

Лекция-8. Сызықтық ақаулар. Қарапайым дислокациялар және олардың жиынтығының конфигурациялары

Кристалдық материалдардың механикалық қасиеттерін, әсіресе олардың пластикалық деформациясын түсіндіру үшін дислокация теориясы қолданылады. Дислокация – бұл кристал торындағы сызықтық ақау, ол атомдардың идеалды орналасуының бұзылуынан пайда болады. Дислокациялар материалдардың беріктігін, пластикалығын, қаттылығын және қирау механизмдерін анықтайтын негізгі факторлардың бірі.

1. Қарапайым дислокациялар түрлері

Кристалл құрылымында негізгі екі типті дислокация болады:

1.1. Шеттік дислокация

Шеттік дислокация қосымша жарты жазықтықтың кристалға енгізілуімен сипатталады.

Дислокация сызығы қосымша жарты жазықтықтың ұшымен сәйкес келеді.

Шеттік дислокацияда атомдардың ығысуы көлденең бағытта жүреді.

Мысалы: Егер кристалға бір атомдық жазықтық енгізілсе, ол дислокация аймағында тор бұрмалануларына әкеледі.

1.2. Винттік дислокация

Винттік дислокация Burgers векторы дислокация сызығына параллель болғанда пайда болады.

Бұл дислокация кезінде атом жазықтықтары винт сияқты бұралып орналасады.

Винттік дислокация кристалдың сырғанауының (slip) негізгі механизмі ретінде қарастырылады.

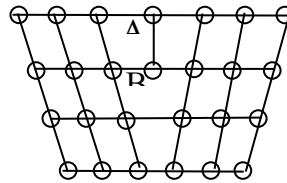
1.3. Аралас дислокация

Шынайы кристалдарда таза шеттік немесе таза винттік дислокациялар сирек кездеседі.

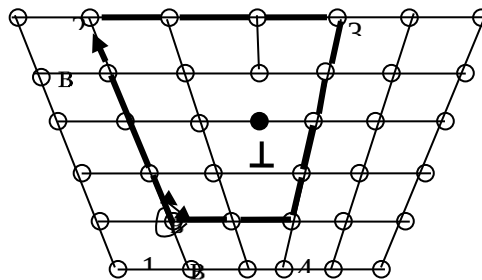
Көп жағдайда дислокация сызығының бір бөлігінде шеттік, ал екінші бөлігінде винттік сипат байқалады.

Мұндай дислокациялар аралас деп аталады.

Дислокациялар нүктелік ақаулармен бірге кристалдық қатты денелердегі ақаулардың жиі кездесетін түрлерін білдіреді. Дегенмен, нүктелік ақаулардан айырмашылығы, олар әртүрлі. Демек, дислокациялардың қасиеттері және олардың бір-бірімен және басқа типтегі ақаулармен әрекеттесу сипаты күрделі және алуан. Алдымен ең қарапайым дислокацияларды қарастырайық. Идеал кубтық кристалына қосымша ABCD жазықтықтың жартысын енгізген.



Суреттегідей ең күрделі тордың бұрмалануы осы жарты жазықтықтың ВС шетіне жақын жерде болады. Дәл осы аймақ *дислокация* болып табылады – бұл жағдайда ол *шеткі дислокация* деп аталады. ВС дислокация сызығы тік, яғни дислокация түзу сызықты.



Бірлік вектор дислокация сызығының кристаллографиялық бағытын анықтайды (бірлік, себебі оның ұзындығы бір жазықаралық ұзындыққа тең). Ол Бюргерс векторы деп аталады. Ол дислокация сызығының айналасында сызылған Бюргерс контурын жабады. Дислокацияның болуы оның орналасқан сызық бойында кристалдық тордың қатты шиеленісін тудырады. *Шеткі* дислокациясының негізгі сипаты онымен байланысты Бюргерс векторының оның сызығына перпендикуляр болады. Егер Бюргерс векторы мен дислокация сызығы параллель болса, онда мұндай дислокация *бұрандалы* дислокация деп аталады. Көп жағдайда Бюргерс векторы дислокация сызықтарымен 0° және 90° аралығында бұрыш құрайды. Мұндай дислокациялар *аралас* деп аталады.

2. Дислокациялардың өзара әсерлесуі

Кристалда дислокациялар бір-бірімен әрекеттесіп, күрделі конфигурациялар түзе алады:

2.1. Дислокациялар тоғысуы

Екі немесе бірнеше дислокация өзара жақындағанда, олардың кернеу өрістері әсерлесіп, жаңа конфигурациялар пайда болады.

2.2. Дислокациялық ілгектер (dislocation loops)

Жабық дислокация сызықтары пайда болуы мүмкін.

Олар сәулелену немесе пластикалық деформация кезінде түзіледі.

2.3. Дислокацияның түйіндесуі (junctions)

Өртүрлі дислокациялар тоғысып, түйін түзеді.

Мұндай түйіндер материалдың беріктігін арттырады, себебі дислокация қозғалысын тежейді.

2.4. Дислокациялық торлар (dislocation networks)

Жиі қайталанатын деформация нәтижесінде дислокациялар бір-бірімен қиылысып, тор түзеді. Бұл құбылыс қатты деформацияланған металдарда жиі кездеседі.

Студенттерге сұрақтар

Шеттік және винттік дислокацияның Burgers векторы қалай бағытталған?

Дислокациялық ілгектер қандай жағдайда түзіледі?

Дислокациялық нығаю құбылысының физикалық мәнін түсіндіріңіз.

Сәулелену кезінде дислокациялар қандай жаңа конфигурациялар түзеді?

Ұсынылатын әдебиеттер

Мукашев К.М., Мархабаева А.А. Яр Мухамедова Г.Ш. Радиационное материаловедение. Алматы. Қазақ университеті. 2016 ж;

Асабина Е.А. Дефекты в твердых телах и их влияние на свойства функциональных материалов. Новгород, 2012;

Углов В.В. Радиационные эффекты в твердых телах. 2011;

2.Кирсанов В.В., Суворов А.Л., Трушин Ю.В. Процессы радиационного дефектообразования в металлах. - М.: Энергоатомиздат, 2003. -272 с;

3.Ахизер И.А., Давыдов Л.Н. Введение в теоретическую радиационную физику металлов и сплавов. - Киев: Наукова Думка, 2001. - 142 ;



Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті
Факультет: физика-техникалық
Қатты дене және бейсызық физика кафедрасы

**Сызықтық ақаулар. Қарапайым
дислокациялар және олардың жиынтығының
конфигурациялары**

Мархабаева А.А

Сызықты ақаулар

- Сызықтық ақауларға дислокациялар, микрожарықтар, нүктелік ақаулар тізбегі түріндегі тұрақсыз түзілімдер жатады.
- Дислокациялар кристалдардың пластикалық деформациясы кезінде және оларды одан әрі механикалық өңдеу кезінде пайда болады.
- Дислокацияның негізгі түрлері жиек және бұрандалы болып табылады

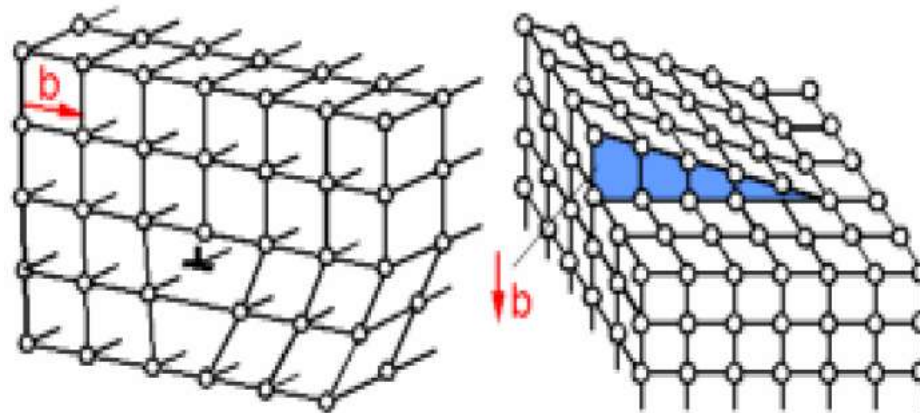
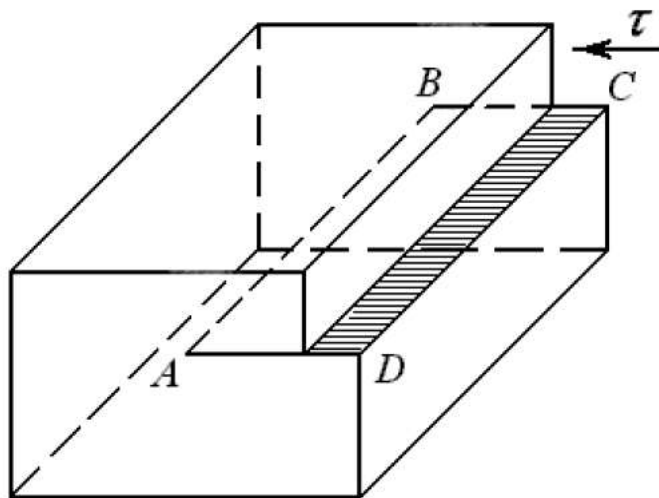


Рис. 4. Краевые (а) и винтовые (б) дислокации

Сызықты ақаулар

- Жиекті дислокациялар – толық емес атомдық жазықтықтың шекаралары. Мұндай дислокация ортасында тор параметрі өзгерген қашықтықтардың тұратын жазықтық болады. Бұрандалы дислокацияны түсіну үшін төмендегі параллелепипедті қарастыруға болады, оның жоғарғы бөлігі төменгі бөлікке қатысты атомаралық қашықтыққа ығысқан. Бұл жағдайда ығысу сырғанау жазықтығының бір бөлігін ғана жауып тұр. Мұнда ABCD – ығысу болған сырғанау жазықтығының кесіндісі, AB – осы қиманың шекарасы.



- Дислокации теориясын қарастыру кезінде **Бюргерс контуры** және *Бюргерс векторы* ұғымдары жиі қолданылады. Бюргерс контуры - бұл бұрмаланбаған материал аймағындағы кристалда сызылған және сызықтық тор ақауын қамтитын жабық контур.
- А суретте идеал кристалдағы Бюргерс контуры көрсетілген, Б суретте дислокациясы бар тордағы контур.

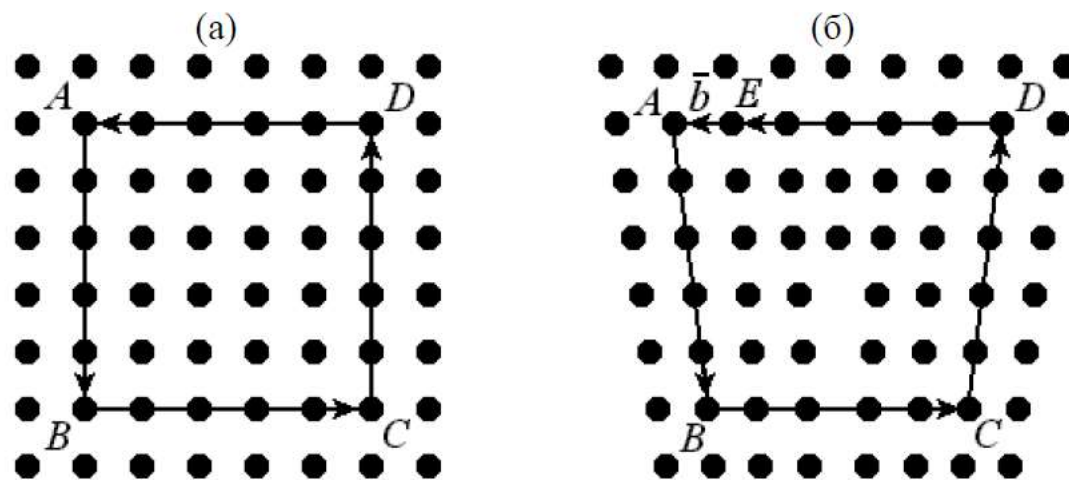
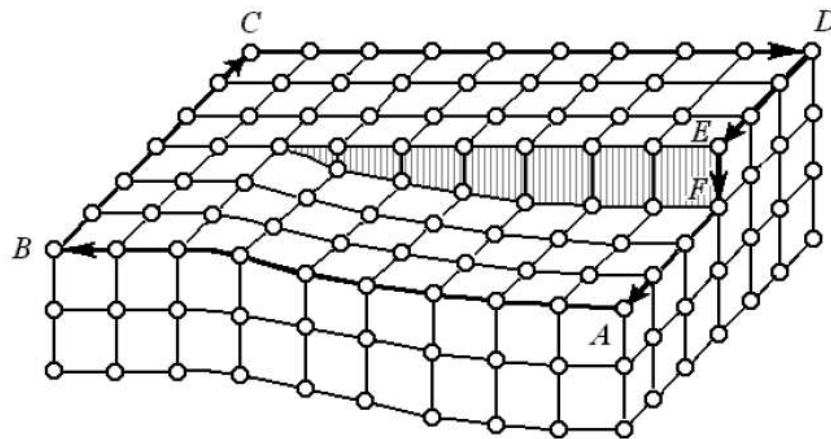


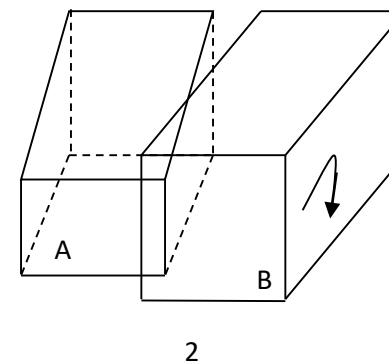
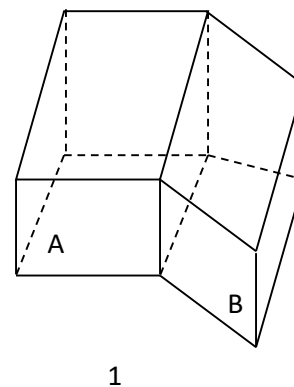
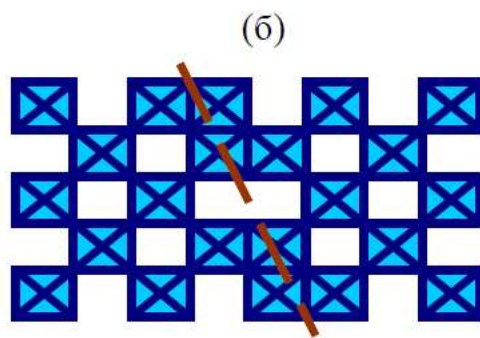
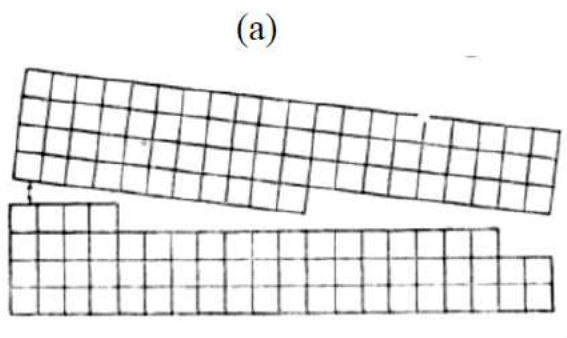
Рис. 6. Контур Бюргерса в совершенном кристалле (а) и кристалле, имеющем линейный дефект (б)

- Суретте көріп тұрғандай бұрандалы дислокация Бюргерс контурын салу үшін, тірек нүктесі ретінде А түйіні алынады. Бұранда дислокациясы бар кристалдың беті бойымен ретімен қозғалып, контурды тұрғызайық. Бұл жағдайда Е позициясына жеткенде, бастапқы А нүктесіне оралу үшін бір атомаралық қашықтыққа (EF) төмен жылжу қажет болады.



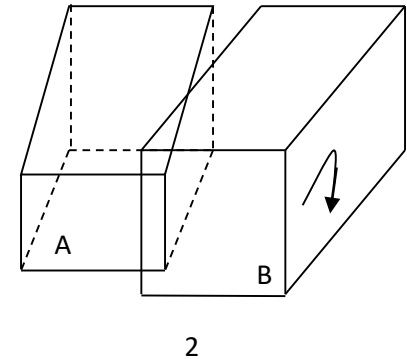
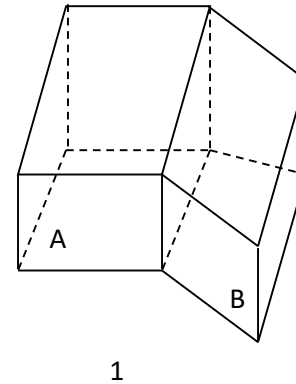
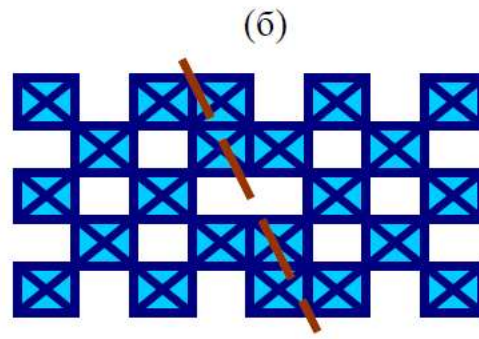
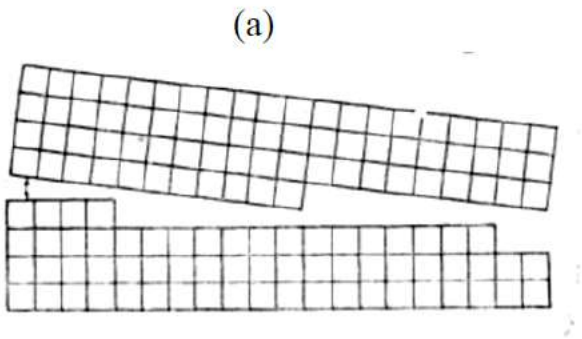
Беттік ақаулар

- Мұндай ақаулар тек бір өлшемде шағын және тор параметрінен бірнеше есе үлкен екі өлшемдерге ие. Оларға түйін шекаралары (границы зерен) кристалдық егіздер (двойники), мозаикалық блоктар, қабаттасудың ақаулары және кристалдың өзі жатады.
- А суретте түйін шекаралары және Б суретте кристалдық ығысудың құрылымы көрсетілген.
- Әдеттегі металдар полкристаллдардан тұратындықтан монокристаллдар арасында шекаралар болуы мүмкін. 1 суретте түйін шекарасын түсіндіруге арналған схема көрсетілген. Мұнда бір түйіннің екіншісіне қатысты шекара жазықтығында жатқан ось бойымен айналуы көрініп тұр. Екі кристалдың жабысқан жері *жиекті дислокациялардың* жиынтығы болады.
- Екінші схемада бір түйіннің екіншісіне қатысты шекара жазықтығында перпендикуляр ось бойымен айналуы көрініп тұр. Қабаттасу аумағында бұрандалы дислокациялар болады.



Беттік ақаулар

- Сонымен, кез келген поликристаллды материалда көршілес түйіндер (зерна) бөлетін *ішкі шекаралар* (беттер) болады. Көршілес екі түйіннің (зерна) әдетте сәйкес келмейтін кристаллографиялық бағыты бар.



Радиациялық ақаулардың пайда болуы туралы алғашқы мәліметтер

Қазіргі заманғы материалдар электрондардың, жеңіл және ауыр иондардың, нейтрондардың, сәулеленудің және т.б бөлшектердің әсеріне тап болуы мүмкін. Әсіресе ядролық реакторлардың, қуатты үдеткіштердің, ғарыш аппараттарының құрылымдық элементтерінің материалдары. Материалдар үшін ядролық бөлшектермен сәулелену ізсіз өтпейді. Бұл бөлшектердің жеткілікті энергиясымен олардың материал атомдарымен соқтығысуы **радиациялық ақаулардың** пайда болуына әкеледі. Біртіндеп жинала отырып, олар материалдардың қасиеттерін өзгертеді. Бұл процестің өзіндік ерекшеліктері бар және оны басқа жолмен қайталауға болмайды. Металдарда радиациялық ақаулардың пайда болуы әдетте екі кезеңге бөлінеді – бірінші және екінші ретті. Бірінші ретті актта атом кристал түйінінен шығып вакансия және түйінаралық атомдар пайда болады.

Екінші сатыға нүктелік ақаулардың кешендерге қосылуы, таусылған (обедненных) аймақтардың, дислокациялық ілмектердің қалыптасуы және т.б жатады.

Радиациялық ақаулардың пайда болуы туралы алғашқы мәліметтер

Металға ұшып бара жатқан атқылаушы бөлшек кристалдық тордың атомдарымен әрекеттеседі. Бұл әрекеттесу екі жақты сипатта болуы мүмкін - *серпімді емес және серпімді*. Серпімсіз әрекеттесу кезінде атомдардың ионизациясы немесе ядролық реакция жүреді. Металдағы ионизация процесі тез бейтараптанады, ал ядролық реакция кезінде кез келген бөлшектің бөлінуімен жаңа ядро түзілуі мүмкін. Серпімді әрекеттесу кезінде белгілі бір кинетикалық энергия матрица атомының ядросына (демек, жалпы атомға) беріледі. Егер оның мәні жеткілікті болса, яғни тордағы атомдардың байланыс энергиясынан үлкен болса, ол кристалдық тордағы орнындағы ығыстырылып, берілген импульс бағытына қарай ығысады.

Радиациялық ақаулардың пайда болуы туралы алғашқы мәліметтер

Энергиясы бірнеше МэВ ауыр зарядталған бөлшек (протон, ион) металл арқылы өте отырып, өз энергиясын серпімсіз әрекеттесулерге жұмсайды, тек анда-санда тор атомдарын ығыстыруы мүмкін. Егер тасымалданатын энергиясы E_1 тор энергиясынан E_d әлдеқайда көп болса, ал ығысқан атомдар жақын маңдағы түйінаралық позицияларда тұрып қалмайды, тор бойымен айтарлықтай қашықтыққа жылжиды. Мұндай атомдар **бірінші кезекте ұшқан атомдар (первично выбитые атомы)** деп аталады. Қозғалыс барысында бірінші кезекте ұшқан атомдар (БҰА) жаңа атомдарды орындарынан ығыстырып, екінші, үшінші және т.б. ретті үрдістерді туғызады.

- Бірнеше осындай бірінші кезекте ұшқан атомдардың ығысуын (БҰА) **каскадты ығысулар** (каскадные смещения) деп атайды.
- Каскадтар энергиямен E' және ығысқан түйінаралық атомдар санымен сипатталады, ол каскадтық функция деп аталады. Бірінші жуықтауда бұл мәнді американдық физиктер Кинчин мен Пиз шығарған қарапайым қатынас арқылы анықтауға болады:

$$\nu = k \frac{E'}{2Ed} \quad k = 0,7 \div 0,8.$$

- Металда бірте-бірте баяулай отырып, өз жолының соңында атқылаушы бөлшек соңғы ығысуды жасайды және тоқтайды. Онда ол кептеліп қалады және тор үшін бейтарап бөгде атомға айналады. Бұл жағдайда бөлшектің өзі де кез келген қоспа атомы сияқты ақауға айналады. Осылайша, атқылаушы бөлшектің жолында атомдық **ығысу каскадтары** дамиды.

Әрбір бірінші кезекте ұшқан атомдар (БҰА) екінші, үшінші және т.б. ығысулардың тұтас тізбегін (каскадты) БҰА –ның энергиясы E_d -ге дейін төмендегенше түзе береді. Ығысуды қалыптастыру үшін шектік энергия E_d шамамен 25 эВ. Кинчин-Пиза моделіне сәйкес, энергиясы $E < E_i$ бар БҰА $\nu = E/E_d$ Frenkel жұптарын түзеді. Осылайша, t мезгіл уақытта материал бірлік көлемінде ығысулардың саны келесі түрде анықталады:

Мұндағы N_0 бірлік көлемдегі атомдар саны, ϕ нейтрондардың ағыны, σ микроскопиялық қима,

$$d = N_0 \phi \sigma \nu t.$$