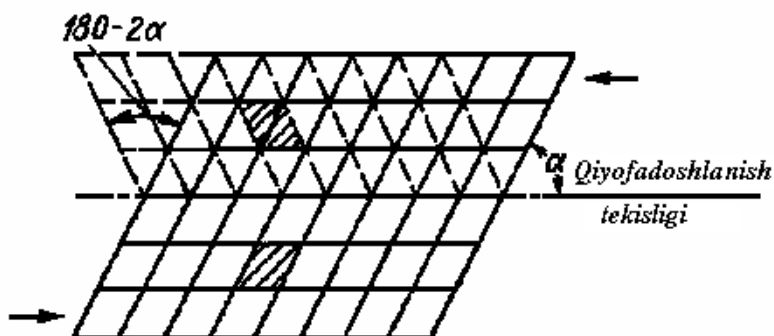
Atomlarning qandaydir kristallik tekisliklari bo'yicha siljishi mumkinligiga temperatura ancha sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Temperaturaning oshishi qator hollarda shunga olib keladiki, bunda sirpanish jarayoni, xona temperaturasida sirpanish bo'ladigan tekisliklardan farqli, boshqa tekisliklar bo'yicha amalga oshishi mumkin. Masalan, geksagonal zich joylashgan panjarali metallarda xona temperaturasida bitta sirpanish tekisligi - (0001) bazis tekisligi bo'ladi, 200° dan oshiq temperaturada esa qo'shimcha (1011) yoki (1012) turidagi tekisliklar bo'yicha sirpanish imkoniyati paydo bo'ladi.

Qiyofadoshlanish «qiyofadoshlanish tekisligiga» parallel tekisliklarda joylashgan atomlarning ma'lum masofaga siljishidan iborat bo'lib, bu masofa tekisliklarning qiyofadoshlanish tekisligigacha bo'lgan masofasiga proporsional bo'ladi. 7 - rasmda deformatsiya natijasida hosil bo'lgan qiyofadosh punktir chiziq bilan ko'rsatilgan. Bunda kristall panjara qirralari, dastavval qiyofadoshlanish tekisligiga $\alpha < 90^{\circ}$ burchak ostida bo'lgan bo'lsa, $180^{\circ} - 2\alpha$ ga teng burchakka buriladi.

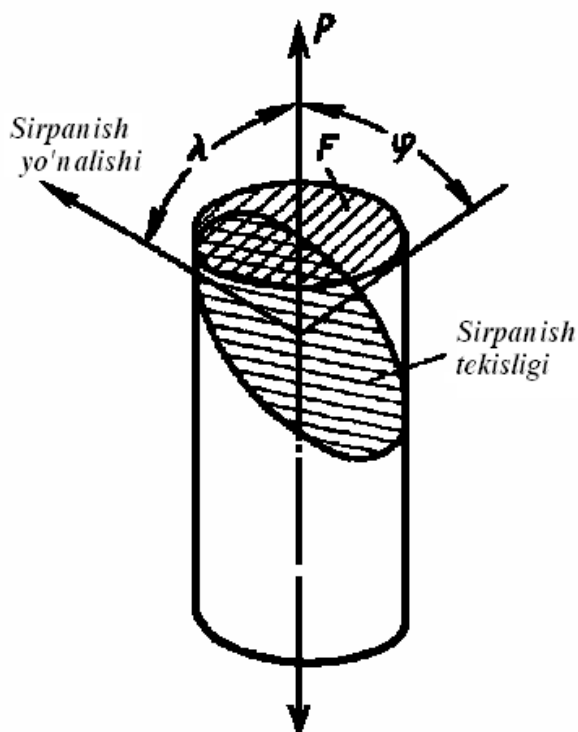
Qiyofadoshlanish orqali deformatsiya olgan kristall bo'lagining panjarasi, kristallning deformatsiyaga uchramagan qis-

mi panjarasini qiyofadoshlanish tekisligiga nisbatan oynadagi tasviri (qiyofadoshi) bo'ladi. Qiyofadoshlanish statik yuklanishda nisbatan kam, zarb bilan deformatsiyalanishda ancha tez-tez kuzatiladi. Qiyofadoshlanish nafaqat deformatsiyalanuvchi jismga tashqi kuchlarning ta'siri natijasida, balki plastik deformatsiyadan so'ng otjig (bo'shatish) natijasida ham paydo bo'lishi mumkin. Bunday hodisa, xususan, misda, latun (jez) va ba'zi boshqa, kubsimon yon tomoni markazlashtirilgan panjarali metallarda kuzatiladi. Qiyofadoshlanish sirpanib deformatsiyalanish bilan birga kelishi mumkin. Sirpanish bilan deformatsiyalanishda qiyofadoshlanish deformatsiyalash uchun zarur bo'lgan kuchni keskin kamaytiradi.

Ishlov beriladigan metallarning plastik deformatsiya jarayoni asosan sirpanish hisobiga amalga oshiriladi.



7-rasm. Deformatsiya natijasida hosil bo'lgan qiyofadosh.

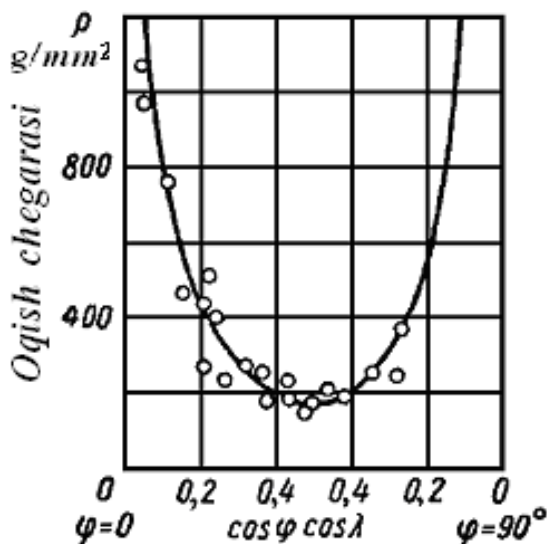


8-rasm. Monokristallning R kuch taʼsirida choʻzilishi.

Berilgan metallni sirpanish bilan plastik deformatsiyasi boshlanishi uchun zarur boʻlgan siljituvchi (urinma) kuchlanishlar, berilgan temperatura va deformatsiya tezligida, jismga taʼsir koʻrsatayotgan kuchlarga nisbatan sirpanish tekisliklar yoʻnalishiga bogʻliq boʻlmagan doimiy kattalik ekanligi koʻp sonli tadqiqotlarda koʻrsatilgan. Agar koʻndalang kesim yuzasi F boʻlgan monokristall namunani R kuch bilan choʻzilsa, bunda sirpanish tekisligiga normal (tik chiziq) taʼsir etayotgan kuchlar yoʻnalishi tomoniga φ burchak ostida, sirpanish yoʻnalishiga esa λ burchak ostida qiyalangan boʻlsa (8 -rasm), u holda siljituvchi kuchlanish τ kattaligi ushbu formula boʻyicha topilishi mumkin:

$$\tau = \left(\frac{P}{F} \right) \cos \varphi \cos \lambda \quad (1.1)$$

bu yerda: $\frac{P}{\cos \varphi}$ - namunaning sirpanish tekisligi bo'yicha maydoni.



9-rasm. O'zgarmas τ qiymatlarida oqish chegarasining $\cos \varphi \cos \lambda$ ga bog'liqligi.

9-rasmda (1.1) formula bo'yicha $\tau = \text{const}$ bo'lganda hisoblab hosil qilingan $\frac{P}{F} = f(\cos \varphi \cos \lambda)$ bog'lanish keltirilgan. Nuqtalar bilan tajriba natijalari ko'rsatilgan. Keltirilgan ma'lumotlar tajribalar aniqligi chegaralarida, o'zgarmas temperatura va deformatsiya tezliklari uchun, sirpanish boshlanishiga mos keluvchi siljituvchi kuchlanish kattaligi doimiy va sirpanish tekisligini ta'sir etuvchi kuchlar yo'nalishi tomon og'ish burchagiga bog'liq ekanini tasdiqlaydi.

Bu ma'lumotlar har bir metallning monokristalli uchun oquvchanlik chegarasi kattaligini (plastik deformatsiya

boshlanishiga mos keluvchi $\sigma = \frac{P}{F}$ normal kuchlanishni), kuchlar ta'siri yo'nalishiga nisbatan $\varphi = \lambda = 45^\circ$ burchaklarda minimumga ega bo'lib, sirpanish tekisliklarining qanday yo'nalganligiga sezilarli bog'liqligini ko'rsatadi.

Xuddi shunday tajribalar bilan plastik deformatsiya kattalashgan sari namunani keyingi deformatsiyalanishi uchun zarur bo'lgan siljituvchi kuchlanish τ oshib borishi ko'rsatilgan.

Ko'p sonli tadqiqotlar bilan sirpanish jarayoni bitta tekislikdagi barcha atomlarning qo'shni atomlarga nisbatan bir vaqtdagi siljishi sifatida qaralishi mumkin emasligi ko'rsatilgan.

Zamonaviy tushunchalar bo'yicha sirpanish jarayoni atomlarning alohida guruhlarini ketma-ket siljitish yo'li bilan amalga oshiriladi. Deformatsiya jarayonida atomlarning parallel kristallografik tekisliklarda joylashgan faqat bir qisminigina nisbiy siljishi mumkinligi metallda to'g'ri kristall tuzilishning buzilishi borligi bilan izohlanadi. Haqiqiy monokristall va donachalar mozaik tuzilishga ega, ya'ni o'lchami $10^{-4} - 10^{-6}$ sm atrofida bo'lgan bloklardan iborat, shuningdek, har bir blok mukammal kristall (to'g'ri kristall tuzilishga ega) ekanligi, qo'shni bloklar bir-biriga nisbatan $10' - 20'$ atrofida burchakka burilganligi tajribalarda isbotlangan. Bunday bloklar mozaika bloklari deb ataladi. Bundan tashqari haqiqiy monokristall va donachalarda kristall tuzilishi to'g'riligining mahalliy buzilishi mavjud bo'lib, bunda panjaraning alohida tugunlarida atomlar bo'lmaydi yoki panjara-ning ba'zi joylarida «ortiqcha» atomlar bo'ladi. Haqiqiy kristall tuzilishidagi to'g'rilikning bunday buzilishi, ko'rinib turibdiki, kristallanish jarayonining mukammal emasligini natijasi bo'ladi.

Kristall tuzilishining to'g'riligini buzilishi kristall panjaraning alohida joylarida deformatsiyalanmagan metallda atomlar eng kam potensial energiyali turg'un muvozanat holatidan siljigan bo'lishiga olib keladi. Bunday siljishlarning mavjudligi shunga olib keladiki, atomlarning alohida guruhlarini yangi turg'un holatlarga surilishi

uchun, bunday surilishlar bo'lmagandagiga qaraganda, kamroq suruvchi kuchlanishlar talab qilinishi mumkin.

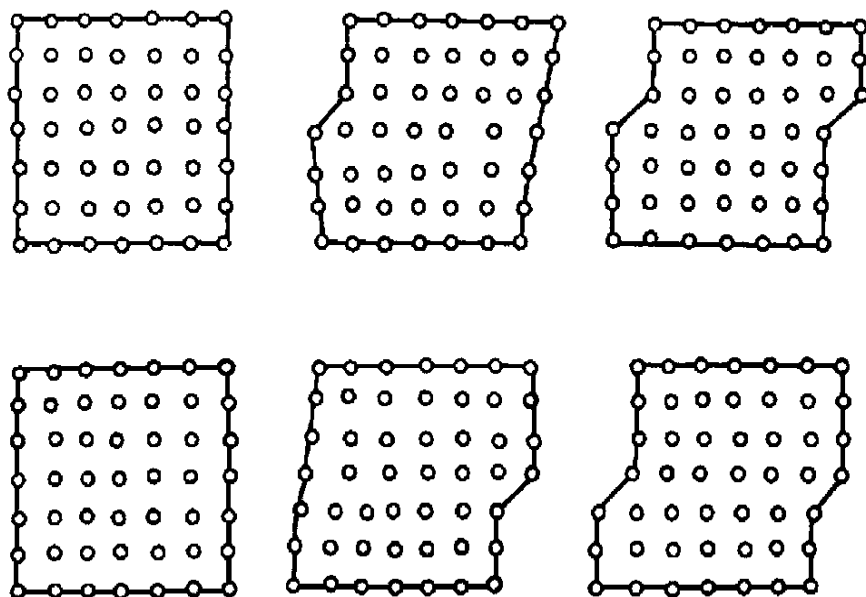
Hozirgi vaqtda fazoviy panjaraning, dislokatsiya deb ataluvchi alohida nomukammalliklarini sirpanish tekisligida sirpanib surilish jarayonini tushuntiruvchi taxmin keng tarqalgan. Dislokatsiya deb kristall panjaraning mahalliy buzilishi (qiyshayishi)ga aytiladi. Unda qo'shni parallel tekisliklarda atomlar sonidagi farq oqibatida atomlarning sirpanish tekisligidan bir tomonda joylashgan qismi kichiklashgan atomlararo masofaga ega bo'ladi (siqilgan), sirpanish tekisligining qarshi tomonida joylashgan atomlarning boshqa qismi esa kattalashgan (cho'zilgan) atomlararo masofaga ega bo'ladi. Shartli ravishda kristallning sirpanish tekisligi tepasida joylashgan qismida atomlararo masofa kichiklashgan musbat dislokatsiyalar va kristallning sirpanish tekisligidan pastda joylashgan qismida atomlararo masofa kichiklashgan manfiy dislokatsiyalarni farqlaydilar.

10-rasmda kristallik panjarada musbat va manfiy dislokatsiyalarni sirpanish tekisligi bo'ylab surilishi natijasida bitta atomlararo masofaga sirpanish sxema tarzida ko'rsatilgan.

Dislokatsiyalarni surish uchun kerakli siljituvchi kuchlanish kattaligi, berilgan tekislikdagi hamma atomlarni bir vaqtda siljitish uchun kerak bo'lganidan ko'plab marta kam. Shunday qilib, tashqi kuchlarning ta'siri ostida sirpanish birinchi navbatda kristall tuzilishining dastlabki nomukammalligi - dislokatsiyalarga ega bo'lgan tekisliklarda hosil bo'ladi. Dislokatsiyalar soni plastik deformatsiya jarayonida oshadi deb taxmin qilinadi.

Kristallik tuzilishining to'g'riligi buzilishi oqibatida dislokatsiyalar atrofida kuch maydoni bo'ladi. Dislokatsiyalar orasidagi masofa nisbatan kam bo'lgan hollarda kuch maydonlari o'zaro ta'sir ko'rsatadi. Bir ishorali dislokatsiyalar itariladi, turli ishoralilari esa tortishadi. Qandaydir darajagacha plastik deformatsiya jarayonida siljituvchi kuchlanishning oshishi

deformatsiya vaqtida bir xil ishorali dislokatsiyalar sonini ko'payishining oqibati bo'lishi mumkin.



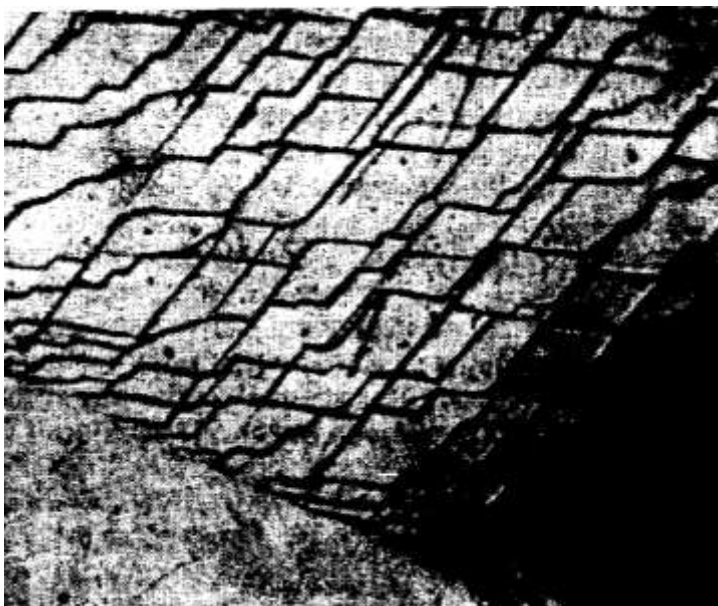
10-rasm. Kristallik panjarada sirpanish sxemalari.

Dislokatsiyalar nazariyasi plastik deformatsiya paytida ro'y beradigan ko'plab hodisalarni tushuntirib beradi. Sirpanish mexanizmini tushuntiruvchi boshqa taxminlar ham bor. Masalan, Ya.I.Frenkel va T.A.Kontorova kristall tuzilish to'g'riligida mahalliy buzilishlar bo'lmaganda ham kristall panjara atomlarini bir turg'unlik holatidan boshqasiga asta-sekin o'tish yo'li bilan sirpanish amalga oshishi mumkin deb hisoblaydilar.

Monokristallardagi plastik deformatsiyada sirpanish jarayoni ba'zi bir kristall tuzilishining qo'shimcha o'zgarishlari bilan birgalikda sodir bo'ladi.

Monokristallning plastik deformatsiyasi jarayonida kuzatiladigan sirpanish tekisliklarini davriy fazoviy yuzalarga aylanishini (sir-

panish tekisliklarining egilishi), shuningdek, mozaika bloklarining nisbiy burilishini ko'plab tadqiqotchilar qayd etgan. Bir vaqtda metallning yaxlitligi va alohida bloklarning ichidagi fazoviy panjara buzilmasdan, monokristallning alohida bloklarga yanada yaqqol ko'rinishdagi maydalanishi kuzatiladi (11-rasm). N.F.Lashko plastik deformatsiya jarayonida bloklar paydo bo'lishining sababi kristall alohida qismlarining sirpanish tekisliklarining egilishi bilan bir vaqtda sirpanishiga asoslangan murakkab siljishi deb hisoblaydi.



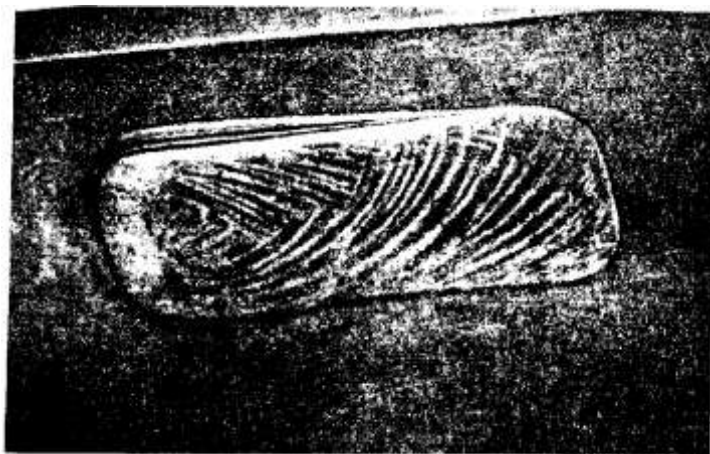
11-rasm. Monokristallning alohida bloklarga maydalanishi

Sezilarli plastik deformatsiya natijasida monokristall to'g'ri kristall tuzilishga ega va atomlarning sezilarli siljishi oqibatida kristall tuzilish buzilgan sirpanish tekisliklari dastasi bilan chegaralangan alohida bloklarga ajraladi. Shunday qilib, sezilarli

plastik deformatsiyalarda monokristall ma'lum donalar sonidan tashkil topgan polikristallga aylanadi.

1.4. Polikristallning sovuq plastik deformatsiyasi

Polikristall jismning umumiy qoldiq shakl o'zgarishi, uni tashkil etuvchi donachalarning shakli va o'lchamlarini o'zgarishi hamda ularning nisbiy siljishi bilan bo'ladigan plastik deformatsiyadan yig'iladi. Shunga ko'ra polikristallning kristallararo va kristall ichidagi deformatsiyalarini farqlaydilar. Polikristallning alohida donachalari deformatsiyasi, xuddi monokristalldagidek, sirpanish yoki qiyofadoshlanish bilan amalga oshadi. Biroq, polikristallda anchagina donachalar borligi polikristallning plastik deformatsiya jarayonini ba'zi o'ziga xos xususiyatlarini keltirib chiqaradi. Polikristallning alohida donalarida sirpanish tezliklari fazoda betartib yo'nalgan.



12-rasm. Xomaki mahsulot sirtidagi sirpanish chiziqlari.

Alohida donachalarning sirpanish tekisliklarini fazoda turlicha yo'nalganligi shunga olib keladiki, polikristall jismni tashqi kuchlar tizimida yuklanishida deformatsiya boshlanishi hamma donachalarda bir vaqtda bo'lmaydi. Birinchi navbatda plastik deformatsiya sirpanish tekisligiga eng qulay yo'nalgan, ya'ni sirpanish tekisliklari berilgan kuchlar tizimi keltirib chiqaradigan eng katta urinma kuchlanishlarning ta'sir maydonchalari bilan mos tushgan donachalarda paydo bo'ladi. Qolgan donachalar elastik deformatsiyalanadi va faqat nisbiy siljish olishi mumkin. Chiziqli cho'zilish va siqilishda plastik deformatsiya boshlanishi uchun eng qulay yo'nalish, sirpanish tekisligi tashqi kuch ta'siri yo'nalishiga 45° burchak ostida joylashgan donachalarda bo'ladi.

Eng qulay yo'nalgan donachalardagi siljishlarning tashqi ko'rinishi birinchi marta D.K.Chernov tomonidan topilgan va ko'pincha deformatsiyalanayotgan jism sirtida kuzatiladigan sirpanish chiziqlaridir. 12-rasmda qalin metall taxtasidan kesib olingan xomaki mahsulotning oksid pardasi qoplangan sirtida hosil bo'lgan sirpanish chiziqlari ko'rsatilgan. Donachalardagi birinchi siljishlar deformatsiyalanayotgan jismda eng katta urinma kuchlanishlar ta'sir ko'rsatayotgan yo'nalishlarda sodir bo'lgani sababli, polikristall jism yuzasida ko'rinadigan sirpanish chiziqlari, unda qo'yilgan kuchlar keltirib chiqaradigan maksimal siljituvchi kuchlanishlar yo'nalishi haqida xulosa chiqarishga imkon beradi. Deformatsiyalovchi kuchlar oshgan sari, qulay bo'lmagan yo'nalishlardagi sirpanish tekisliklarida ta'sir etayotgan urinma kuchlanishlar plastik deformatsiyalar boshlanishi uchun zarur bo'lgan kattalikka etadi. Deformatsiya polikristallning yanada ko'proq donachalarini qamrab ola boshlaydi. Metallning ko'plab donachalarini plastik deformatsiyaga kirishishiga to'g'ri keladigan chiziqli cho'zilish yoki siqilishdagi normal kuchlanish oquvchanlik chegarasi hisoblanadi.

Polikristall jismning keyingi deformatsiyasi metallning eng jadal oqish yo'nalishida donachalar cho'zilgan shaklni olishiga olib

keladi. Plastik deformatsiya natijasida cho'zilgan donachalarning aniqlangan yo'nalganligi mikrostrukturaning yo'l-yo'lligi deb ataladi. Donachalarning eng katta va eng kichik o'rtacha o'lchamlari kattaligi orasidagi nisbat ularning deformatsiyasi kattaligini ko'rsatadi.

Deformatsiya jarayonida donachalar shakli o'zgarishi bilan bir vaqtda alohida donachalarning kristallografik o'qlarini fazoda burilishi ro'y beradi. Plastik deformatsiya ro'y bergani sari alohida donachalarning kristallografik o'qlari yo'nalishlaridagi farq kamayadi, sirpanish tekisliklari esa metallning eng jadal oqish yo'nalishi bilan birlashishga intiladi. Bu shunga olib keladiki, sezilarli deformatsiyada tekstura deb ataluvchi polikristallning kristallografik o'qlarini afzal yo'nalganligi kelib chiqadi. Teksturaning kelib chiqishi polikristall xossalarini anizotropiyasiga (turli yo'nalishlarda har xil bo'lishiga) olib keladi.

Metallning plastik deformatsiyasi diffuziya hodisasi bilan birga kechishi mumkin. Asosiy metallning donachalari, kristall panjarada joylashgan atomlar atrofida, qo'shni atomlarni minimal potensial energiya holatidan siljishini keltirib chiqaradigan, kuch maydoni hosil qiladi. Bu kuch maydoni dislokatsiyalarning kuch maydonlari bilan o'zaro ta'sirlashishi mumkin. Bunday o'zaro ta'sir natijasida erigan element atomlari aralashmalari yig'iladi yoki dislokatsiya sohasidan surib chiqariladi.

Shunday qilib, aralashma atomlarning deformatsiyalanayotgan donachalarda kuchlanish gradienti yo'nalishida yo'naltirilgan harakatlanishi (siljishi) hosil qilinadi. «Diffuzion plastik deformatsiya» deb atalgan bu hodisa G.V.Kurdyumov, S.T.Konobeevskiy, I.A.Oding va boshqalar tomonidan tadqiqot qilingan.

Diffuzion plastiklik hodisasi, xuddi sirpanish kabi, dislokatsiyalar surilishi natijasida hosil bo'ladigan, donachalarning o'lchami va shaklini qoldiq o'zgarishlariga olib kelishi mumkin.

Diffuzion plastiklik mexanizmi donachalarning chekka qatlamlarida va mozaika bloklari chegarasida juda kuchli namoyon bo'ladi.

Bu mexanizm sirpanishga yo'ldosh bo'ladi. Uning ahamiyati qizdirib deformatsiyalashda ortadi. Yuqorida yozilgan kristallning ichki deformatsiyasi jarayonlari polikristall metallning shakl o'zgarishlarini keltirib chiqaradigan asosiy jarayonlar bo'lib hisoblanadi. Kristallararo deformatsiya bu ma'noda ancha kam ahamiyatga ega.

Kristallararo deformatsiya ilgari aytilganidek, donachalarning bir-biriga nisbatan nisbiy surilishida ifodalanadi. Bunda polikristallning kristallni ichki va kristallararo deformatsiyalari orasidagi nisbatga donalar ichidagi va ularning chegaralaridagi metall xossalariining farqi ta'sir ko'rsatadi.

Donachalar chegarasida o'tish qatlami mavjud bo'lib, undagi atomlarning joylashish qonuniyati keskin buziladi. Atomlarning donachalar chegara qatlamlarida qonuniyat bilan joylashishini bo'lmasligi qo'shni donachalar atomlari o'zaro ta'siri ular shakli-ning noto'g'riligi va donachalar uning suyuq holdan kristallanishda o'zaro «zo'rlab bosilishi»ning natijasi hisoblanadi.

Bundan tashqari, suyuq metallning qotishida donachalar chegaralari bo'ylab erimaydigan qo'shimchalar yig'iladi. Shunday qilib, donachalarning chegara qatlamlari fizika-kimyoviy xossalari bilan ichki qatlamlardan farq qiladi. Chegaraviy donalar aro qatlamlarda metall tuzilishi to'g'ri bo'lmasligi shunga olib keladiki, bu qatlamlardagi atomlar minimal potensial energiyaga mos keluvchi holatlarda joylashgan bo'lmaydi. Bundan kelib chiqadiki, ularning qo'zg'aluvchanligi ichki qatlamdagi donachalarga qaraganda katta bo'lishi mumkin, ularning nisbiy siljishi esa (ro'y berishi qandaydir ma'lum tekisliklar bo'yicha emas) nisbatan kam urinma kuchlanishlarni talab qilishi mumkin. Biroq, atomlarning chegara qatlamlarda nisbiy siljish imkoniyati, sirpanish dislokatsiyalar surilishi bilan amalga oshadigan ichki qatlamlardagiga qaraganda, doimo ham katta bo'lmaydi.

Atomlarning donachalar chegara qatlamlarida siljishi erimaydigan qo'shimchalar va donacha yuzasini ularni deformatsiya ja-

rayonida ilashib va tiqilib qolishiga olib keluvchi noto'g'ri shakli bilan qiyinlashadi.

Kristallitaro deformatsiyada donachalar chegarasi bo'ylab shikastlanishlar kelib chiqadi. Ular kristallitaro deformatsiya rivojlanganda mikro-, keyin makro darzlar hosil bo'lishiga olib keldi, bular pirovard natijada polikristallni buzilishiga olib kelishi mumkin.

Kristallitaro siljishlar kichik va ikkinchi darajali ahamiyatga ega bo'lganda, donachalarning chegaralari yetarlicha mustahkam bo'lgan holda, ancha sezilarli plastik deformatsiya bo'lishi mumkin.

Biroq donacha chegaralarida hosil bo'ladigan shikastlanishlar deformatsiya jarayonida to'liq yoki sezilarli darajada tiklanadigan bo'lsa, donachalararo siljishlar jism shaklini o'zgartirishda juda muhim ahamiyat kasb etishi ham mumkin. Bu hodisa ko'pincha yuqori temperaturalarda kuzatiladi.

1.5. Sovuq deformatsiyada mustahkamlanish

Polikristallning plastik deformatsiyasi metallning mexanikaviy, fizikaviy va kimyoviy xossalarini ancha o'zgarishiga olib keldi. Deformatsiya darajasini oshishi bilan deformatsiyaga qarshilikning barcha ko'rsatkichlari: elastiklik, proporsionallik, oquvchanlik va mustahkamlik chegaralari oshadi, shuningdek, metallning qattiqligi ham oshadi. Bu bilan bir vaqtda plastiklik ko'rsatkichlarini (nisbiy cho'zilish, nisbiy siqilish, zarbiy qovushqoqlik) kamayishi kuzatiladi; elektr qarshilik oshadi, korroziyaga qarshilik, issiqlik o'tkazuvchanlik kamayadi, ferromagnit metallarning magnit xossalari o'zgaradi va hokazo. Metallarning plastik deformatsiya jarayonida mexanikaviy va fizika-kimyoviy xossalarini o'zgarishi bilan bog'liq hodisalar to'plami mustahkamlanish (parchinlanish) deb ataladi. Hozirgi vaqtgacha mustahkamlanishning fizikaviy tabiati to'liq aniqlanmagan.

Metallar mexanik xossalarini o'zgarishi, xususan mustahkamlik ko'rsatkichlarini oshishi sezilarli darajada fazoviy atom panjarani ishorasi bo'yicha bir xil dislokatsiyalar o'zaro ta'sirida buzilishi, sirpanish tekisliklarini qiyshayishi, sirpanish tekisliklarida donachalar bo'laklarini kontsentratsiyalari blok hosil qilishi bilan tushuntiriladi. Bundan tashqari qator tadqiqotlarda, ba'zi tashkil etuvchilari metashtabil tuzilishga ega qotishmalarning deformatsiyalash jarayonida mustahkamlik xossalarini o'zgarishi, bu fazalarning tuzilish xolati o'zgarishiga ta'sir ko'rsatishi ko'rsatib o'tilgan.

S.T.Kishkin tushunchasiga ko'ra po'latning sirpanish tekisliklari bo'yicha plastik deformatsiyasi jarayonida siljishlarni to'xtatuvchi va metallni mustahkamlanishiga yordam beruvchi submikroskopik zarrachalar (karbidlar) ajralib chiqadi.

S.T.Konobeevskiy va M.A.Zaxarova misning alyuminiydagi qattiq eritmasini deformatsiyasi jarayonida, sirpanish tekisliklari bo'yicha dispers zarrachalar ajralishi bilan bu eritmani parchalanishi ro'y berishini rentgenografik usulda aniqladilar.

S.S.Nosirova va M.V.Burakova plastik deformatsiya jarayonida o'ta sovutilgan austenitni sirpanish tekisliklari bo'yicha marten-sitga aylanishini kuzatdilar.

Sirpanish tekisliklari bo'yicha submikroskopik zarrachalar ajralishi, ko'rinib turibdiki, sirpanish tekisliklari va unga yaqin joylashgan kichik xajmlarda temperaturani sezilarli oshishi natijasi hisoblanadi.

Temperaturaning oshishi diffuziya jarayonlari o'tishi uchun zarur bo'lgan va xususan, sirpanish tekisliklarida koagulyatsiya va karbidlar to'kilishi uchun qo'shimcha energiya manbaidir.

Metall tuzilishi va atomlarning panjarada o'zaro joylashishidagi o'zgarishlar, plastik deformatsiya natijasida metallar xossalarining boshqa o'zgarishlarini ham tushuntirib beradi.

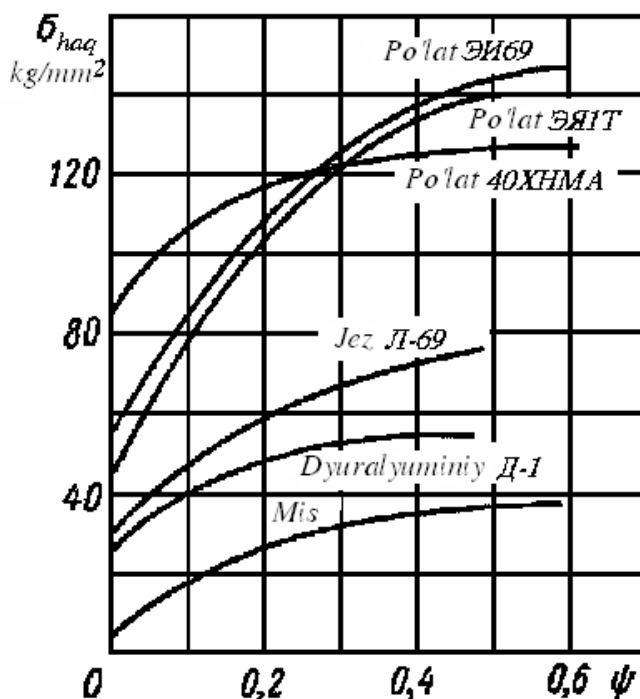
1.6. Mustahkamlanish egri chiziqlari

Plastik deformatsiya jarayonida deformatsiyalashga qarshilikning o'zgarishi ko'rsatkichi sifatida odatda haqiqiy kuchlanish deb ataluvchi kattalik qabul qilinadi. U namunani chiziqli cho'zilishdagi ta'sir etayotgan kuchni har bir berilgan deformatsiyalash paytida uning ko'ndalang kesim yuzasiga xususiy bo'linishi bo'ladi (L.A.Shofman ko'rsatishicha haqiqiy kuchlanishlar qiymati, siqilishga sinash ma'lumotlari bo'yicha ham topilishi mumkin). Haqiqiy kuchlanish mohiyati bo'yicha deformatsiyada mustahkamlanish oladigan materialning oqish chegarasidir.

Deformatsiya darajasini baholovchi namunaning shakl o'zgarishi ko'rsatkichlari bo'lib, namunaning cho'zilishdagi nisbiy uzayishi $\varepsilon = (l - l_0)/l_0$ yoki ko'ndalang kesim yuzasini nisbiy kamayishi $\psi = (F_0 - F)/F_0$ hisoblanadilar. Bu yerda: l_0 va F_0 - namunaning hisoblanadigan uzunligi va ko'ndalang kesimining dastlabki qiymatlari; l va F - berilgan deformatsiya paytidagi namunani uzunligi va ko'ndalang kesim yuzasini joriy qiymatlari.

Haqiqiy kuchlanishning deformatsiya darajasidan bog'liqlik grafigi mustahkamlanish egri chiziqlari deb ataladi. Ba'zi metall va qotishmalar uchun mustahkamlanish egri chiziqlari 13-rasmda ko'rsatilgan.

Keltirilgan mustahkamlanish egri chiziqlaridan ko'rinadiki, haqiqiy kuchlanishning eng shiddatli o'sishi deformatsiyalashni boshlang'ich bosqichida bo'ladi, deformatsiya darajasini qandaydir qiymatlaridan (mustahkamlanish bo'sag'asi) keyingi deformatsiya haqiqiy kuchlanish kattaligini sezilarli o'zgarishini keltirib chiqarmaydi.



13-rasm. Mustahkamlanish egri chiziqlari.

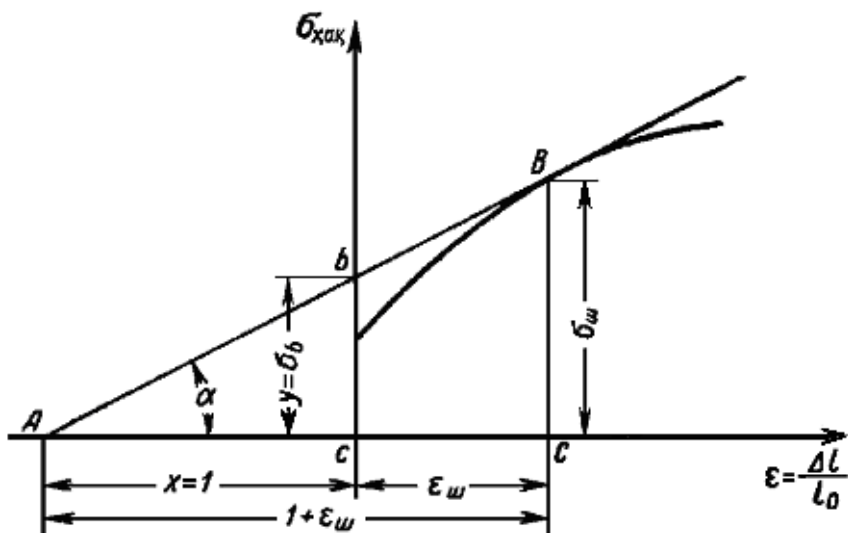
Deformatsiya darajasini qabul qilingan ko'rsatkichga bog'liq holda birinchi va ikkinchi xildagi mustahkamlanish egri chiziqlarini farqlaydilar. Birinchi xildagi mustahkamlanish egri chiziqlarida haqiqiy kuchlanish nisbiy cho'zilishga, ikkinchi xildagi egri chiziqlarda esa - nisbiy torayishga bog'liq holda beriladi.

Birinchi va ikkinchi xildagi mustahkamlanish egri chiziqlari, ularni standart cho'zilishga sinash ma'lumotlari bo'yicha tahminiy qurish imkoniyatini beradigan ba'zi xususiyatli xossalarga ega.

Birinchi xildagi mustahkamlanish egri chizig'ini ko'rib chiqamiz (14-rasm). Deformatsiyaning bo'yin hosil bo'lishi boshlanguncha bo'lgan istalgan payti uchun haqiqiy kuchlanish (1.2) nisbatdan shartli kuchlanish σ_{shart} va ko'ndalang kesim yuzasi F ning joriy qiymatlari bo'yicha aniqlanishi mumkin:

$$\sigma_{\text{haq}} = \sigma_{\text{shart}} F_0 / F \quad (1.2)$$

bu yerda: $\sigma_{\text{shart}} = R/F_0$ - berilgan paytda ta'sir etayotgan kuchni namunaning dastlabki ko'ndalang kesim yuzasiga xususiy bo'linishi.



14-rasm. Birinchi xildagi mustahkamlanish egri chizig'i.

Cho'zilishga sinashda namunada bo'yin hosil bo'lishiga mos keluvchi paytda shartli kuchlanish mustahkamlik chegarasi σ_v ga teng (cho'zuvchi kuch maksimal qiymatga ega). Bu paytga to'g'ri keluvchi haqiqiy kuchlanish σ_{sh} ushbu ifodadan aniqlanadi:

$$\sigma_{\text{sh}} = \sigma_v F_0 / F_{\text{sh}} \quad (1.3)$$

bu yerda: F_{sh} - namunani cho'zilishda bo'yin hosil bo'lish boshlanishi paytidagi ko'ndalang kesim yuzasi.

Namunani bir tekis uzayishida hajmning o'zgarmay qolishi shartidan ushuni belgilash mumkin:

$$F = \frac{F_0 l_0}{l} = \frac{F_0 l_0}{l_0 + \Delta l} = \frac{F_0 l_0}{l_0 (1 + \varepsilon)} = \frac{F_0}{1 + \varepsilon} \quad (1.4)$$

bu yerda: $\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0}$ - namunani nisbiy uzayishi.

(1.2) - (1.4) nisbatlar bo'yin hosil bo'lishini boshlanish paytigacha to'g'ri bo'ladi.

Deformatsiyaning istalgan paytidagi kuch ushbu nisbatdan topiladi:

$$R = \sigma_{\text{haq}} F \quad (1.5)$$

(1.5) tenglamani differensiallab ushbuni topamiz:

$$dP = \sigma_{\text{haq}} dF + F d\sigma_{\text{haq}} \quad (1.6)$$

F ning qiymatini (1.4) dan (1.6) ga qo'yib va dF kattalikni (1.4) ifodani differentsiallash yo'li bilan topib, murakkab bo'lmagan o'zgartirishlardan so'ng ushbuga ega bo'lamiz:

$$dP = \frac{\left(d\sigma_{\text{sh}} - \frac{\sigma_{\text{sh}} d\varepsilon}{1 + \varepsilon} \right) F_0}{1 + \varepsilon} \quad (1.7)$$

Bo'yin hosil bo'lishi boshlanish paytida $\sigma_{\text{haq}} = \sigma_{\text{sh}}$, $\varepsilon = \varepsilon_{\text{sh}}$, $dP = 0$, chunki bu paytda cho'zuvchi kuchning o'sishi to'xtaydi. Bundan

$$\frac{d\sigma_{\text{sh}}}{d\varepsilon_{\text{sh}}} = \frac{\sigma_{\text{sh}}}{1 + \varepsilon_{\text{sh}}} \sum \quad (1.8)$$

kelib chiqadi. Biroq $\frac{d\sigma_{\text{sh}}}{d\varepsilon_{\text{sh}}} = \tan \alpha$, bu yerda α - bo'yin hosil bo'lish boshlanishiga mos keluvchi nuqtada mustahkamlanish egri chi-

zig'iga o'tkazilgan urinmaning og'ish burchagi. Bu urinmani absissa o'qi x va ordinata o'qi u da kesishgan kesmaning kattaligini topamiz (14-rasm).

$$\text{AVS uchburchakdan } \gamma + \varepsilon_{sh} = \frac{\sigma_{sh}}{\tan \alpha} = 1 + \varepsilon_{sh} \text{ ekanini topamiz.}$$

Bundan $x=1$ kelib chiqadi.

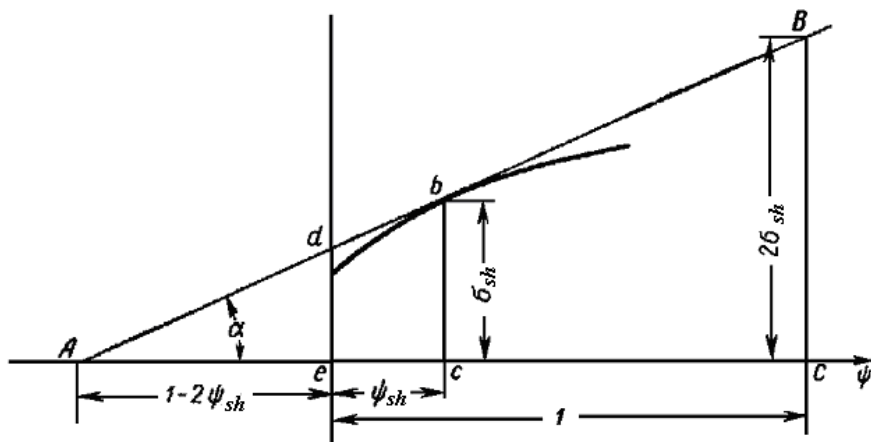
$$\text{AVS va Abc uchburchaklar o'xshashligidan} \\ \frac{y}{\sigma_{sh}} = \frac{1}{1 + \varepsilon_{sh}}; \quad \frac{u}{\sigma_b} = \frac{\sigma_{sh}}{1 + \varepsilon_{sh}} \text{ ekanligi kelib chiqadi.}$$

(1.3) va (1.4) nisbatlardan foydalanib, $u=\sigma_b$ ni topamiz.

Shunday qilib, bo'yin hosil bo'lishi boshlanishiga mos keluvchi nuqtada mustahkamlanish egri chizig'iga o'tkazilgan urinma, deformatsiya o'qini manfiy qismida son jihatidan birga teng kesma, haqiqiy kuchlanishlar o'qida esa son jihatidan mustahkamlik chegarasiga teng bo'lgan kesma ajratadi.

Ikkinchi turdagi mustahkamlanish egri chiziqlarining xossalari ko'rib o'tamiz (15-rasm). Namunaning cho'zilishdagi ko'ndalang kesim yuzasini nisbiy kamayishi $\psi = \frac{(F_0 - F)}{F_0}$ ifoda bi-

lan aniqlanadi. Bundan $F=F_0(1-\psi)$ (1.9) kelib chiqadi.



15-rasm. Ikkinchi turdagi mustahkamlanish egri chiziqlari.

R kuch deformatsiyaning istagan paytidagi, bo'yin hosil bo'lishi boshlanishini ham qo'shib, ushbu ifodadan topilishi mumkin:

$$R = \sigma_{\text{haq}} F = \sigma_{\text{haq}} F_0 (1 - \psi) \quad (1.10)$$

(1.10) ni differensiallab, ushbuni topamiz:

$$dP = F_0 (1 - \psi) d\sigma_{\text{haq}} - \sigma_{\text{haq}} F_0 d\psi. \quad (1.11)$$

Bo'yin hosil bo'lish boshlanishiga mos keluvchi payt uchun ilgari ko'rilganiga o'xshash $\psi = \psi_{sh}$, $\sigma_{\text{haq}} = \sigma_{sh}$, $dP = 0$ bo'ladi.

Shuning uchun (1.11) ifodadan bo'yin hosil bo'lish boshlanishiga mos keluvchi payt uchun ushbu nisbat olinishi mumkin.

$$\frac{d\sigma_{sh}}{d\psi_{sh}} = \frac{\sigma_{sh}}{(1 - \psi_{sh})} \quad (1.12)$$

$\frac{d\sigma_{uu}}{d\psi_{uu}}$ nisbat bo'yin hosil bo'lishi boshlanishiga mos keluvchi nuqtada ikkinchi turdagi mustahkamlanish egri chizig'iga o'tkazilgan urinmani og'ish burchagining tangensi hisoblanadi. Bundan $\operatorname{tg} \alpha = \sigma_{sh}/(1-\psi)$ kelib chiqadi. AVS va Abc uchburchaklardan esa urinma absissa o'qining manfiy qismida son jihatidan $1-2\psi_{sh}$ ga teng, absissa o'qiga perpendikulyarda esa, $\psi=1$ nuqtada son jihatidan $2\sigma_{sh}$ ga teng kesma ajratishini topamiz.

Shunday qilib, ikkinchi turdagi mustahkamlanish egri chizig'iga, bo'yin hosil bo'lishi boshlanishiga mos keluvchi nuqtadan o'tkazilgan urinma, absissa o'qiga perpendikulyardagi $\psi=1$ nuqtada, son jihatidan bo'yin hosil bo'lish boshlanishi paytidagi haqiqiy kuchlanishning ikkilangan qiymatiga teng bo'lgan kesma ajratadi.

Metallarni bosim bilan ishlashda deformatsiyalash uchun talab etiladigan kuchlarni kattaligiga mustahkamlanish tabiati va ta'sir darajasini tahlil qilish uchun mustahkamlanish egri chiziqlaridan foydalanish mumkin. Deformatsiyalash kuchlari kattaligiga mustahkamlanish ta'sirini belgilash va deformatsiyalanayotgan jismdagi kuchlanishlarni taqsimlanishi bo'yicha masalani analitik yechishni osonlashtirish uchun, mustahkamlanish egri chizig'ini haqiqiy kuchlanishlarni deformatsiya darajasi bilan bog'lovchi tenglama ko'rinishida tasvirlash zarur. Haqiqiy kuchlanishlarni deformatsiya darajasiga funktsional bog'liqligini soddalashtirish maqsadida mustahkamlanish egri chizig'ini to'g'ri chiziq yoki darajali egri chiziq bilan almashtiradilar.

Mustahkamlanishning haqiqiy kuchlanish kattaligiga ta'sirini tahminan ifodalovchi to'g'ri chiziq sifatida, bo'yin hosil bo'lish boshlanishiga mos keluvchi nuqtadan o'tkazilgan urinma qabul qilinadi. Bu to'g'ri chiziqning $\sigma_{haq} - \psi$ koordinatlaridagi tenglamasi ushbu ko'rinishda yozilishi mumkin:

$$\sigma_{haq} = \sigma_{mo} + B\psi \quad (1.13)$$

bu yerda: σ_{mo} - ekstrapolyatsiyalangan oquvchanlik chegarasi (urinma bilan $\psi=0$ bo'lganda ordinata o'qida kesilgan kesma); V - mustahkamlanish moduli, to'g'ri chiziqni absissa o'qiga α og'ish burchagining tangensi bo'ladi.

(1.12) va (1.9) nisbatlardan foydalanib, shuningdek $\sigma_{sh} = \sigma_o F_o / F_{sh}$ ekanini hisobga olib, ushbuni olish mumkin:

$$B = \frac{\sigma_b}{(1 + \psi_{sh})^2} \quad (1.14)$$

σ_{mo} kattaligi Ade uchburchagidan topilishi mumkin (15-rasm) va (1.14) ifodadan foydalanib σ_{mo} ni aniqlash formulasi $\tan \alpha = V$ uchun ushbu ko'rinishga keladi:

$$\sigma_{mo} = \frac{\sigma_b(1 - 2\psi_{sh})}{(1 - \psi_{sh})^2} \quad (1.15)$$

(1.13) formula bilan hisoblangan σ_{haq} kattaliklari, $\psi = \psi_{sh}$ dan tashqari ψ ning barcha qiymatlarida, haqiqiy kuchlanishlar egri chizig'i bo'yicha aniqlanadigan σ_{haq} qiymatlaridan bir oz katta bo'ladi, bu farq kichik deformatsiya darajalarida ($\psi \ll \psi_{sh}$) ayniqsa sezilarli bo'ladi.

Ushbu ko'rinishdagi darajali funksiya haqiqiy kuchlanishning ψ kattaligiga chinakam bog'liqligini yanada aniqroq ifodalaydi:

$$\sigma_{haq} = S \psi^n \quad (1.16)$$

C va n qiymatlari ushbu tarzda aniqlanishi mumkin:

$$\psi = \psi_{sh}; \quad \sigma_{haq} = \sigma_{sh}; \quad \text{demak } S = \sigma_{sh} / \psi_{sh}^n.$$

C ning topilgan qiymatini (1.16) tenglamaga qo'yib, ushbuni hosil qilamiz:

$$\sigma_{haq} = \sigma_{sh} \psi^n / \psi_{sh}^n \quad (1.17)$$

(1.10) va (1.17) tenglamalardan cho'zilishning (bo'yin hosil bo'lishi boshlanguncha) har qanday paytidagi R kuchni aniqlash uchun formula topilishi mumkin:

$$P = \frac{\sigma_{sh} \psi^n F_0 (1 - \psi)}{\psi_{sh}^n} \quad (1.18)$$

(1.18) ifodani differensiallab va $dP=0$ (bo'yin hosil bo'lishi boshlanishi payti uchun) tenglab olib, ushbuni topamiz:

$$n = \psi_{sh} / (1 - \psi_{sh})$$

n ning topilgan qiymatini (1.17) tenglamaga qo'yib, σ_{sh} ni $\sigma_{sh} = \frac{\sigma_b F_0}{F_{sh}} = \frac{\sigma_b}{(1 - \psi_{sh})}$ nisbat bo'yicha σ_b bilan almashtirib, uzil-kesil ushbuni hosil qilamiz.

$$\sigma_{haq} = \frac{\sigma_0}{(1 - \psi_{sh})} \left(\frac{\psi}{\psi_{sh}} \right)^{\frac{\psi_{sh}}{(1 - \psi_{sh})}} \quad (1.19)$$

S.I.Gubkin taklif etgan (1.19) formula, σ_{haq} ning hisoblangan qiymatlarini daliliy qiymatlar bilan taqqoslash ko'rsatishicha, mustahkamlanishning haqiqiy kuchlanishlar kattaligiga ta'siri ta-biati va darajasini yetarlicha to'g'ri ifodalaydi.

1.7. Deformatsiya temperaturasi va tezligini deformatsiyalash jarayoniga ta'siri

Yuqori temperaturalardagi deformatsiya, qaytish va rekristallizatsiya. Oldinroq mustahkamlanish bilan kechadigan sovuq deformatsiya mexanizmi yozilgan edi. Deformatsiyalanayotgan metall temperaturasi oshishi bilan unda mustahkamlanishga teskari bo'lgan yangi jarayonlar, qaytish va rekristallizatsiya paydo bo'ladi. Shunday qilib, deformatsiya jarayonida yuqori temperaturalarda bir

vaqtda mustahkamlanish ham, va shuningdek, bo'shalish jarayonlari ham sodir bo'ladi.

Sovuq deformatsiyalarda alohida donachalardagi sirpanish tekisliklarining turlicha yo'nalganligi, deformatsiyalarning xomaki mahsulot hajmida notekis taqsimlanishi, donachalarning shakli, o'lchami va xossaligidagi farq oqibatida ular kattaligi har xil bo'lgan elastik deformatsiyaga duchor bo'ladi. Shu bilan birga sovuq deformatsiyada kristall panjaraning qiyshayishi ortadi. Natijada tashqi kuchlar olingandan so'ng sovuq deformatsiyalangan metallda qoldiq kuchlanishlar hosil bo'ladi.

Ma'lum temperaturagacha qizdirib deformatsiyalashda atomlarning issiqlik tebranishlari amplitudasi shunchalik ortadiki, bu atomlarni muvozanat holatiga o'tishini engillashtiradi. Shu munosabat bilan yuqorida ko'rsatilgan elastik deformatsiyalar sezilarli darajada tekislanadi. O'shancha kristal panjarani hosil bo'ladigan qiyshayishlari ham kamayadi. Bu esa tashqi kuchlar olingandan so'ng qoldiq kuchlanishlarning keskin kamayishini ta'minlaydi (agar xomaki xom ashyoni deformatsiyalashdan keyin notekis sovutishda paydo bo'lishi mumkin bo'lgan termik kuchlanishlarni hisobga olinmasa). Bu hodisani qaytish (dam olish) deb ataladi.

Toza metallar uchun qaytish $(0,25-0,30)T_{\text{erish}}$ dan ortiq mutlaq temperaturalarda namoyon bo'ladi. Bu yerda T_{erish} - erish mutlaq temperaturasi. Metallda eruvchi aralashmalar mavjudligi qaytish temperaturasining ortishiga olib keladi.

Ishlov berish jarayonida qaytish deformatsiyalashga qarshilikni qandaydir kamayishi va plastiklikni oshishiga olib keladi. Shunga qaramay qaytish temperaturalarida deformatsiyalash, uning jadaligi bir oz kam bo'lsa ham, mustahkamlanish bilan birga kechadi.

Qaytish mavjud bo'lgan deformatsiyada, shuningdek u bo'lmaganda ham, metallning eng jadal oqish yo'nalishida cho'ziladigan donachalarning o'lchami va shakliga qaytish ta'sir

ko'rsatmaydi. Shuningdek qaytish deformatsiyada tekstura hosil bo'lishiga qarshilik ko'rsatmaydi.

Qaytish vaqt mobaynida sodir bo'ladi; temperatura oshishi bilan qaytish tezligi ortadi. Shu munosabat bilan qaytish ta'siri temperatura va deformatsiya tezligi orasidagi nisbatga bog'liq bo'ladi. Berilgan temperaturadagi deformatsiya tezligini oshishi qaytish ta'sirini kamaytirishi mumkin.

Metallni sovuq deformatsiyalashdan so'ng uni qizdirish (bo'shatish)da ham qaytish ro'y beradi.

Sovuq deformatsiyalangan metallni qaytish temperaturasigacha qizdirish uning mexanikaviy xossalarning ko'rsatkichlariga uncha sezilarli ta'sir ko'rsatmaydi (mustahkamlik ko'rsatkichlari ozgina kamayadi, plastiklik ko'rsatkichlari esa bir qancha ortadi).

Qaytish (bo'shatish) sovuq deformatsiyalangan metallni korroziyaga qarshiligini oshirishi va o'z- o'zidan darz ketishi imkoniyatini keskin kamaytirishini ta'kidlab o'tish kerak. Bunday hodisa sovuq shtamkovkalab olingan, ayniqsa jezdan tayyorlangan detallarda kuzatiladi va kristallitlararo korroziya hisobiga buzi-lishga qarshilik kamayganda, qoldiq kuchlanishlar ta'siri ostida ro'y beradi.

Ba'zi metall va qotishmalarda, masalan, uglerodli po'latda, qaytish temperaturalarida, mexanik xossalarga qaytishga qarama-qarshi bo'lgan ta'sir ko'rsatuvchi, eskirish hodisasi kelib chiqishi mumkin. Eskirish mustahkamlik ko'rsatkichlarining oshishiga va bir vaqtning o'zida plastiklik ko'rsatkichlari kamayishiga olib keladi. Eskirishning fizik tabiati hali uzil- kesil aniqlanmagan. Eskirish jarayonida mexanik xossalarni o'zgarishi aralashma qo'shimchalarning mayda dispersli zarralari sirpanish tekisliklari bo'yicha to'kilishi natijasida ro'y beradi deb taxmin qilinadi.

Deformatsiyalanayotgan metall temperaturasini qaytish temperaturasidan ortishi rekristallizatsiya jarayoni kelib chiqishiga olib keladi. Plastik deformatsiyalashdagi rekristallizatsiya kurtak hosil bo'lishi, deformatsiyalangan o'rniga yangi donachalar paydo bo'lishi va o'sishidan iborat bo'ladi.

Deformatsiyalanayotgan metall temperaturasining oshishi atomlar energiyaviy potensialini shunchalik ko'taradiki, ular qayta guruhlanish va jadal o'rin almashinish imkoniyatini oladi. Bu rekristallizatsiyaning o'tishi imkoniyatini yaratadi.

Deformatsiyalanayotgan metallda mavjud bo'lgan, deformatsiya jarayonida qiyshaymagan, nisbatan to'g'ri panjarali katakchalar (mozaikaning alohida bloklari, sirpanish tekisliklaridagi yoki chegaraviy, donalar aro qatlamlardagi donachalar bo'laklari), donachalarning kurtaklariga aylanadi.

Panjara parametrlariga mos ravishda, qo'shni kurtakchali donachalarning atomlari bu kurtakchalarga yondoshib qatorlashadi va yangi donachalar o'sa boshlaydi. Yangi donachalarning o'lchamlari kattalashadi va vaqt o'tishi bilan ular deformatsiyalangan donachalarning atomlarini to'liq yutib yuborishi mumkin. Yangi donachalarning kurtakchalar atrofida o'sish imkoniyati hamma yo'nalishlar bo'yicha bir xil bo'lganligi oqibatida, yangi kurtakchalardan tashkil bo'ladigan donachalar teng o'qli, ya'ni hamma yo'nalishlar bo'yicha o'rtacha bir xil o'lchamga ega bo'ladi.

Shunday qilib, metallning rekristallizatsiya temperaturasidan yuqori temperaturalardagi deformatsiyasi ikkita o'zaro qarama-qarshi va bir paytda ta'sir qiladigan jarayonlar: donachalarning deformatsiyasi (mustahkamlanishi) va ularning rekristallizatsiyasi bilan birga kuzatiladi.

Rekristallizatsiya jarayoni vaqt bo'yicha temperaturaga va deformatsiya darajasiga bog'liq bo'lgan qandaydir tezlik bilan sodir bo'ladi.

Deformatsiyalanayotgan jism olayotgan temperatura va deformatsiya darajasi qanchalik yuqori bo'lsa, rekristallizatsiya tezligi shunchalik yuqori bo'ladi. Oxirgi natija deformatsiya va rekristallizatsiya tezligi orasidagi nisbatga bog'liq bo'ladi. Agar rekristallizatsiya tezligi deformatsiya tezligidan katta bo'lsa, natijada deformatsiyalangan metallning hamma donachalari teng o'qli shaklni oladi, kristallik tuzilishi esa deformatsiyalanmagan

donachalar tuzilishiga mos keladi va metall xossalarining mustahkamlanishini keltirib chiqaradigan o'zgarishlar sodir bo'lmaydi.

A.A. Bochvar ma'lumotlari bo'yicha toza metallar uchun rekristallizatsiyaning boshlanish temperaturasi ushbu nisbatdan aniqlanadi:

$$T_{\text{rekr}} \geq 0,4 T_{\text{erish}}$$

bu yerda: T_{rekr} - rekristallizatsiyaning mutloq temperaturasi; T_{erish} - erish mutloq temperaturasi.

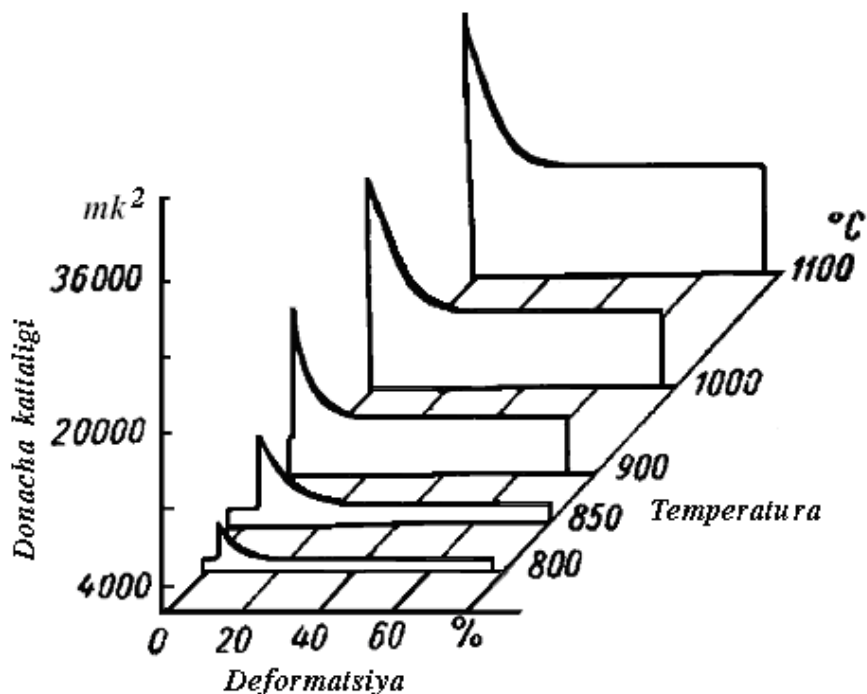
Eriydigan aralashmalar borligi rekristallizatsiya temperaturasini bir oz oshiradi.

Rekristallizatsiya jarayonida kristallit ichida ham, donachalar chegaralarida ham atomlar diffuziyasi kuchayadi. Bu donachalarning kimyoviy bir xil emasligini tekislashga va kristallitaro deformatsiya natijasida donachalar chegaralarida paydo bo'ladigan shikastlanishlarni olib tashlashga yordam beradi.

Rekristallizatsiya bilan deformatsiyalangan metallidagi teng o'qli donachalarning o'lchamlari rekristallizatsiya sodir bo'ladigan temperaturaga, deformatsiya darajasiga, shuningdek deformatsiya tezligiga bog'liq bo'ladi. Rekristallizatsiyali deformatsiyadan so'ng donacha kattaligi, temperatura va deformatsiya darajasi orasidagi bog'lanishni odatda rekristallizatsiyaning (ikkinchi xildagi) hajmiy diagrammalari bilan tasvirlanadi. Bu diagrammalar maxsus o'tkazilgan tajribalarning natijalari bo'yicha quriladi va har bir metall va qotishma uchun xususiyatli hisoblanadi. 16- rasmda kam uglerodli po'latning hajmiy rekristallizatsiya diagrammasi tasvirlangan. Boshqa metallar va qotishmalar uchun rekristallizatsiya diagrammalari ham o'xshash xususiyatga ega bo'ladi.

Rekristallizatsiyali deformatsiyadan so'ng donacha kattaligini deformatsiya darajasiga bog'liqligini alohida xususiyati bo'lib, deformatsiyaning kritik darajasi deb ataluvchi, rekristallangan donachalarning o'lchamini keskin kattalashuvi kuzatiladigan kattalik mavjudligi hisoblanadi.

Deformatsiyaning kritik darajasi kattaligi, rekristallizatsiya boshlanishi temperaturasi ga yaqin bo'lgan temperaturalarda odatda 8 - 10% dan oshmaydi va temperatura oshishi bilan kamayib boradi (deformatsiyaning kritik darajasi koordinata boshiga suriladi).

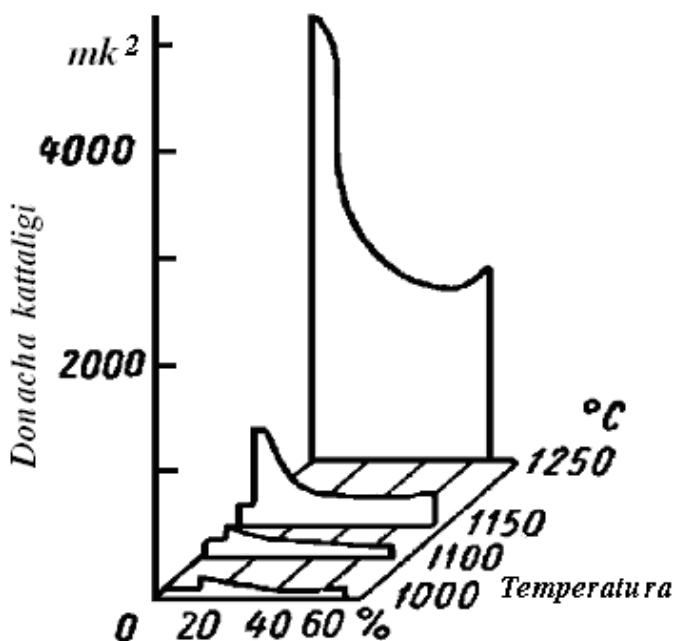


16-rasm. Kam uglerodli po'latning hajmiy rekristallizatsiya diagrammasi

Deformatsiyaning kritik darajasi mavjudligini quyidagi tarzda tushuntirib berish mumkin. Deformatsiyaning dastlabki bosqichida deformatsiya asosan donachani o'rab turgan kristallararo modda buzilmasdan kristallit ichidagi jarayonlar hisobiga ro'y beradi. Buning natijasida, donachalar o'lchamining rekristallizatsiyada ularni birlashishi yo'li bilan kattalashuvi qiyin bo'ladi. Bundan tashqari deformatsiyalarning nisbatan kichik qiymatida hosil bo'lgan - kris-

tallitning singan bo'lak parchalari soni katta emas, demak mumkin bo'lgan rekristallizatsiya markazlari soni ham ko'p emas. Kritik darajalarda rekristallizatsiya markazlari soni ko'p bo'lmaydi (bir oz ko'payadi), biroq kristallararo modda qisman buziladi, bu kristallarning bir - biriga bevosita tegishiga olib keladi. Rekristallizatsiya jarayonidagi bu holat qo'shni donachalar atomlariga rekristallizatsiya markazidan o'sayotgan yangi donacha qo'shilishini engillashtiradi. Pirovard natija bir nechta deformatsiyalanayotgan donachalarni bittaga birlashishiga, ya'ni rekristallangan donachalar o'lchamini kattalashishiga olib keladi. Deformatsiya darajasini bundan keyingi oshishi rekristallizatsiya markazlarining sonining ortishiga olib keladi, demak, rekristallangan donachalar soni ortadi. Bu berilgan jism hajmida ularning o'lchami kamayishini keltirib chiqaradi.

Temperatura ortishi bilan kristallararo moddaning mustahkamligi kamayadi, kristallitlarni bir - biriga bevosita tegishi deformatsiyaning kichik darajalarida ro'y beradi, bu deformatsiya kritik darajalarini koordinat boshiga surilishiga olib keladi. Temperatura oshishi bilan, bundan tashqari, atomlar qo'zg'aluvchanligi ortadi, rekristallizatsiya jarayonida qo'shni donachalarning birlashishi engillashadi. Bu deformatsiyaning barcha darajalarida rekristallangan donachalar o'lchamining nisbiy kattalashuviga olib keladi.



17-rasm. Rekristallizatsiya egri chiziqlarida ikkinchi maksimum kuzatilishi.

Ba'zi nav po'latlarda, juda yuqori deformatsiya darajalarida, rekristallizatsiya egri chiziqlarida ikkinchi maksimum kuzatilishi (17-rasm) tadqiqotchilarning qator ishlarida ko'rsatib o'tilgan.

Yana rekristallizatsiyadan so'ng donachalarning kattaligi qizitilgan metallni rekristallizatsiya temperaturasidan ortiq temperaturada tutib turish davomiyligiga ham bog'liqdir. Uzoq vaqt tutib turilganda, ilgari bayon qilingan ishlov berish rekristallizatsiyasidan farqli ravishda, yig'iluvchi rekristallizatsiya deb ataluvchi hodisa kuzatiladi. Uning mohiyati shundaki, ishlov berish rekristallizatsiyasi natijasida hosil bo'lgan teng o'qli donachalar o'lchami birlashish hisobiga kattalashadi.

Yig'iluvchi yoki yuza rekristallizatsiyasi ishlov berishdagi rekristallizatsiyaga qaraganda sekinroq ro'y beradi. Yig'iluvchi rekristallizatsiyada donachalarning o'sish imkoniyati atomlarni qayta qu-

rish jarayonida potensial energiyani minimumiga javob beradigan holatni egallashga intilishidan kelib chiqadi. Donachalarning sirtqi qatlamlarida bo'lgan atomlarning o'zaro joylashishidagi to'g'rilikni buzilishi polikristallda to'plangan potensial energiyani oshiradi. Donachalar o'lchami oshganda ularning jamlangan yuzasi kamayadi, demak, jismda to'plangan potensial energiya ham kamayadi. Rekristallizatsiya boshlanishi temperaturasidan ancha orttirilgan temperaturada yig'iluvchi rekristallizatsiya ayniqsa jadal sodir bo'ladi.

Rekristallizatsiya shuningdek sovuq deformatsiyalangan metallni rekristallizatsiya boshlanish temperaturasidan bir oz ortiq temperaturagacha qizdirganda ham (past yoki rekristallizatsiya yumshatishi) sodir bo'ladi.

Sovuq deformatsiyalangan metallni rekristallizatsiyasi natijasida hosil bo'lgan donachalar kattaligi boshlang'ich xom ashyo yoki uning alohida joylari olgan deformatsiya darajasiga, rekristallizatsiya temperaturasi va bu temperaturada tutib turish vaqtiga bog'liq bo'ladi.

Donacha kattaligining bu omillardan bog'liqlik xususiyati ilgari ko'rib o'tilganga o'xshash. Bu holda ham deformatsiyaning kritik darajalari mavjud bo'lib, unda rekristallangan donachalarning o'lchamlarini ancha kattalashuvi kuzatiladi, buning ustiga qizdirish temperaturasi qanchalik yuqori bo'lsa, donachalar o'lchamining oshishi shunchalik katta bo'ladi. Nihoyatda katta darajada deformatsiya olgan va deformatsiya teksturasiga ega bo'lgan sovuq deformatsiyalangan metallni rekristallizatsiyasi teksturani yo'qolishiga olib kelishi mumkin. Biroq, rekristallizatsiya doimo ham uni yo'qotilishiga olib kelmaydi. Deformatsiya teksturasiga ega bo'lgan metallni rekristallik yumshatish natijasida teksrekristallizatsiya deb ataluvchi, rekristallangan teng o'qli donachalarning kristollografik o'qlari fazoda ustuvor yo'nalishli holat hosil bo'lishi mumkin (ko'pchilik donachalar kristallografik o'qlarining fazoda yo'nalishi bir xil bo'ladi).

Rekristallizatsiya teksturasi deformatsiya teksturasiga aynan o'xshash bo'lishi mumkin, lekin undan farq qilishi ham mumkin, ya'ni jismda kristallografik o'qlarning ustuvor mo'ljalli yo'nalishi rekristallizatsiyadan so'ng o'zgaradi.

Rekristallizatsiya teksturasini paydo bo'lishi chamasi shunday tushuntiriladi; deformatsiyalangan metallda bo'lgan yangi donachalar kurtaklari fazoda kristallografik o'qlarning ustuvor mo'ljaliga ega bo'ladi. Rekristallizatsiya teksturalari dastlabki deformatsiya teksturasiga aynan o'xshash bo'lishi mumkin, lekin ulardan ancha farq qilishi ham mumkin. Rekristallizatsiya teksturasi, shuningdek, deformatsiya teksturasini yumshatishdan so'ng yangi tekstura hosil qilmasdan yo'qotish imkoniyati qotishma tarkibi va aralashmalar miqdoriga, sovuq deformatsiyalashda olingan deformatsiya darajasiga, deformatsiya teksturasi xususiyatiga, yumshatish temperaturasi va uning davomlilikiga bog'liq bo'ladi. Rekristallizatsiya teksturasining bo'lishi yumshatilgan metallda mexanikaviy xossalarning anizotropiyasiga olib keladi. Bu bosim bilan ishlov berib olingan detalning xizmat xususiyatlarida yoki yumshatilgan dastlabki xom ashyoni keyinchalik plastik deformatsiyalashdagi o'zini tutishida aks etishi mumkin. Masalan, yumaloq yassi dastlabki xom ashyodan stakan tortib olishda festonlar (quloqlar) hosil bo'lishi jo'valangan (va yumshatilgan) metallda (tunukada) rekristallizatsiya teksturasi bo'lganligining natijasi hisoblanadi.

1.8. Metallarga bosim bilan ishlov berishdagi deformatsiyalarning turlari

Ilgari bayon etilganlardan ko'rinadiki, bosim bilan ishlov berishda, umumiy holda, metallda o'zaro qarama -qarshi bo'lgan jarayonlar: mustahkamlanish jarayoni va bo'shatuvchi jarayonlar (qaytish va rekristallizatsiya) bir vaqtning o'zida sodir bo'lishi mumkin.

U ham, deformatsiya sharoitlari (temperatura, deformatsiya tezligi va darajasi) va deformatsiyalanayotgan metall tabiati sabab bo'lgan boshqalari ham, vaqt mobaynida muayyan tezlik bilan sodir bo'ladi. Jarayonlardan qaysi biri ustuvor bo'lishiga bog'liq holda, deformatsiya natijalari turlicha bo'ladi.

S.I.Gubkin bo'yicha issiq, to'liq bo'lmagan issiq, to'liq bo'lmagan sovuq va sovuq deformatsiyalarni farq qiladilar.

Issiq deformatsiya deb rekristallizatsiya to'liq ro'y berib ulguradigan jarayonga aytiladi. Metall issiq deformatsiya natijasida mustahkamlanishning hech qanday izlari bo'lmagan, to'liq rekristallangan teng o'qli mikrotuzilish (mikrostruktura) oladi. Issiq deformatsiya, deformatsiya tezligi qancha yuqori bo'lsa, shuncha ko'p darajada rekristallizatsiya boshlanish temperaturasidan ortiq bo'lgan temperaturalarda amalga oshiriladi.

To'liq bo'lmagan issiq deformatsiyada rekristallizatsiya to'liq sodir bo'lmaydi. To'liq bo'lmagan issiq deformatsiyada metallda uni deformatsiyalashda, shuningdek deformatsiya tugagandan keyin bir vaqtda ikkita har xil turdagi mikrotuzilish: rekristallangan (teng o'qli donachalar bilan) va rekristallanmagan (cho'zilgan donachali) joy olishi mumkin. Deformatsiyalangan donachalar bilan bir qatorda rekristallangan donachalar bo'lishi deformatsiya notekisligini oshishiga olib keladi. Bu metall plastikligini kamayishi va buzilish ehtimolini ko'payishiga yordam beradi. To'liq bo'lmagan issiq deformatsiyada olingan deformatsiyalangan metall kattaligi bo'yicha ancha ko'p qoldiq kuchlanishlarga ega bo'lib, ular plastiklik yetarli bo'lmaganda metallning buzilishini keltirib chiqara oladi.

To'liq bo'lmagan issiq deformatsiya rekristallizatsiya boshlanish temperaturasidan ozgina oshadigan deformatsiya tem-

peraturalarida bo'lishi mumkin. Shu bilan birga uning paydo bo'lish ehtimoli deformatsiya tezligi oshishi bilan ko'payadi.

To'liq bo'lmagan issiq deformatsiyani amaliyotda qo'llashdan iloji boricha qochish kerak, chunki u bolg'alash sifati past bo'lishiga sabab bo'ladi. Deformatsiyaning bu turi kichik rekristallizatsiya tezligiga ega bo'lgan qotishmalarda (masalan, ko'p fazali, metastabil tizim bo'lgan ba'zi alyuminiy va magniy qotishmalari) oson paydo bo'ladi. Shuning uchun ularni deformatsiyalash kichik tezliklar bilan o'tkaziladi.

To'liq bo'lmagan sovuq deformatsiya deb rekristallizatsiya bo'lmagan, biroq qaytish jarayoni bo'lib ulgurgan holatga aytiladi. To'liq bo'lmagan sovuq deformatsiya natijasida metall rekristallizatsiya izlarisiz yo'l-yo'l mikrotuzilish, katta deformatsiyada esa - deformatsiya teksturasi oladi. Uning plastik xossalari qaytish bo'lmaganda deformatsiyalangan metallga qaraganda yuqori, mustahkamlik xossalari esa bir muncha past.

To'liq bo'lmagan sovuq deformatsiya qaytish boshlanish temperaturasiga nisbatan katta deformatsiya temperaturalarida bo'lishi mumkin; bunda deformatsiya tezligi qaytish to'liq ro'y berib ulguradigan bo'lishi kerak.

Sovuq deformatsiyada rekristallizatsiya va qaytish umuman bo'lmaydi, deformatsiyalangan metall mustahkamlanishning barcha belgilariga ega bo'ladi. Sovuq deformatsiya qaytishni boshlanish temperaturasidan kichik bo'lgan temperaturalarda sodir bo'ladi.

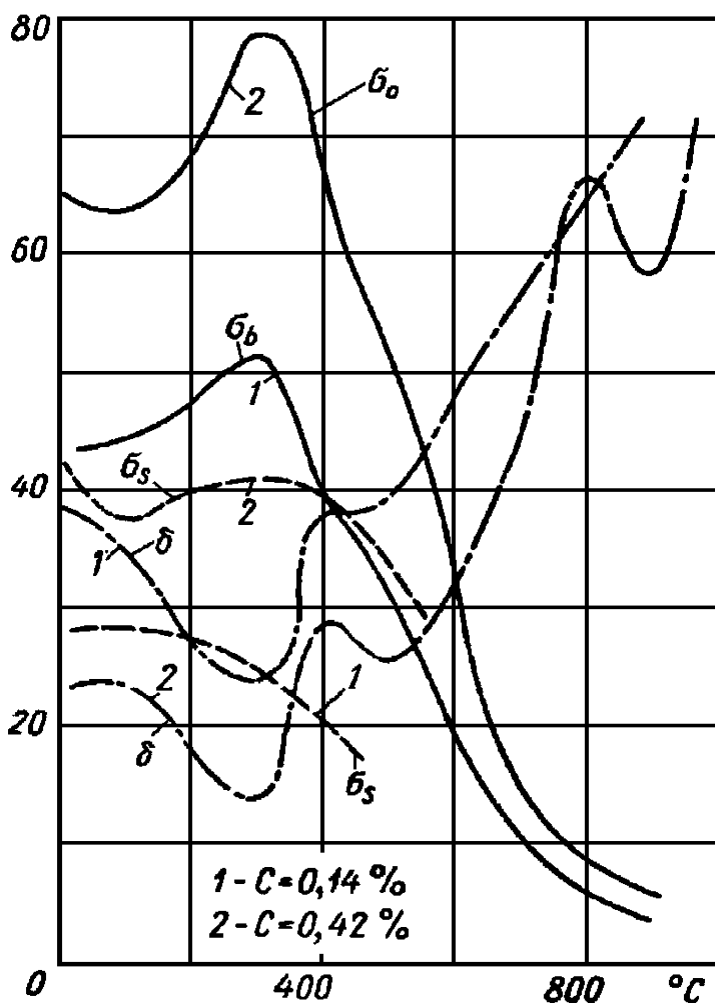
Shunday qilib, temperatura - tezlik sharoitlari deformatsiyalangan metall tuzilishiga muhim ta'sir ko'rsatadi.

1.9. Deformatsiyaga qarshilik va plastiklikka temperaturaning ta'siri

Metall temperaturasining oshishi, bundan tashqari, uning mexanik tavsifiga muhim ta'sir ko'rsatadi. Plastiklik ko'rsatkichlarini

o'zgarib borishi deformatsiyalashga qarshilikni ham kamaytiradi. Temperaturaning bundan keyingi taxminan 300° gacha oshishi plastiklik ko'rsatkichlarini ancha kamaytiradi va mustahkamlik ko'rsatkichlarini o'sishiga olib keladi (ko'k ushalish sohasi).

Bu taxmin, eskirish jarayoniga o'xshash, karbidlarning juda mayda zarrachalarini sirpanish tekisliklari bo'yicha to'kilishi bilan tushuntiriladi. Temperaturaning bundan keyingi oshishi mustahkamlik ko'rsatkichlarini asta-sekin, ammo ancha kamayishiga olib keladi. 1000° atrofidagi temperaturalarda mustahkamlik chegarasi o'n martadan ko'proq kamayadi.



18-rasm. Deformatsiyaga temperaturaning ta'siri.

Plastiklik ko'rsatkichlariga nisbatan, ularning to'liqsiz issiq deformatsiya ro'y berishi mumkin bo'lgan temperaturalar sohasida va fazaviy o'zgarishlar temperaturasi sohasida (ko'pincha bu ikki hodisa deyarli bir xil temperaturalarda sodir bo'ladi) qandaydir kamayishi xarakterlidir.

Plastiklikning fazaviy o'zgarishlar temperaturasi sohasida pasayishi deformatsiyalanayotgan jismda bir vaqtda turli xossalarga ega ikki faza mavjudligi, bu kuchlanganlik holatini notekisligi oshishiga olib kelishi bilan tushuntiriladi.

Erish temperaturasidan bir qancha kam bo'lgan temperatura-larda plastiklik ko'rsatkichlarini keskin pasayishi kuzatiladi. Bu metall donachasini, keyingi metallni o'ta qizdirish (donacha chegaralarini oksidlanishi) bilan, ancha o'sishining natijasi hisoblanadi. Boshqa metall va qotishmalar uchun ham mustahkamlik va plastiklik ko'rsatkichlarining bog'liqlik grafigi o'xshash tavsifga ega bo'ladi.

Barcha metall va qotishmalar uchun umumiy holat bo'lib, ular rekristallizatsiya temperaturalarida uncha katta bo'lmagan plastiklikka egaligi hisoblanadi, ya'ni issiq deformatsiyalash sharoitlarida, ularga bir vaqtning o'zida mustahkamlik ko'rsatkichlarining, demak, deformatsiyaga qarshilikning ham kichik qiymatlari mos keladi.

Plastiklik kamayishi kuzatiladigan havfli temperatura sohalari bo'lib, sohalarida fazaviy o'zgarishlar, to'liq bo'lmagan issiq deformatsiya yoki eskirish va ko'k ushalish sodir bo'lishi mumkin bo'lgan sohalar hisoblanadi.

Issiq deformatsiya temperaturasigacha qizdirishda plastiklikning oshishi atomlar qo'zg'aluvchanligini oshishining natijasidir, biroq, bundan tashqari plastiklik oshishiga yana boshqa hodisalar yordam beradi. Masalan, issiq deformatsiyalash sharoitida, odatda tarkibida oshirilgan miqdorda aralashmalari bo'lgan, kristallararo qatlamlar plastikligi ancha oshadi. Bu oshirilgan miqdordagi aralashmali chegara qatlamlarining termodinamik turg'unligi kam bo'lishi va asosiy metall donachalarining erish temperaturasiga qaraganda, erish temperaturasi kamligi bilan tushuntiriladi.

Issiq deformatsiyalash temperaturasigacha qizdirish bilan donalararo qatlamlar mustahkamligi, donalar mustahkamligiga nisbatan jadalroq kamayadi va umumiy deformatsiyada kristallitaro deformatsiya ulushi oshadi. Bir vaqtda bu qatlamlarning mo'rtligi kamayadi, shunday ekan, ularda mikro darzlar hosil bo'lishi ham

kamayadi. Mikro darzlarning hosil bo'lish havfining kamayishi, ularni deformatsiyalash jarayonida «davolanib qolish» imkoniyati bilan ham tushuntiriladi. Ikki fazali qotishmalarni deformatsiyalash jarayonida «davolanib qolish» imkoniyatini tushuntirishda A.A.Bochvar tomonidan topilgan bir fazadagi kristallitlar atomlarini boshqa faza kristallitlariga to'satdan ro'y beradigan ko'chish hodisasi muhim ahamiyatga ega. Bu hodisani A.A.Bochvar plastik deformatsiyaning eritma-cho'ktirmali turi deb atadi. Atomlarning fazalararo ko'chishida mikroskopik darzlarni «davolanib qolishi» ro'y beradi, chunki metallni cho'kish mikro bo'shliqlarda oson sodir bo'ladi.

Temperatura o'sishi bilan atomlarning qo'zg'aluvchanligi oshgani uchun, mikrodarzlarni «davolanib qolishi» ham issiq deformatsiya temperaturalarida engil amalga oshadi.

1.10. Deformatsiya tezligining plastiklik va deformatsiyalashga qarshilikka ta'siri

Metallarning mexanik xossalarini odatdagi aniqlash sinov mashinalarida 10 mm/s dan oshmaydigan deformatsiya tezligi bilan o'tkaziladi. Presslarda va bolg'alash mashinalarida bosim bilan ishlash mashina ish organini taxminan 0,1 dan 0,5 m/s gacha oraliqdagi o'rtacha harakat tezligida olib boriladi. Katta bolg'a (molot)da ishlov berishdagi metallga ta'sir endi dinamik tabiatga ega: molot babasi tezliklari zarb paytida 5-10 m/s ni, bitta zarbadagi hamma deformatsiya jarayoni sekundning faqat yuzdan bir ulushigacha davom etadi. Shuning uchun, bosim bilan ishlash jarayonlarini tahlil qilish va loyihalashda, odatdagi sinovlar yo'li bilan olingan metallarning mexanik xossalari haqidagi ma'lumotlardan foydalanish mumkin ekanligini, boshqacha aytganda, deformatsiya tezligi plas-

tiklik va deformatsiyaga qarshilikka qanday ta'sir qilishini bilish juda muhim.

Avvaldan aytish mumkinki, ***deformatsiya tezligi oshganda deformatsiyaga qarshilik o'sadi, plastiklik esa kamayadi.***

Deformatsiya tezligi oshishi bilan ba'zi magniy qotishmalari, yuqori legirlangan po'lat va mis qotishmalarining plastikligi ayniqsa tez pasayadi.

Alyuminiy qotishmalari, kam legirlangan va uglerodli konstruksion po'latni deformatsiya tezligiga sezgirligi ancha kam. Bunday po'lat, issiq ishlov berishda barcha amalda qo'llaniladigan deformatsiyalash tezliklarida tamomila etarli plastiklikka egadir.

Bosim bilan sovuq holda ishlov berishdagi deformatsiya tezligini ta'siri issiq holdagidan ancha kam bo'ladi. Bu ta'sirning o'sish jadalligi kichik tezliklar diapazonida (mm/daq) katta va katta tezliklar diapazonida juda kichik bo'ladi.

Shunday bo'lsa ham keltirilgan ma'lumotlar aniqlashtirishni talab qiladi. Hammasidan avval ikkita muhim jihatni: issiq holda plastik deformatsiyalashda ikkita qarama-qarshi mustahkamlash va bo'shatuvchi jarayonlar borligi (qaytish va rekristallizatsiya) va plastik deformatsiyaning issiqlik ta'sirini hisobga olish kerak. Qaytish va rekristallizatsiya haqida ilgari aytilgan edi. Issiqlik ta'siri plastik deformatsiyaga sarflanayotgan energiya issiqlikka aylanishida namoyon bo'ladi. Issiqlik ta'siri boshqa teng sharoitlarda deformatsiya temperaturasi oshishi bilan kamayadi, chunki temperatura ko'tarilishi bilan deformatsiyaga qarshilik kamayadi va shu sababli deformatsiya uchun talab qilinadigan energiya kamayadi. Shuning uchun berilgan namunani sovuq va issiq holatda aynan bir xil deformatsiyalash natijasida, issiq holatda issiqlik kamroq ajraladi. Agar deformatsiya tezligi kichik bo'lsa, issiqlik tarqalib ketadi va jarayon deyarli izotermik holda o'tadi. Aksincha, katta deformatsiya tezliklarida ajralib chiqayotgan issiqlik jism temperaturasini oshiradi, boshqacha aytganda issiqlik ta'siri kuzatiladi.

Sovuq holda bosim bilan ishlov berishda bo'shatuvchi jarayonlar bo'lib o'tmaydi. Deformatsiyaga qarshilik mustahkamlanish natijasida deformatsiya darajasi bilan bog'liq o'sadi, qandaydir chegaralarda tezlikning o'zgarishi jarayon o'tishiga kam ta'sir qiladi. Sovuq holda bosim bilan ishlov berishning ayrim hollarida esa katta deformatsiya tezliklarida temperaturaning ta'siri natijasida qaytish hodisasi kelib chiqishi mumkin, pastroq tezlikda bo'lganiga qaraganda deformatsiyalashga qarshilik kichik, plastiklik esa katta bo'lib qoladi.

1-jadval. ***W tezlik koeffitsientining qiymatlari***
(S.I.Gubkin bo'yicha)

	Ishlov berish temperaturasi, °S		
Mashinaning ishchi organi tezligi, sm/sek	0,5T _{er} dan kam	0,5T _{er} dan yuqori to'liqmas issiq deformatsiyada	0,5T _{er} dan yuqori issiq deformatsiyada
10 – 25	1,1	1,4-2,4	1,2-1,6
25 – 75	1,15	2,4-3,0	1,6-2,0
100 dan katta	1,25	3,5	2,5
Zarbli ta'sir	1,5-2,0	5,0	4,0

Eslatma. T_{er} - mutlaq erish temperaturasi.

Issiq deformatsiyada rekristallizatsiya jarayoni ro'y beradi. Deformatsiya tezligi qancha yuqori bo'lsa, rekristallizatsiya tezligi shuncha kam, deformatsiyaga qarshilik qancha katta bo'lsa, plastiklik shuncha kam bo'ladi. Ilgari aytilganidek, issiq holda ishlov berishda deformatsiya tezligini oshishi rekristallizatsiya jarayonini qiyin-

lashtiradi, issiq holda ishlov berishdagi deformatsiyaga qarshilik va plastiklikka keskin ta'sir ko'rsatadi.

Past qizdirish temperaturalarida po'lat va normal temperatura oralig'ida bolg'alashda magniy qotishmalari juda kichik rekristallizatsiya tezligiga ega bo'ladi. Shuning uchun deformatsiya tezligini oshirish ishlov berish xarakterini o'zgartirishi mumkin: u issiqdan to'liqmas issiqqa aylanadi, bu bir vaqtda deformatsiyaga qarshi-likni o'sishi bilan, plastiklikni birdan o'zgarishini keltirib chiqaradi.

Agar ishlov berish mo'rtlik sohasiga yaqin temperaturalarda o'tkazilayotgan bo'lsa, deformatsiya tezligini o'zgarishi boshqacha ta'sir ko'rsatishi mumkin. Masalan, texnik toza temir (armko-temir) $825-1100^{\circ}$ temperatura oralig'ida mo'rtlik sohasiga ega. Agar uni 825° ga yaqin temperaturada katta deformatsiya tezligi bilan bolg'alansa, deformatsiyaning temperatura ta'siri natijasida metall mo'rtlik sohasiga tushib qoladi. Xuddi shunday temperatura ta'siri 1100° ga yaqin temperaturada metallni mo'rtlik sohasidan olib chiqishi mumkin.

Uzoq muddatli yuklamalar ta'siri ostida, oqish chegarasidan kichik bo'lgan kuchlanishlarda plastik deformatsiya ro'y berishi mumkin. Bu relaksatsiya hodisasi bilan bog'liq bo'lib, uning ta'rifini Maksvell bergan:

«Har qanday jism, uning tabiatidan qat'iy nazar, vaqt o'tishi bilan unga ta'sir qilayotgan kuchlarga qarshilik qilish qobiliyatini yo'qotadi».

2-jadval. ***Uzoq muddatli yuklanish ta'siri***
(Material - jez, $\sigma_v=51,5 \text{ kg/mm}^2$, $\sigma_s=36,5 \text{ kg/mm}^2$,
 $\sigma_{up}=16,5 \text{ kg/mm}^2$, $\delta=14\%$)

Sinovda berilgan kuchlanish, kg/mm^2	40	30-35	25	20	16
---	----	-------	----	----	----

Namunani uzish-gacha o'tgan vaqt, kunlar	1	25	45	42	110
--	---	----	----	----	-----

3-jadval. *Uglerodli po'latni yoyiluvchanligi*

Sinov temperaturasi, °S					Yoyiluvchanlik tezligi, %/soat
400	450	500	550	600	
t sinovdagi oquvchanlik chegarasi, kg/mm ²					
42,5	36,2	30	23,2	16,2	
Sinovda berilgan kuchlanish, kg/mm ²					
4	2,5	1,4	0,8	0,5	10 ⁻⁶
7,3	4,6	2,5	1,4	0,8	10 ⁻⁵
11	6,6	3,8	2,2	1,3	10 ⁻⁴
15,2	9,8	5,5	2,8	1,6	10 ⁻³

Oqish chegarasidan kichikroq kuchlanish keltirib chiqaradigan uzoq muddatli yuklama, hatto normal temperaturada keyingi buzilishgacha qadar deformatsiyani asta-sekin ko'payishini keltirib chiqarishi mumkin. Bu hodisa ba'zi rangli metallarda, masalan, jezda ayniqsa yaqqol ifodalanishini 2-jadvaldan ko'rish mumkin.

Oshirilgan temperaturalarda plastik deformatsiyaning rivojlanishi oqish chegarasidan ancha kichik bo'lgan kuchlanishlarda kuzatiladi. Bu hodisa yoyiluvchanlik (polzuchest) nomini olgan.