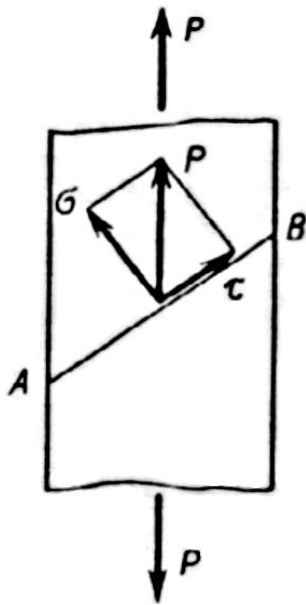


ДЕФОРМАЦИЯ ЖӘНЕ МЕТАЛДЫҢ ҚИРАУЫ

5.1 Кернеу түрлері

Түскен күштің әсерінен дененің мөлшері мен сырт пішінінің өзгеруі деформация деп аталады. Деформацияның тууына денеге түскен күштер немесе сол дененің бойында өтетін әртүрлі физикалық-механикалық процестер себепкер (мысалы, фазалық өзгеру процесінде кристалдың көлемінің өзгеруі).



23-сурет. Металға түскен күштен туған нормальды (σ) және жанама (τ) кернеулер.



24-сурет. Кернеу мен деформацияның тәуелділік диаграммасы.

23 - суретте p кернеуін туғызған P созу күші көрсетілген. Денеге түскен күш оның ауданына үнемі перпендикуляр болмайды, қандай да болсын бір бұрыштың бағытымен әсер етеді. Сол себепті денеде нормальды σ (AB қимасына \perp) және жанама τ (AB қимасының бойымен) кернеулер туады.

Нормальды кернеу созылымды (оң) және сығылымды (теріс) болып ажыратылады.

Кернеудің тууына әр түрлі себептер болуы мүмкін. Сырттан түскен күштің әсерінен немесе түскен күштің әсерінсіз дененің ішінде туып, сол ортада қалыптасатын ішкі қалдық кернеулер, уақытша кернеулер болып ажыратылады. Ішкі қалдық кернеулер металды қыздырып немесе суыту процесінде оның беткі қабаты мен ішкі қабатының керіліп немесе

сығылуының біртекті болмауынан туады. Мұндай кернеулер жылулық немесе термиялық деп аталады. Кристалдану процесінде, әртекті деформациялауда, термиялық өңдеу процесінде фазалардың өзгеруі материал көлемінде бірқалыпты өтпеуінен туындайтын кернеулер фазалық немесе құрылымдық кернеу деп аталады.

Түскен күштің әсерінен туған кернеулерді 24 - суреттегі диаграмманың көмегімен қарастыралық. OA учаскесі деформацияның кернеуге пропорциональды тәуелділігін көрсетеді.

Нормальды σ және жанама τ кернеулердің өсуі әр түрлі нәтиже береді. Нормальды кернеудің өсуі материалды морт сындырып, жанама кернеу пластикалық деформация тудырады. Деформацияның туу жолын 24-суреттен бақылауға болады.

Диаграммадағы OA және AB учаскелерін бөлек қарастыралық. OA учаскесі деформацияның кернеуге пропорциональды тәуелділігін көрсетеді. Мұндай тәуелділіктің сақталуы кернеудің пропорциональ шегі аталынып, $\sigma_{mц}$ арқылы белгіленеді. AB учаскесінде мұндай тәуелділік сақталынбайды.

B нүктесінде деформация тоқтап, материал қирайды. Материалдың қирағанға дейінгі қарсылық көрсетер ең үлкен кернеу күші материалдың беріктік шегі аталынып, σ_b арқылы белгіленеді. Демек, OA және AB учаскелеріне түскен кернеу күші бірдей емес деп болжауға болады.

5.2 Серпімді және пластикалық деформация

Егер $\sigma < \sigma_{mц}$ кернеу күшін тудырған кшті кері алып тастаса, онда материалда қалдық деформация байқалмайды. Мұндай деформация серпімді деформация деп аталады. Серпімді деформация кристалдық тор атомдарының арақашықтығының өзгеруінен туады, металдың құрылымына, қасиетіне елеулі өзгеріс енгізбейді. Материалды созғанда алыстап, қысқанда жақындайды. Бірақ атомаралық арақашықтық өте кішкене болғандықтан, күштің әсері тоқтағанда бастапқы қалпына оралады. Атомдардың бұлай орын ауыстыруы электростатикалық тебіну және тартылу күшінің тепе-теңдік күйін бұзады, сол себепті түскен күш қайтарылғанда тартылу немесе тебілу күштерінің әсерінен атомдар бастапқы орындарына қайтып, формасы өзгерген кристалдар қалпына түседі.

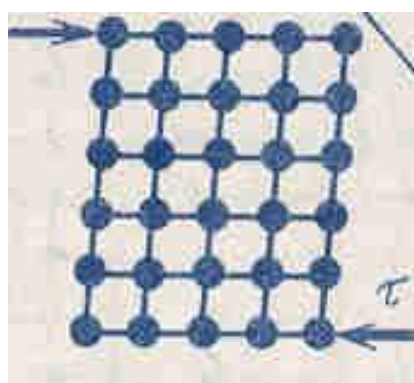
Егер σ_1 / σ_b кернеу күшіне әсерлі күш тоқтатылса, оның құрамындағы серпімді деформация жойылып, қалдық (пластикалық) деформация сақталады. Пластикалық деформация туындаған металдың құрылымы кері айналмайтындай өзгереді, қасиеті бірге өзгереді. Мұндай деформация қалдық немесе пластикалық деформация деп аталынады. Серпімді және пластикалық деформациялардың жүру механизмі бір-біріне ұқсамайды, әртүрлі жолмен жүреді.

5.3 Пластикалық деформацияның жүру механизмі

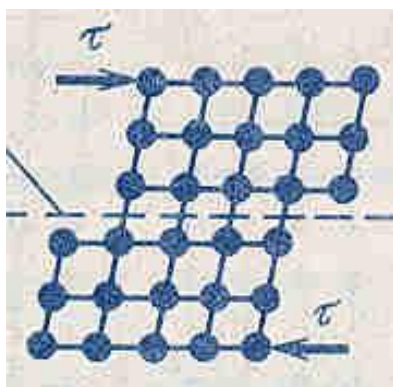
Жанама кернеудің белгілеген шамадан асып ұлғаюының нәтижесінде деформацияның қайтуына мүмкіншілік тумады. Түскен күш тоқтағанда тек қана серпімді деформация жойылады да, пластикалық (қалдық) деформация сақталып қалады. Пластикалық деформацияланған металдың құрылымы, қасиеті бастапқы қалпына қайтпайтындай болып өзгереді. Пластикалық деформация сырғып немесе қосарланып жүреді. Жанама кернеу туындаған кубтық құрылымы бар металдың серпімді және пластикалық деформация сұлбалары төмендегі 25- суретте көрсетілген.



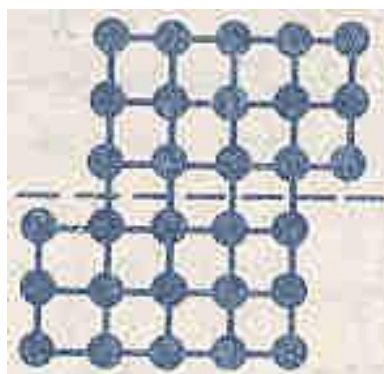
а)



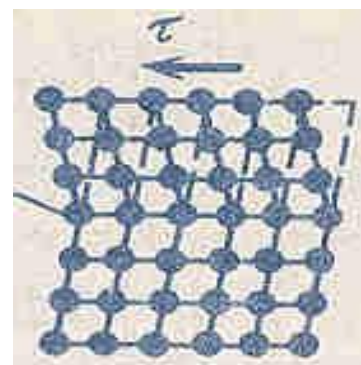
б)



в)



г)



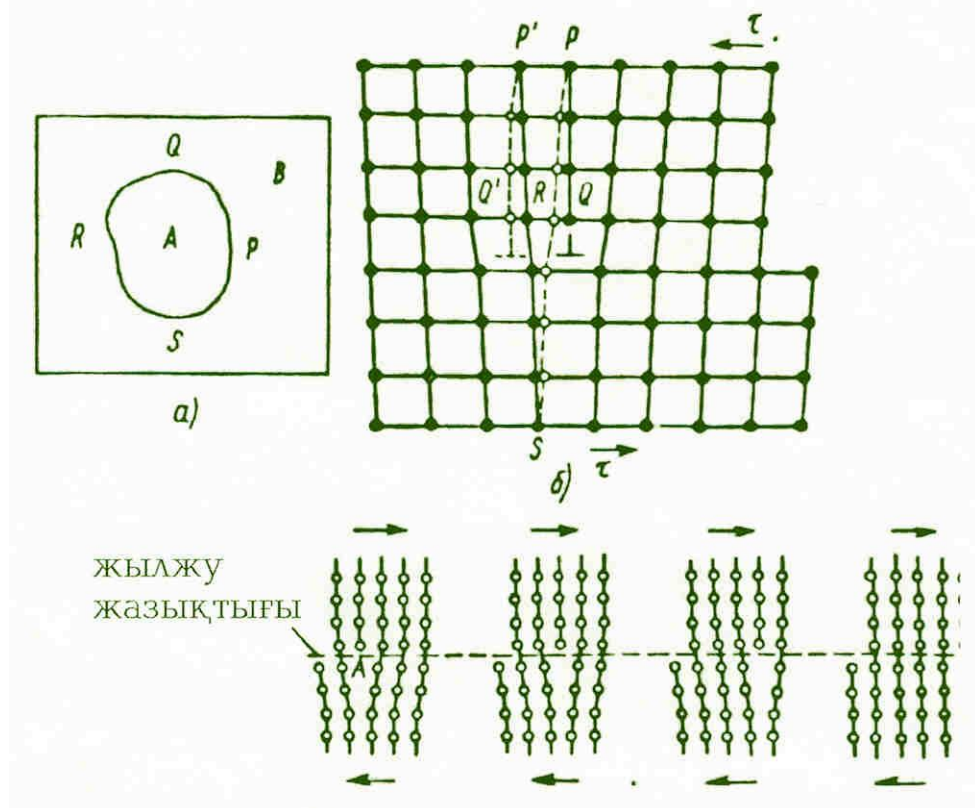
д)

25- сурет. Жанама кедергісінен туындаған серпімді және пластикалық деформациялар сұлбасы.

Кристалдық тордағы сырғу атомдардың ең тығыз орналасқан, орын ауыстыруға кедергісі аз жазықтықтарының және бағыттарының бойымен жүреді. Себебі көрші атомдар жазықтықтарының арақашықтығы үлкен болғандықтан, аралық байланыстары төмен келеді. Бұл жазықтықта жақын сырғу жазықтығы мен сырғу бағыттары сырғу жүйесін құрайды. Металдарда бір немесе бірнеше сырғу жүйесі болуы мүмкін. Сырғу жүйелері

кристалдық тор типтеріне қарай қалыптасады. Кубтық кристалдық тордан тұратын металдың созымталдығы жоғары, себебі ондағы сырғу көптеген бағытта жүреді. БЦК құрылымды металдардың созымталдығы төмен, сол себепті мұндай металдарды штамптау, қысып өңдеу, басқа түрде деформациялау өте ауыр түседі. Кристалл торындағы атомдар жазықтықтарының орын ауыстыруына байланысты кристалдың бір бөлігі өзара ығысып сырғиды.

БЦК торынан тұратын металдарда Fe γ , Cu, Al т.б. сырғу октаэдр (111) жазықтығы бойымен және кубтың қабырғаларындағы диагональдар бағытында жүреді; ал КЦК торынан тұратын металдарда Fe α , Mo, V т.б. сырғу (110), (112) және (123) жазықтықтары бойынша кубтың кеңістіктегі диагоналі бағытында [111] (6 - сурет) жүреді; гексагональды тығыз торынан тұратын Mg, Zn, Be, т.б. сырғу базис жазықтықтары бойында жүреді. Кубтық кристалдық тордан тұратын (КЦК және БЦК) металдардың созымталдығы жоғары, себебі мұндағы сырғу бірнеше көптеген бағыттарда жүреді. Гексагональды тығыз торынан тұратын металдардың созымталдығы төмендігінен илемдеуге, қалыптауға жарамайды. Сырғу процесін кристалдың бір жақ бөлігі түгелдей екінші бөлігінен бөлініп орын ауыстырады деп түсінуге болмайды. Онда деформация процесі жүру үшін бұдан жүздеген, тіпті мыңдаған есе артық күш қажет болар еді.



а) контур (жылжу жазықтығындағы PQRS дислокациялары сызығы)
 б) дислокацияның орын ауыстыру этаптары мен олардың беттік қабатқа шығуы; τ - жылжу кернеуі; в) кристалл бойындағы жылжу жазықтығы.

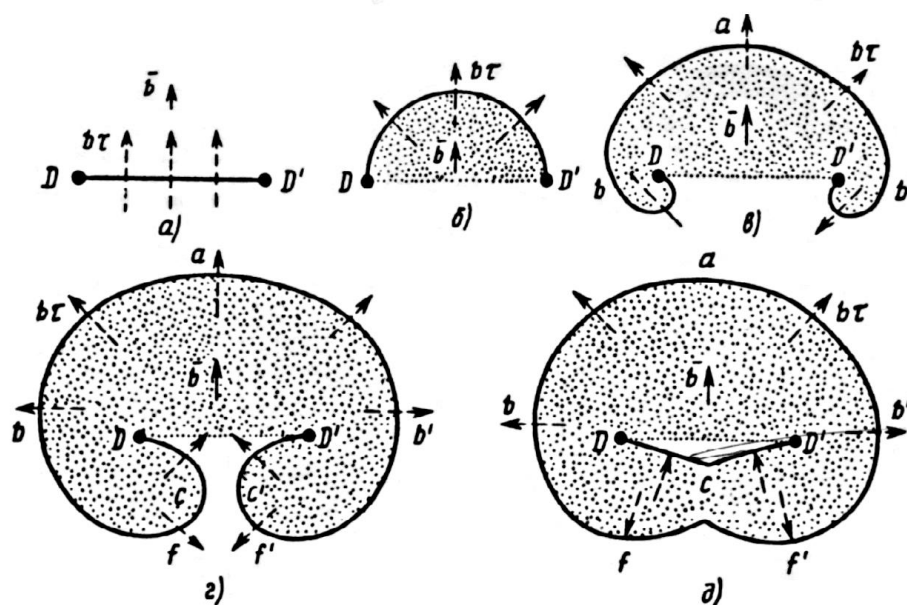
Сырғу негізіне кристалдағы дислокациялардың орын ауыстыруы жатады (26-сурет).

26-суреттегі сырғу жазықтығын екі бөлшектен тұрады деп қарастыралық. В учаскесінде сырғу аяқталып, А учаскесіндегі сырғу әлі жүрмеген. PQRS сызығы аяқталмаған жылжудың шекарасы дислокация саналатын кристалл торының бұзылуы ретінде қаралады. Жылжу кристалдағы дислокациялардың орын ауыстыру нәтижесінде жүреді (26,б-суреті). Суретте түскен күштің әсерінен бұзылған кристалл торының көлденең кесіндісі бейнеленген. Жылжу, тордың қираған жерінен басталады да, ығысу жазықтығының бойымен тұтас емес, біртіндеп тарайды. Жылжудың тууы дислокацияның қозғалып ауысуына тікелей байланысты. QR- қалдық деформация τ кернеуінің әсерінен PQ дислокациясы орнынан қозғалып ығысады да, жылжу әрі қарай тарайды. А дислокациясы (26,б - сурет) экстражазықтықпен бірге оңға ығысып шығып қалады. Кристалдың үстіңгі бөлігі астыңғы бөлігіне қарағанда бір тор периодына ауысады.

Атомдар тек сызбада көрсетілген жазықтықта ғана жылжымайды, атомдардың осы жазықтыққа параллель барлық қабаттарында жылжиды. Дислокациялар бір жазықтықтан басқа жазықтыққа ауысуы да мүмкін. Мұндай ауысулар атомдар қабатының диффузия арқылы қосылуы немесе азаюында іске асады.

Дислокацияның сырғу жазықтығындағы тұтас кристалл арқылы орын ауыстыруына сол кристалдың бір бөлшегінің бір жазықтық аралығындағы ара қашықтығына жылжуына әкеліп соғады (26-сурет), ал кристалдың бетінде саты пайда болады.

ДД' нүктесінде бекітілген дислокацияны орын ауыстыруға мәжбүр етеді.



27- сурет. Франк-Ридтің дислокациялық көзінің жұмыс істеу сұлбасы.

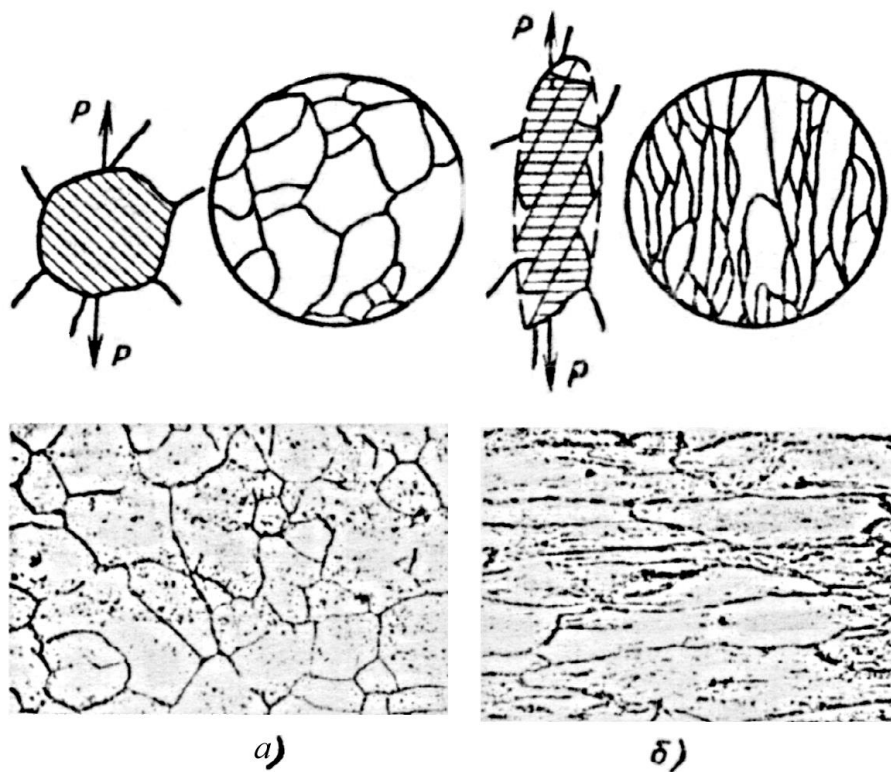
Дислокацияның деформация кезінде пайда болуын бір уақытта Франк және Рид атты ғалымдар дәлелдеген. Деформацияның ұлғаюы кернеу туған дислокациялар санына және олардың өсіп, көбеюіне тікелей байланысты.

Дислокацияның пайда болу механизмі Франк-Рид тәсілі бойынша 27- суретте көрсетілген. Жанама (τ) кернеуінен туындаған дислокация сызығы біртіндеп ұлғайып, бара-бара шеңбер болып қабысады. Оралманың екі ұшы бірігіп, ДД' дислокациясы қайта туады. Кернеудің әсерінен осылай туған дислокация қайталанып отырады.

Егер σ кернеуінің әсері тоқтамаса, бір дислокация көзінен жүздеген дислокация туындауы мүмкін. Мұндай көздер жолында түйіршіктің шекарасы, артылған фаза бөлшектері сияқты кедергілер кездескенде ғана жабылады.

Қосарлану. Атомдары тығыз орналасқан кристалдық торларда пластикалық деформация қосарланып та жүруі мүмкін (25- сурет). Қосарлану деформациясы кристалдың бір бөлігінің сырғуы екінші бөлігіне симметриялы кері бағытта жүруімен сипатталады.

Сырғумен салыстырғанда қосарланудың мағынасы төмен. КЦҚ және БЦҚ торларында қосарлану деформациялау дәрежесі аса үлкен болса және төмен температурада ғана кездеседі.



а) деформацияға дейінгі металдың микроқұрылымы мен сұлбасы;
б) деформацияланған металдың микроқұрылымы мен сұлбасы.

28- сурет. Жылжудың әсерінен темір түйіршіктерінің формаларының өзгеруі.

Көп кристалды пластикалық деформация. Көп кристалды металдың пластикалық деформациялануы дара кристалдардың деформациялануына ұқсас сырғып және қосарланып жүреді. Қысыммен өңделген металдың формасының өзгеруі әрбір дара түйіршіктің пластикалық деформациялануының нәтижесі. Әрбір дара түйіршіктің жылжу жазықтығы мен бағыттары әр түрлі

Деформацияланғаннан кейінгі және зерттеуге дайындалған үлгілерді микроскоптан қарағанда бір түйіршіктің бойындағы жылжу іздері бір бағытта орналасқан түзу сызықтар ретінде байқалады. Деформация үлкейген сайын түйіршіктер бастапқы пішінін өзгертеді. Деформацияға дейінгі түйіршіктің пішіні домаланып келсе (28- сурет), деформациядан кейінгі түйіршіктер күштің (P) түскен бағытына қарай созылып, талшықты немесе қабатты құрылымға айналады (28,б- сурет). Түйіршіктің жалпы пішінінің өзгеруімен қатар оны құраушы ұсақ түйіршік бөлшектерінің орналасу бағыты өзгеріп, бір- бірінің арасындағы бұрыштары үлкейеді.

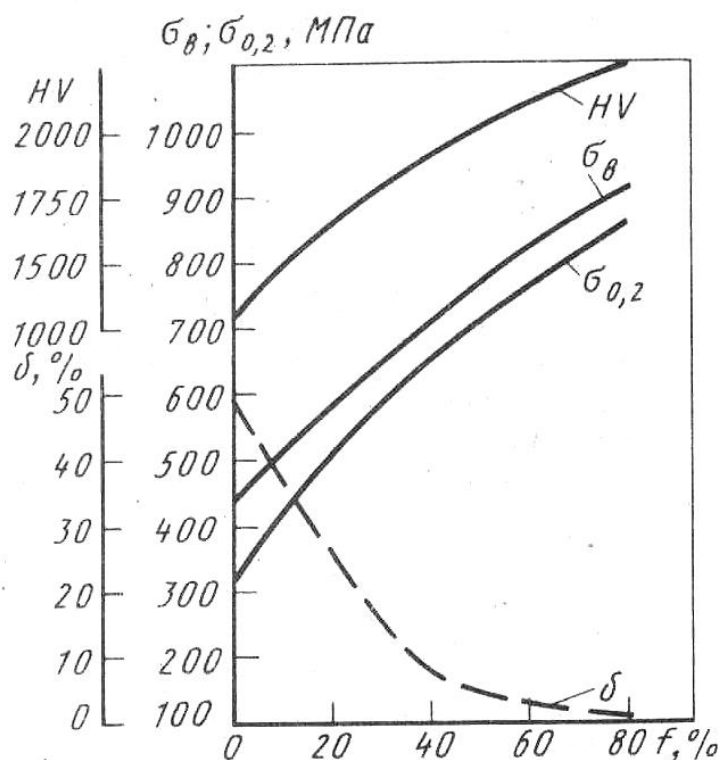
Деформациялау дәрежесінің өсуімен қоса түйіршіктегі кристалдық жазықтықтардың орны мен бағыттары сәйкес қалыптаса бастайды. Кристаллиттердің сырттан түскен деформациялық күштің әсеріне ыңғайлы бағытта орналасуы *текстура* деп аталады. Деформация дәрежесі үлкейген сайын кристалл түйіршіктерінің текстураға айналған бөлшектерінің саны көбейеді. Кристалдық текстура мен құрылымдағы талшықтық бірдей деп түсінуге болмайды. Құрылымдағы талшықтық текстурадан бөлек құрылуы мүмкін.

Текстура металдың механикалық және физикалық қасиеттерінде анизотропияның туындауына әсерін тигізеді.

5.4 Көп кристалды металдың беріктігін деформация арқылы нығайту

Суықтай деформациялау дәрежесі артқан сайын металдың деформацияға қарсылық көрсетер қасиеттері σ_b , $\sigma_{0.2}$, HV т.б. көтеріледі де, пластикалық деформациялану (созымталдық) қабілеті δ төмендейді (29- сурет). Мұндай құбылыс *тойтару* деп аталынады. Пластикалық деформация салдарынан металл беріктігінің нығаюы кристалдың құрылысындағы ақаулар (дислокация, бос орын, атомаралық ақау) санының көбеюімен түсіндіріледі. Ақаулардың аса тығыздығы жаңа дислокациялардың жүруіне кедергі туғызып, металдың деформацияға қарсылық көрсетер қабілетін көтереді, созымталдығын төмендетеді. Әсіресе бір-бірімен өзара байланыста болатын дислокациялардың тығыздығының артуы олардың әрі қарай қозғалысына кедергі туғызады. БЦК торлы металдың беріктігі КЦК торлы металдан жоғары болады.

Салқын деформацияның салдарынан металдың тығыздығы, тотқа шалдықпау қабілеті төмендеп, электркедергілігі көтеріледі.



29-сурет. Мыс қорытпасының (қоланың) беріктік және созымталдық қасиеттеріне пластикалық деформация дәрежесінің әсері.

5.5 Металдың қирауы

Қирау металл материалдарының бөлшектерге бөлінуіне себепкер жарықшалардың туындауынан және оның ары қарай даму процестерінен тұрады. Қирау морт және тұтқыр болуы мүмкін. Микрожарықшалардың туындауына түйіршіктер, фазалар шекарасы, әртүрлі кірмелер сияқты кедергілердің бойында дислокациялардың жинақталуы себепкер. Дислокациялардың әсерінен пайда болған экстражазықтықтар бір-бірімен қосылып, оның астында жарықшалардың туындылары пайда болады. Бір металдың өзі тұтқыр және морт сынуы мүмкін. Жарықшаның туындауынан кейін оның дамуына күш жұмсалса, ондай сыну тұтқыр деп аталады. Егер жарықшаның туындауы бірден оның қирауына әкеліп соқса, ондай сыну морт деп аталады.

Металл материалдарының сынуы көптеген факторларға: қорытпаның химиялық құрамына, түйіршіктердің мөлшеріне, күштің түсу шартына, температураға байланысты болады. Мысалы, морт сынуда деформацияның

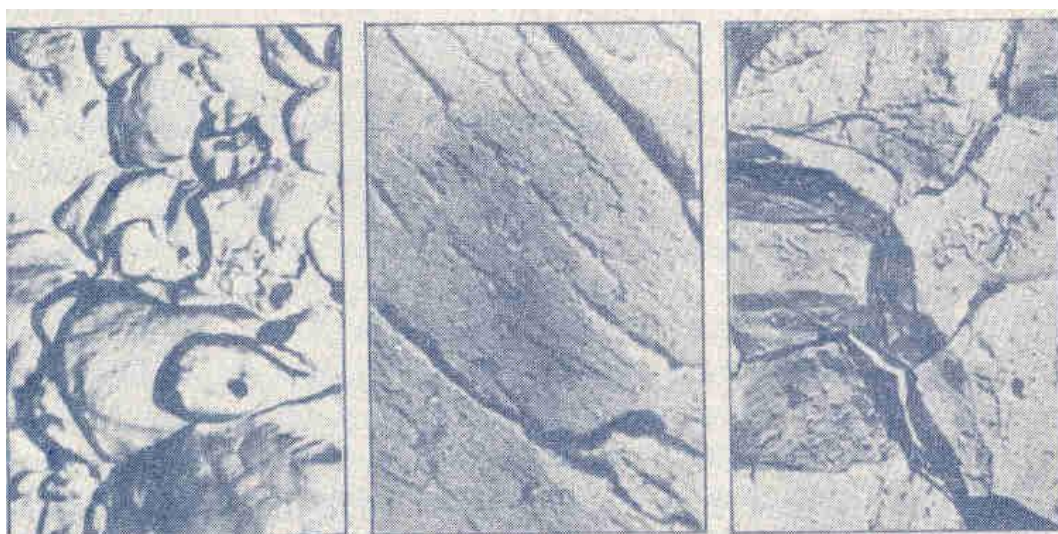
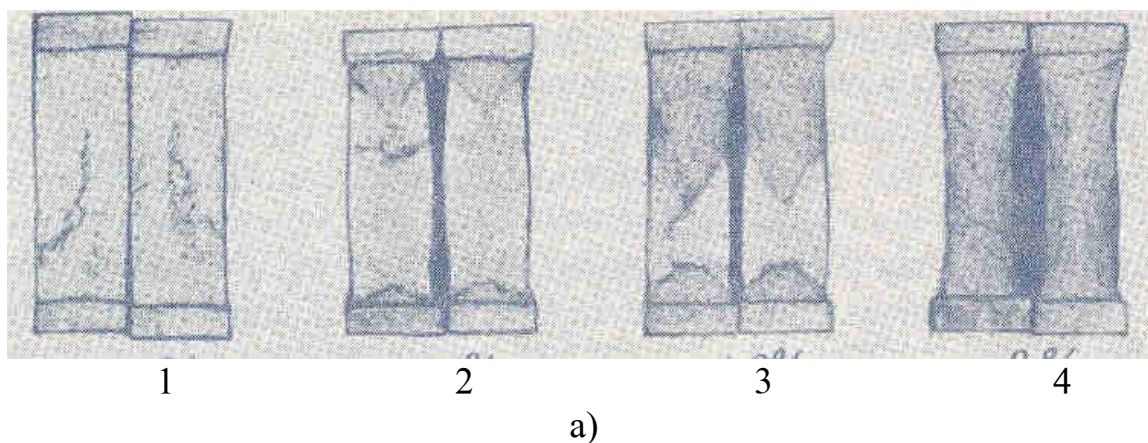
жүру жылдамдығы көтеріңкі, кернеулік концентрациялар саны көп, бұйым өлшемдері ірі болулары керек.

Қираудың түрі сынық бетінен анықталады. Тұтқыр сынған бет талшықты, күңгірт болса, морт сынған бет жылтыр, түйіршіктері біркелкі жазық орналасады. 30- суретте 1- морт (жарық) сынық, металдың беті біркелкі жазық және жылтыр; 2- талшықты (күңгірт) сынық, металдың беті кедір-бұдыр талшықты.

Электронды микроскоп арқылы зерттелген сынықтың жұқа кұрылымын 30,б - суреттен көруге болады.

Көптеген металдар температураның өзгеруіне байланысты тұтқыр сынудан морт сынуға ауысады.

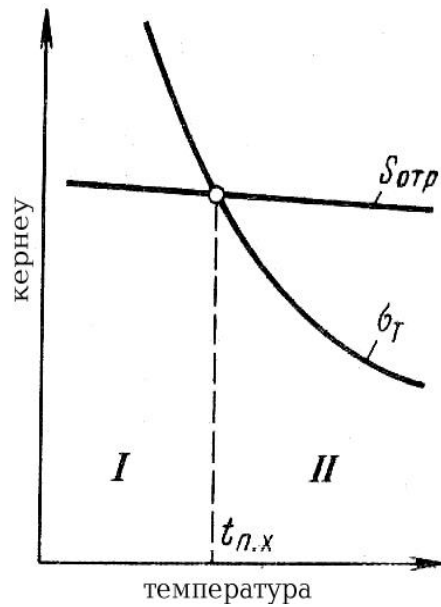
Тұтқыр сынудың морт сынуға ауысу температурасы суыққа сынғыштық табалдырығы $t_{п.х.}$ деп аталады.



б)

а) сынық түрлері: 1- морт; 2 – 3 – аралас; 4 – тұтқыр. б) микрофрактограммалар (солдан оңға қарай) тұтқыр, морт, интеркристалды морт сынық (x5000).

30 – сурет. Болат сынықтары.



31-сурет. Температураға байланысты болаттың морт (I) және тұтқыр (II) сыну графигі.

31-суреттегі графикте металдың қирауға қарсылығы $S_{отр}$ (отрыв), аққыштық шегінен туындаған кернеуден төменде болатыны көрсетілген. $S_{отр}$ мен σ_T қиылысқан нүктесі металдың тұтқыр күйінен морт сынуға ауысу температурасына сәйкес. Деформация жылдамдығы артқан сайын металдың морт сыну қабілеті жоғарылайды.

