

НЕГІЗГІ БЕЛГІЛЕУЛЕРДІҢ ТІЗІМІ

- $A (F)$ — көлденең қима ауданы;
 $N_z (N)$ — бойлық күш;
 σ — тік кернеу;
 Δl — абсолютті бойлық деформация;
 l — ұзындық;
 ε — салыстырмалы сызықтық деформация;
 $\mu (v)$ — Пуассон коэффициенті;
 E — бойлық (бірінші тектік) сепімділік модулі;
 U — деформацияның потенциалдық энергиясы;
 u — деформацияның меншікті потенциалдық энергиясы;
 p — толық кернеу, қысым;
 q — ұзындық бойынша таралған күш;
 $P (F)$ — күш
 γ — меншікті салмақ, ығысу бұрышы;
 G — ығысу модулі (екінші тектік сепімділік модулі), брустың салмақ күші;
 $[\sigma] (\sigma_{adm})$ — мүмкіндік тік кернеу;
 $[\sigma]_{соз}, [\sigma]_{сығ}, [\sigma]_{орн} (\sigma_{t.adm} \sigma_{c.adm} \sigma_{s.adm})$ — мүмкіндік тік кернеулер сәйкесінше, созылуға, сығылуға, орнықтылыққа;
 n — қор коэффициенті;
 $\sigma_B (\sigma_u)$ — беріктік шегі, уақытша кедергі;
 $\sigma_A (\sigma_y)$ — ағу шегі;
 $\sigma_{II} (\sigma_{pr})$ — пропорционалдық шегі;
 ρ — материалдың тығыздығы;
 τ — жанама кернеу;
 Q — көлденең күш;
 $[\tau] (\tau_{s.adm})$ — ығысу кезіндегі мүмкіндік жанама кернеу;
 $\sigma_{жан} (\sigma_p)$ — жаншылу (мыжылу) кернеуі;
 $\sigma_{p,adm}$ — жаншылу кезіндегі мүмкіндік тік кернеу;
 A_{com} — жаншылу ауданы;
 S_x, S_y — ауданның статикалық моменттері;
 J_x, J_y — өстік инерция моменттері;
 J_p — полярлық (өрістік) инерция моменті;
 $J_{xy} (D_{xy})$ — центрден (ортадан) тепкіш инерция моменті;
 x_c, y_c — қиманың ауырлық центрінің координаттары;
 $J_{max}, J_{min} (J_u, J_v)$ — қиманың бас инерция моменттері;
 W_x, W_y — қиманың кедергі моменттері;
 W_p — қиманың полярлық кедергі моменттері;

$M_{\text{бp}} (T)$	— бұралу моменті;
φ	— бұралу бұрышы, негізгі мүмкіндік кернеуді кеміту коэффициенті;
n	— айналу жиілігі (саны);
$[\varphi]$ ($\varphi_{0,adm}$)	— мүмкіндік салыстырмалы бұралу бұрышы;
m	— сыртқы июші момент;
M	— ішкі июші момент;
y	— майысу, арқалықтың көлденең қимасындағы ауырлық центрінің вертикаль орын ауысуы;
$\sigma_{\text{экв}} (\sigma_{red})$	— эквивалентті кернеу;
$M_u (M_{tot})$	— қорытынды (қосынды) июші момент;
$M_{\text{экв}} (M_{red})$	— эквивалентті (есептік) момент;
$P_{кр}, F_{кр} (F_{cr})$	— кризистік (аумалы) күш;
μ	— ұзындықты келтіру коэффициенті;
λ	— сырық иілгіштігі, серіппенің ұзаруы (шөгуі);
$\lambda_{шек} (\lambda_u)$	— шектік иілгіштік;
$k_{\partial} (k_d)$	— динамикалық коэффициент;
a	— үдеу;

ЛЕКЦИЯ 8. МАТЕРИАЛДАР МЕХАНИКАСЫНА КІРІСПЕ

Лекция жоспары:

- 8.1 Негізгі ұғымдары
- 8.2 Есептеуде қабылданған негізгі болжамдар
- 8.3 Сыртқы күштер және олардың түрлері
- 8.4 Ішкі күштер және қима әдісі
- 8.5 Кернеулер
- 8.6 Деформацияның негізгі түрлері

8.1 Негізгі ұғымдары

Қолданбалы механиканың «Материалдар механикасы (кедергісі) бөлімі денелердің әр түрлі конструкциялардың және олардың элементтерінің, бөлшектерінің беріктігін, қатаңдығын, сенімділігін және орнықтылығын есептеу жолдарын үйрететін ғылым. Табиғатта қандай да болмасын қатты денені қарастыратын болсақ (мысалы болат, ағаш, тас, бетон т. б.), олар сыртқы күш әсер еткенде әр түрлі майысады немесе әрқилы деформацияға ие болады. Денелердің, машина бөлшектерінің немесе қандай да болсын бір конструкцияның беріктігі деп сыртқы күштердің әсерінен бұзылмастан, сынбастан қабылдау қасиетін айтады. Сыртқы күштің әсерінен қатты дене белгілі мөлшерге майысады, деформацияланады. Дененің деформациялануға қарсы кедергі қасиеті қатаңдық деп аталады. Дененің қимасында бөлшектерді бұрынғы орнына апарып орналастыруға әрекет ететін ішкі күш пайда болады, ол күштерді серпімділік күші деп атайды. Ал денелердің сыртқы күшті алып тастағанда бұрынғы орнына келуі, былайша айтқанда, деформациядан айрылу қабілеттілігін материалдардың серпімділігі деп атайды.

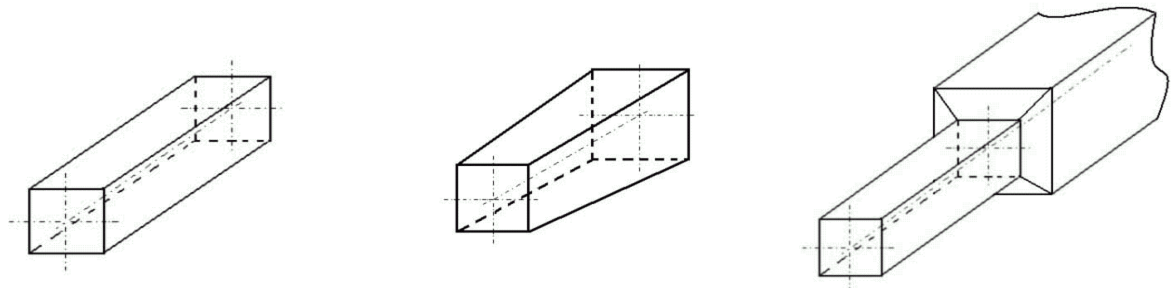
Серпімділік күшінің немесе ішкі күштердің қима ауданына таралу немесе бөліну мөлшері арнаулы кернеу деген өлшеммен алынады.

Орнықтылық - құрылманың немесе оның жеке бөліктерінің сыртқы күш әсерінде серпімді тепе-теңдік бастапқы қалпын сақтау болып табылады.

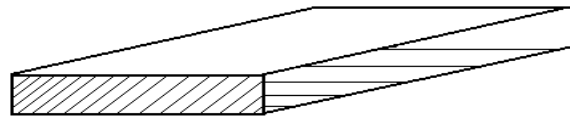
Қандай да болмасын конструкцияның, олардың элементтерінің, бөлшектердің жобасын, өлшемдерін анықтаған кезде олар берік, сенімді, орнықты салмағы аз және арзан болуы қажет. Материалдар кедергісі ғылымының негізін, заңдарын, жолдарын білместен ең қарапайым машина немесе механизм жобаларын жасау мүмкін емес.

Инженерлік практикада кездесетін сан-алуан конструкция элементтері пішіндері мен өлшемдеріне байланысты жинақталып, төмендегідей қарапайым түрлерге ажыратылады.

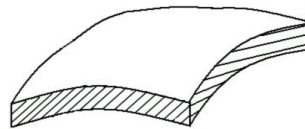
1. Екі өлшемі үшіншісінен әлдеқайда кіші денені **брус-стержень** деп атайды. Олар түзусызықты, қисықсызықты және қималары тұрақты немесе тұрақты емес болады.



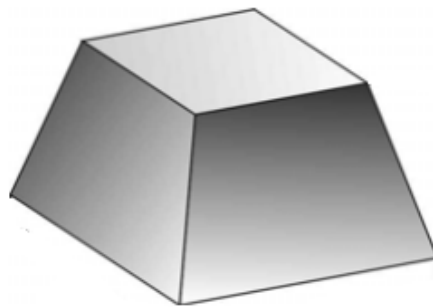
2. Қалыңдығы деп аталатын бір өлшемі өзге екеуінен едәуір кіші дене **пластина** деп аталады



3. Ара қашықтығы басқа өлшемдеріне карағанда әлдеқайда кіші болатын екі қисық сызықты беттермен шектелген денелерді **қабықша** деп атайды. Олар цилиндрлік, сфералық, конусты т.б. болады



4. Үш өлшемдері өзара шамалас денелер **жұмыр денелер** немесе **массив** делінеді. Мысалы, көпірдің тіректері, мойынтіректің шариктері.



"Материалдар кедергісі" пәнінде қатаңдығы жеткілікті, аз деформацияланатын, көбінесе көлденең қималары тұрақты, брус тәріздес жұмыр денелер немесе олардан құрылған қарапайым жүйелер қарастырылады.

8.2 Есептеуде қабылданған негізгі болжамдар

Материалдар кедергісі курсына конструкция элементтерін есептеу

күрделі болғандықтан, оны іс жүзінде оңай және ыңғайлы түрде шешу үшін бірқатар болжамдар қолданылады.

Теориялық механика ғылымында әр денені абсолютті қатты дене деп қарастырады, яғни ол дене сыртқы күштің әсерінен өзінің пішіні мен өлшемін өзгертпейді. Бірқатар дененің тепе-теңдік және қозғалу заңын шешуге бұл болжамды қолдануға болады. Шындығында, біз әр дененің тепе-теңдік және қозғалу заңын қарастырғанда, ол дененің ішкі құрылысында қандай өзгеріс барын ескермеуімізге болады.

Материалдар кедергісі теориясында дененің беріктігін, қатаңдығын және төзімділігін қарастырғанда, біз конструкцияның қимасындағы пайда болатын кернеулер мен деформацияларды есептеп шығаруымыз керек, сондықтан жоғарыда айтылған болжамды бұл жерде қолдануға болмайды. Төменде материалдар кедергісі курсына кездесетін негізгі болжамдар келтірілген:

1. Белгілі бір жағдайда материалдар толық серпімділік қасиетіне ие болады және осы материалдар үшін күш пен деформация бір-біріне тура байланысты болады (Гук заңы).

Мысалы, машинада көп кездесетін білікті алсақ, ол тісті берілістерден түсетін күштің әсерінен майысады және оның майысу шамасы күштің шамасына тікелей қатысты болады. Неғұрлым күш көп болса, білік соғұрлым көбірек майысады.

2. Материалдардың бөлшектері *бір тектес* және олардың қимасында алынған кез-келген нүктелерде бірдей қасиет болады. Мұндай қасиет металдарда басым болады.

3. Егер материалдардың қимасында, олардың қасиеттері барлық бағытта бірдей болса, онда оның бөлшектерін *изотропты* деп, ал егер де әртүрлі болса, онда оның бөлшектерін *анизотропты* деп атаймыз. Материалдар кедергісі курсына беріктікке, қатаңдыққа есептеуде, материалдарды изотропты деп санаймыз. Осы қасиетке бейім материалдар қатарына пластмасса, болат және шыны жатады. Ал шойын мен әсіресе ағашта анизотропты қасиет басымдау болады. Мысалы, бөренеге бойлық күш пен көлденең күш әсер еткенде, оның сынуынан байқауға болады.

4. Қарастыратын дененің кез-келген жерінен бөлініп алынған кішкене элементтің қасиеті сол дененің де қасиеті болып табылады. Осы болжамның негізінде деформацияланатын дененің құбылыстарын зерттеуге болады. Ол үшін кішкене элементар аудан немесе көлемді бөліп алып, оған әсер ететін күш пен деформацияны анықтап, оны дененің барлық қимасына тән деп есептейміз. Бұл жағдай математикалық әдістерді, яғни дифференциал мен интегралды пайдаланып денелер қимасының өлшемдерін анықтауға мүмкіндік туғызады.

5. Дене бөлшектерінің ішкі құрылыстары *үздіксіз*, атап айтқанда дене көлемі бірқалыпты массамен толтырылған.

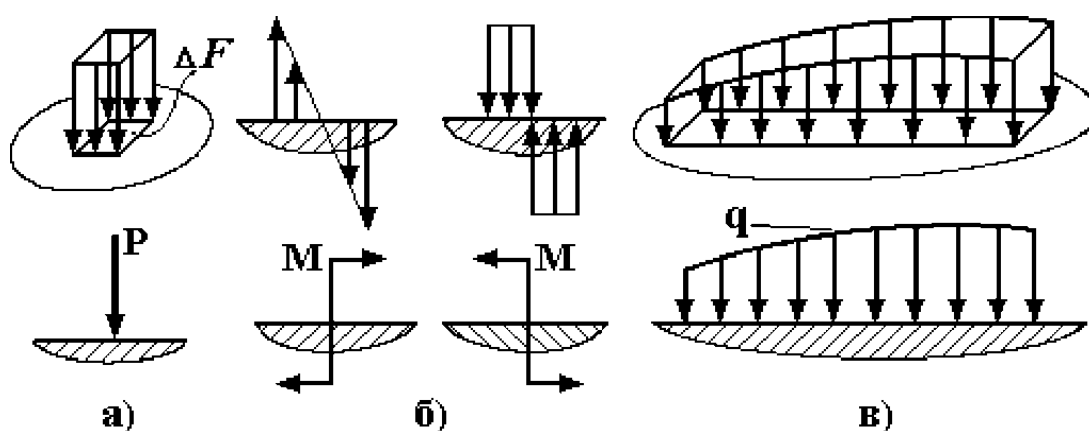
Бұл болжамды ұсынғанда молекулалардың өзара тартылыс күштерін жинақтап, солар арқылы дененің беріктігін анықтау жолынан бас тартып отырмыз. Себебі, бұл жолмен қазіргі белгілі әдістермен есептегенде заттардың беріктігі оның тәжірибе жолымен анықталған беріктік шамасынан әлдеқайда

артық болады. Бұл есептеуде материалдардың қима ауданы бойынша құрылыстары жөнінен бірқалыпты емес екенін есепке алу өте қиын, сондықтан есептеу нәтижесі нақты беріктік шамасына сәйкес келмейді.

8.3. Сыртқы күштер және олардың түрлері

Конструкциялар мен машина бөлшектеріне, механизмдерге әсер етуші сыртқы күштер шама жағынан да, бағыт жағынан да, түскен ауданына байланысты әр түрлі болып келеді. Сыртқы күштерді негізгі сипаттамаларына қарай төмендегіше ажыратуға болады.

1. Күш түскен жердің ауданына байланысты екіге бөлінеді: а), б) шоғырланған (қадалған); в) таратылған (бөлінген) (8.2-сурет)



Сурет 8.2

Егер күш түскен ауданның мөлшері дененің, бөлшектің немесе конструкцияның жалпы ауданымен салыстырғанда өте кіші болса және ол ауданның мөлшерінің кішілігіне байланысты оны есепке алмаса, онда ол шоғырланған күш болып табылалы.

Мысалы, жүк көтергіш крандардың металлоконструкциясына түсетін жүктің салмағы, автомобильдердің дөңгелегіне түсетін күш, біліктердің тіректеріне түсірілетін күштері және т. б. Шоғырланған (қадалған) күш, қадалған момент бір нүктеде әсер етеді деп есептейді.

Таралған (бөлінген) күштер деп жалпылай немесе сол ауданның көпшілік бөлігіне тарап әсер ететін күштерді айтамыз. Олар көлемдік, беттік және ұзындық бойымен тараған болып бөлінеді (8.2, в-сурет).

Көлемдік таратылған күшке сол конструкцияның немесе дененің өзінің салмағы жатады, ал беттік таралған күшке ішкі қысымдар, жауған қардың салмағы, поршеньге әсер ететін газ қысымы және тағы басқалар жатады.

Олардың шамасы SI жүйесінде H/m^3 , $кH/m^3$, MH/m^3 , H/m^2 , $кH/m^2$, MH/m^2 және H/m , $кH/m$, MH/m өлшенеді.

2. Күш шамасын уақытқа қатысты өзгеруіне байланысты да негізгі екі түрге бөлуге болады: а) тұрақты күш (статикалық); б) айнымалы күш

(динамикалық).

Тұрақты күш деп мөлшері мен бағыты өзгермейтін күшті айтады. Егер денеге түскен күштердің шамасы немесе бағыты уақытқа байланысты өзгеріп отырса, ондай күштерді *айнымалы күштер* деп атаймыз. Айнымалы күштер өздерінің шамасы мен бағытының өзгеруіне байланысты циклдері тұрақты және тұрақсыз болып бөлінеді. Циклі тұрақты айнымалы күштерге: пульсирлік, симметриялық және ассиметриялық циклмен өзгертін күштер жатады.

3. Күштерді әсер ету жылдамдығына байланысты: а) тұрақты күш; б) уақытша әсер ететін күш деп бөлуге болады.

Әсер ету уақыты тіптен аз болған жағдайда ондай күшті соққы күші ретінде қарастырады.

8.4. Ішкі күштер және қима әдісі

Ішкі күштер. Деформацияланған дененің бір қалыпта тұратынын былай түсіндіруге болады. Дененің атомдарының арасында бір-біріне әсер ететін күштер болады және әрбір атом өздеріне түскен күштің әсерінен тепе-теңдік қалпын сақтайды. Денеге сыртқы күштер әсер еткенде, онда деформация болады да, дененің атомдарының өзара орналасуын өзгертеді, атомдардың бір-бірінен ара қашықтықтары және атомдар арасындағы бір-біріне әсер ететін күштер де өзгереді. Сонымен, деформацияның әсерінен атомдар арасында өзгертін күштерді *ішкі күштер* деп атайды.

Материалдар кедергісінде ішкі күштерді анықтау үшін денені *қию әдісі* колданылады. Енді, осы әдіспен танысайық. Түзу сызықты брусқа (8.3-сурет) бірнеше күш ($F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$) әсер етеді делік. Дене осы сыртқы күштердің әсерінен тепе-теңдік жағдайда болады да, оның бөліктерінің арасында ішкі күштер пайда болады. Брустардың өстері түзу сызық бойында жатады. Машиналардың көптеген бөлшектері осы тектес болып келеді, мысалы біліктер, осьтер, бұрандалы винттер, шпонка мен штифтер, шатундар және тағы басқалар.

Кернеулер шамасын әсіресе деформация түрлерін анықтауда осы брустарды қарастыру өте ыңғайлы. Енді осы ішкі күштерді анықтау үшін былай істейміз:

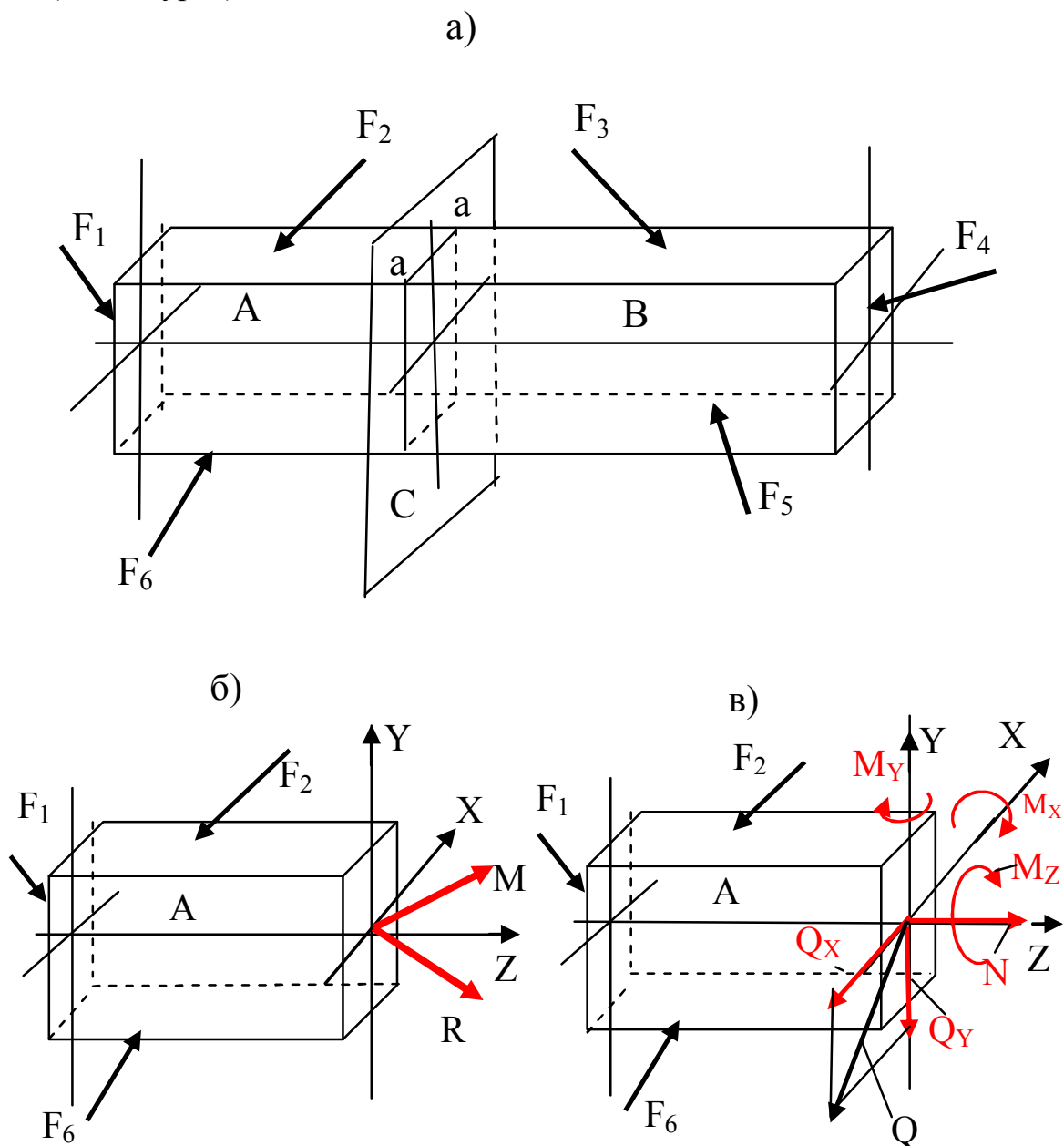
1. Брусты «а-а» жазықтығымен қиямыз (8.3, а-сурет).

2. Енді жазықтықпен қиылған бір бөлігін алып тастап, қалған бөлігін қарастырамыз. Есептеу жағы оңай болу үшін күш аз орналасқан бөлігін қалдырғанымыз жөн.

3. Ендігі мақсат, қарастыратын бөлікті тепе-теңдік қалпына келтіруіміз керек. Алынып тасталған бөлікті ішкі күштермен алмастырып, теңестіруіміз қажет (8.3, б-сурет).

Егер сыртқы күштер бір жазықтықта жатса, оларды теңестіру үшін қиылған жазықтықтың көлденең қимасында әсер ететін күшті көлденең күш Q деп, жазықтықтың қимасына перпендикуляр жазықтықпен әсер ететін моментті

ию моменті M деп, ал дененің бойлық өсі бойындағы күшті бойлық күші N деп атаймыз (8.3, в-сурет).



Сурет 8.3

Енді жоғарыда көрсетілген ішкі күштерді анықтау үшін, статиканың тепе-теңдік шартының алты теңдеуін жазу жеткілікті:

$$\begin{aligned} \sum X = 0, & & \sum M_x = 0, \\ \sum Y = 0, & & \sum M_y = 0, \\ \sum Z = 0, & & \sum M_z = 0. \end{aligned}$$

Брустың көлденең қимасында мынадай жағдайлар болуы мүмкін.

1. Тек қана бойлық күші N_z әсер етеді. Егер бойлық күші қимадан сыртқа қарай бағытталған болса, бұл жағдайды **созылу** деп, ал егер бойлық күш қимаға қарай бағытталған болса, онда **сығылу** деп атайды.

2. Тек қана көлденең күштер Q_x немесе Q_y әсер етеді. Бұл жағдайда **ығысу** немесе **кесілу** деформациялары пайда болады.

3. Тек қана бұралу M_z моменті әсер етеді. Бұл жағдай деформация **бұралу** деп аталады.

4. Тек қана ию M_x, M_y моменттері әсер етеді. Бұл жағдайды **таза иілу** деп атайды.

5. Тек қана Q_y, M_x , немесе Q_x, M_y әсер етеді. Бұл жағдайды **тік** немесе **көлденең иілу** деп аталады.

Іс жүзінде таза созылу, кесілу, иілу немесе бұралу аз кездеседі. Машина бөлшектері көбінесе осылардың қосылып әсер ететін жағдайында жұмыс істейді. Деформацияның мұндай түрі **күрделі қарсыласу** деп аталады.

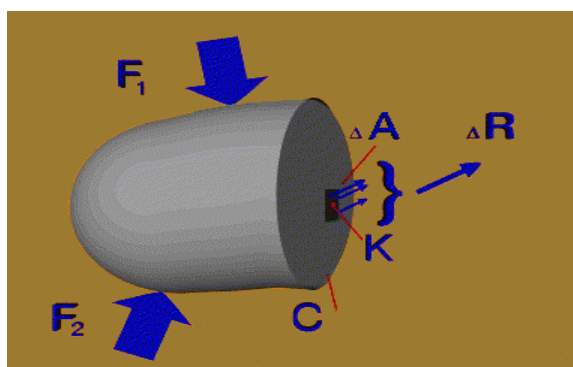
8.5 Кернеулер

Ішкі күштерді анықтау арқылы бөлшектердің немесе конструкциялардың беріктігін білу қиын, себебі олардың беріктігі қима мөлшеріне байланысты болады. Сондықтан денелердің беріктігін бағалау үшін кернеу деген ұғым енгізілген.

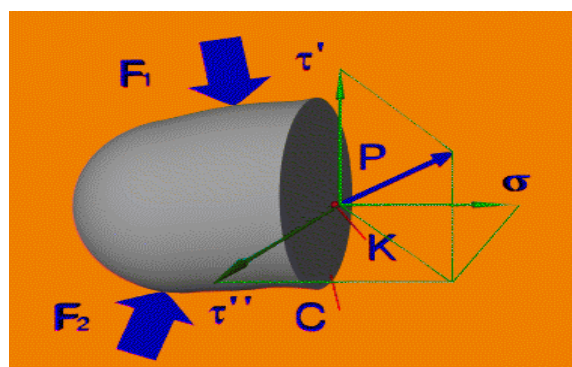
Ішкі күштерді өте кішкентай ауданшаға түсірілген элементар күштердің жиынтығы ретінде қарастыруға болады. Енді қиылған дененің бір бөлігін алып, оны өте кішкене аудандарға бөліп қарастырайық (8.4-сурет).

Осы ауданға бір ΔR күші әсер етсін, олар қима ауданының орналасуына қарағанда әр түрлі бағытта әсер етуі мүмкін. Ішкі күштер шамасының ауданға қатынасын алсақ, олардың орташа шамасын анықтаймыз және осы анықталған шама орташа **кернеу** деп аталады:

$$P_{op} = \frac{\Delta R}{\Delta A} \quad (8.1)$$



а)



б)

8.4-сурет

Элементар қима ауданын шексіз кішірейтсек, онда ол нүктеге айналады да, нүктедегі кернеу сол нүктенің нақты кернеуі деп аталады:

$$p_{op} = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta R}{\Delta A} = \frac{dR}{dA} . \quad (8.2)$$

Бұл кернеуді координат өстері бойымен жіктеуге болады (8.4, б-сурет). Қима ауданына перпендикуляр кернеу тік (қалыпты) кернеу σ , қима ауданының бетінде жататын кернеу жанама кернеу τ деп аталады.

Тік кернеудің шамасы

$$\sigma = p \sin \alpha \quad \text{немесе} \quad \sigma = \frac{dN}{dA} . \quad (8.3)$$

Ал жанама кернеудің шамасы

$$\tau = p \cos \alpha \quad \text{немесе} \quad \tau = \frac{dQ}{dA} . \quad (8.4)$$

Қима ауданында ішкі күштер бірқалыпты таралған деп есептесек, онда жалпы кернеу шамасы 8.2, 8.3 және 8.4 теңдеулерінен интеграл алу арқылы анықталады да, төмендегіше белгіленеді

$$\sigma = \frac{dN}{dA}; \quad \tau' = \frac{dQ_y}{dA}; \quad \tau'' = \frac{dQ_x}{dA}.$$

ал толық кернеу

$$p = \frac{dR}{dA}; \quad p = \sqrt{\sigma^2 + \tau'^2 + \tau''^2} . \quad (8.5)$$

Кернеулердің өлшем бірлігі Н/м², кН/м², МПа. Тік кернеу қима ауданына тік түсетін жазықтықта, ал жанама кернеу қима ауданы арқылы өтетін жазықтықта жатады.

Кернеу дене бөлшектерін біріне-бірін қысу немесе ажырату күштерінен пайда болса, жанама кернеу дене бөлшектерін ығыстыру, кесу немесе бұрау күштерінен пайда болады.

Беріктікке есептеу кезінде кернеулердің келесі түрлері ажыратылады:

Шекті кернеулер. Бұл мәнге жеткенде денелерде пластикалық деформациялар (егер материал пластикалық болса) немесе морт қирау (егер материал морт сынғыш болса) белгілері анық көрнеді. Бұл кернеулер материалдардың механикалық сынау кезінде анықталады және олардың қасиеттеріне, деформациялардың түріне (созылу, сығылу және т.б.) тәуелді болады.

Статикалық өстік жүктеу кезінде шекті кернеу ретінде пластикалық материалдар үшін - **ағу шегі** немесе - **шартты ағу шегі**, ал морт сынғыш материалдар үшін - **беріктік шегі** алынады.

Конструкцияны жүктеу кезінде пайда болатын кернеулерді **есептік (жұмыс) кернеулер** деп атайды. Олар күштерге және конструкция өлшемдеріне байланысты болады.

Конструкцияның беріктігін және ұзақ мерзімділігін қамтамасыз ететін ең үлкен кернеулерді **мүмкіндік кернеулер** деп атайды. Мүмкіндік кернеулер шекті кернеулердің бір шамасына тең болады, ол есептелетін үлгінің материалына байланысты, сонымен бірге есептеу әдісінің дәлдігіне, материалдың біртектілігіне, есептелетін элементтің маңыздылығына және басқа факторлеріне байланысты болады.

8.6 Деформацияның негізгі түрлері

Денеге сыртқы күштер әсер еткен кездегі оның пішінінің өзгеру қасиетін **деформация** деп атаймыз.

Сыртқы күштердің әсерінен бөлшектерде, денелерде күрделі деформациялар (майысу) пайда болады және сол күрделі деформацияны әр түрлі негізгі деформацияның жинағы ретінде қарастыруға болады. Ол негізгі деформацияларға созылу, сығылу, ығысу (кесілу), бұралу және иілу жатады.

Іс жүзінде аталған деформациялар жиі қабаттасып кездеседі. Мысалы, машина біліктерінде иілу және бұралу деформациясы пайда болса, тартылып бұралған болттарда созылу және бұралу немесе ығысу мен бұралу деформациялары пайда болады.

Сондай-ақ, аты аталған деформациялар **серпімді** және **пластикалы** (серпімсіз, қалдық) болып екіге бөлінеді. Егер сыртқы күшті алып тастағанда дене бұрынғы қалпына қайтып келсе (күш түспей тұрған қалпына), онда мұнда **серпімді деформация** пайда болғаны. Ал егер дене майысып, өзінің бұрынғы пішінін өзгертетін болса, онда ол **қалдық деформация** алған болып саналады.

Бақылау сұрақтары

1. Беріктікке, қатандыққа, орнықтылыққа есептеудің мақсаты неде?
2. Брус, қабықша, пластина, массивті денелер деген не?
3. Күштер қандай белгілерімен бөлінеді?
4. Шын құрылым мен есептеу нұсқасының айырмашылығы неде?
5. Қадалған күш пен ию моменттерінің өлшем бірліктері?
6. Ішкі күштер нені білдіреді?
7. Ішкі күштерге сәйкес деформацияның түрлерін атаңыз?
8. Қию әдісінің мәні неде?
9. Толық, тік, жанама кернеулердің арасында қандай байланыс бар?
10. Деформация түрлерінің қайсысы сызықтық, қайсысы бұрыштық?
11. Күштердің бір-біріне тәуелсіз принципі неде?
12. Жазық қималар гипотезасының мәні неде?