ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ

ТОШКЕНТ АВТОМОБИЛ-ЙЎЛЛАР ИНСТИТУТИ

Одилов К. А., Кушеров Х. К., Хайталиева Р. А.

МАТЕРИАЛЛАР КАРШИЛИГИ ФАНИДАН МАЪРУЗАЛАР МАТНИ

Тошкент - 2001.

Аннотация

Маърузалар матни олий ва ўрта махсус таълим вазирлиги тасдиклаган намунавий дастур асосида ёзилган бўлиб, материалларнинг физик-механик хоссалари, турли хил кучланиш ва деформацияларни тахлил этиш ва мураккаб каршилик масалалари баён этилган. Конструкция элементларининг устиворлик конуниятлари хам кўриб чикилган.

Матн олий техника ўкув юртларининг бакалавр йўналишлари учун, шунингдек: В 521300 - «Ер усти транспорт воситалари», В 521400 - «Транспорт воситаларидан фойдаланиш» йўналишлари учун хам тавсия килинади.

Маърузалар -54 соат
Амалий машцулотлар -36 соат
Тажриба машцулотлари -18 соат

Маърузалар матни 83 бет хажмда Амалий механика кафедра мажлисида мухокама килинган ва маъкулланган: баённома № 12 2001 й.

Такризчилар: т.ф.д. проф. Маматкулов Ш. М.
т.ф.д. проф. Эшонхўжаев А. А.
Мухаррир: проф. К. Дўстмухамедов.

«Автомобилсозлик» факултети услубий хайъатида маъруза матнларидан фойдаланиш тавсия этилди: Баённома №12 2001 й., 12 июл.

МУНДАРИЖА

АДАБИЁТЛАР:

1. Корабоев Б., Лексашев Ю. «Материаллар каршилигидан кискача курс», Тошкент, «Узбекистон», 1998 йил.
2. Юлдашев К. А. «Материаллар каршилиги», Тошкент, «Укитувчи»,1995 йил.
3. Уразбоев М. Т. «Материаллар кпршилиги асосий курси», Тошкент, «Укитувчи», 1973 йил.
4. Мансуров К. М. «Материаллар каршилиги», Тошкент «Укитувчи», 1969 йил.
5. Смирнов А. Ф. «Материаллар каршилиги», Тошкент «Укитувчи», 1988 йил.

КУШИМЧА АДАБИЁТЛАР:

1. Дарков А. И., Шпиро Г. С. «Сопротивление материалов», Москва, «Вхсшая школа», 1988 год.
2. Феодоскев В. И. «Сопротивление материалов», Москва, «Наука», 1989 год.

1 - Мавзу

Кириш. Кесиш усули. 4 соат

1 - Маъруза.

Кириш. Асосий фаразлар ва тушунчалар - 2 соат.

Режа: Фаннинг ривожланиш тарихи. Курснинг умумий ва махсус фанлар билан богликлиги. Хисоб схемаси ва асосий фаразлар. Ташки кучлар ва уларнинг турлари. Деформация ва кучишлар хакида тушунчалар.

Таянч тушунча ва иборалар:

Материаллар каршилиги, асосий фаразлар, материалларнг изотроп ва анизотроплиги, бир жинслилик ва узлуксиз туташлилик, идеал эластиклик, мустахкамлик, бикрлик ва устиворлик.

Тавсия этилган адабиётлар

Асосийлари:

[1., 5-7 б.; 2., 5-12 б.; 3., 5-8 б.; 4., 5-12 б.]

Кушимчалари:

[1., 5-14 б.; 2., 5-12 б.]

Матн.

Материаллар каршилиги - иншоот кисмларини, конструкция элементларини мустахкамликка, бикрликка ва устиворликка хисоблашни ургатадиган фандир. Турли мухандислик иншоотларни лойхалашда, конструкциялар айрим элементларининг улчамларини аниклашга туцри келади. Бу масала мустахкам, устивор ва узок муддатга чидамли хамда иктисодий жихатдан тежамли иншоот яратиш каби максадга каратилган хисоблашлар асосида хал килинади. Бу масалаларнинг барчаси «Материаллар каршилиги» асосий уринни эгаллаган фанлар комплексида куриб чикилади.

Материаллар каршилиги асосан куйидаги масалаларни ечади:

- хисобланадиган элементларнинг материали ва кундаланг кесим шаклларини танлаш;
- берилган ишлаш шароити учун элементнинг мустахкамлик, ишончлилик, узок вакт ишлаш ва материал тежамлилигини таъминловчи кундаланг кесим улчамларини хисоблаш;
- илгаридан мавжуд конструкциялар бардош бера оладиган юклар микдорини хисоблаш.

Материаллар каршилиги фанини яхши узлаштириш учун талабалар назарий механика, математика ва физика фанларидан етарли билимларга эга булишлари керак. Материаллар каршилигида уз улчами ва шаклини ташки куч таъсирида узгартириши мумкин булган жисмлар урганилади. Шунинг учун бу фанда назарий механикадан фаркли равишда, жисмнинг мувозанати хакидаги масаладан ташкари, айрим нукталарнинг кучишларини аниклашга доир масалалар хам ечилади.

Материаллар каршилиги фани уз тарихига эга. 1676 йили инглиз олими Р. Гук Чўзилишда куч билан деформация орасидаги чизикли боцланишни аниклади.

Материаллар каршилиги масалаларини ечишни енгиллаштириш максадида куйидаги фаразлар ва чекланишлар кабул килинган:

- материаллар бир жинслик ва изотроп;
- материаллар узлуксиз туташ;
- материалла идеал эластик;
- куч куйилиш тартибининг фарки йук(бефарклик принципи;
- текис кесимлар фарази;
- чегаравий шартларни юмшатиш принципи бор.

Фан масалаларида хисобланадиган элементлар ёки иншоот кисмлари реал объект деб каралса, унинг соддалаштирилган куриниши - хисоб схемаси дейилади.

Жисмларнинг узаро таъсирларининг механик улчовига - ташки куч дейилади. Ташки кучлар актив ва пассив булиши мумкин. Актив ташки кучлар: фазовий, юза ва чизик буйича ёйилган, тупланган кучлар.

Куйилган кучлар таъсирларидан жисмда шакл ёки хажм узгариши руй беришини деформация дейилади.

Фан масалаларида учрайдиган жисмлар куйидагича уч турга булинади:

- бруслар (эгри ёки туцри);
- кобиклар;
- массив жисмлар.

Таъсир этиш характерига караб ташки кучлар боглик иккига булинади:

- нулдан бошлаб узининг энг катта кийматигача аста-секин узгарадиган кучлар - статик кучлар;
- вакт бирлигида узгарувчи кучлар - динамик кучлар.

Пассив ташки кучлар жисм харакатини чекловчи боцланишларда хосил булувчи номаълум реакция кучлари булиб, улар статиканинг мувозанат тенгламаларидан топилади.

Назорат саволлари:

1. Материаллар каршилиги фани нимани ургатади?
2. Фанни урганишда кабул килинган фаразлар мохияти.
3. Фаннинг ривожланиш тарихи.
4. Каттик жисм нима?
5. Материаллар каршилиги фанини урганиш учун бошка кандай фанларни яхши узлаштириш керак?
6. Пассив ташки кучлар кандай аникланади?

2 - Маъруза

Ички кучлар. Кесиш усули - 2 соат.

Режа: Кесиш усули, ички зурикиш кучлар таснифи ва уларнинг шартли ишоралари, кучланишлар, кучишлар ва деформация.

Таянч тушунча ва иборалар:

Кесиш усули, бош вектор ва бош моментларнинг компонентлари, чизикли ва бурчакли кучишлар, деформация, нормал ва уринма кучланишлар

Тавсия этилган адабиетлар

Асосийлари:

[1., 7-13 б.; 2., 10-18 б.; 3., 7-15 б.; 4., 13-17 б.]

Кушимчалари:

[1., 14-18 б.; 2., 15-26 б.]

Матн.

Ички кучлар.

Жисм заррачаларининг узаро таъсир кучлари ички кучлар дейилади. Ички кучлар кесиш усули оркали аникланади. Ташки кучлар таъсиридан мувозанат холатида булган жисм берилган булсин. Кесиш усули куйидаги тартибда бажарилади:

- жисм хаёлан ихтиёрий текислик билан икки кисмга кесимга ажатилади;
- жисмнинг бир кисми олиб ташланади;
- ташлаб юборилган кисмнинг колган кисмга таъсирини унинг кесим юзасидаги ички кучлар билан алмаштирилади;
- статиканинг мувозанат тенгламаларини тузиб, кесимдаги ички зурикиш кучлар аникланади.

Колган кисмнинг кесим юзасида хосил булаётган ички зурикиш кучларини кесим оцирлик марказига нисбатан Бош куч вектори ва Бош момент векторига келтирамиз.

Бош куч ва Бош момент векторларини координата укларига проекциялаймиз ва куйидаги олтита ички кучларини хосил киламиз:

- N - буйлама куч (Чўзилишда - мусбат, сикилишда - манфий);
- $\mathbf{Q}_{Х}$, $\mathbf{Q}_{У}$ - кундаланг кучлар (соат мили буйича-мусбат, тескариси-манфий);
- $М_{б}$ - буровчи момент (соат мили буйича - манфий, тескариси-мусбат);
- $М_{Х}$, $М_{У}$ - х ва у укларига нисбатан эгувчи моментлар (ботик эгилса-мусбат, кабарик эгилса-манфий).
-

Кучланишлар

Юза бирлигига таъсир этувчи ички куч микдори - кучланиш дейилади.

Кучланишнинг уртача киймати:

$$\mathbf{p}_{\mathbf{УР}} = \Delta\mathbf{R}/\Delta\mathbf{F},$$

Тулик хакикий кучланиш

$p = \lim \Delta R/\Delta F = dR/dF$, бундан:
$\Delta F \quad 0 \rightarrow$

$$R = \int_F p \cdot dF \qquad (1)$$

Тулик хакикий кучланишни координата укларига проекциялаймиз. Юзачага тик йуналган тузувчисини нормал кучланиш деймиз ва **«σ»** (сигма) харфи билан, юзачага уринма тузувчисини эса уринма кучланиш деймиз ва **«τ»** (тау) харфи билан белгилаймиз.
Кучланишлар кГ/см^2, кГ/мм^2 и Па (Паскал)ларда улчанади. 1 Па=1 н/м^2.
Материаллар каршилиги масалаларини ечишда куйидаги бирликдан фойдаланилади: МПа, 1МПа = 10^6 Па.

Тулик кучланиш куйидагича аникланади:

$$\rho = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} \qquad \mathbf{(2)}$$

Иншоот кисмлари учун конструкция элементларининг улчамлари шундай танланиши керакки, натижада унга куйилган кучлар таъсирида элемент емирилмаслиги ва колдик деформациясиз ишлаши керак.
Элемент материалини ишдан чикарадиган хавфли кучланиш мустахкамлик чегараси дейилади ва «**σв**» билан белгиланади.

Кучишлар ва деформация

Жисмдан ажратилган ихтиёрий нуктанинг куч куйилгунча ва куч куйилгандан кейинги холатларини бирлаштирувчи вектор шу нуктанинг чизикли кучиши дейилади. Чизикли кучишнинг координата укларига проекциялари уклар буйича кучишлар дейилади.

Жисмдан ажратилган ихтиёрий кесма куч куйилиш натижасида кандайдир бурчакка бурилади. Буни бурчакли кучиш дейилади.

Хамма кучишларнинг туплами, бошкача айтганда жисмнинг хажм ёки шакл узгаришлари деформация дейилади.

Назорат саволлари:

1. Ички зурикиш кучларининг омиллар фазода ва текисликда нечта булишлари мумкин?
2. Буйлама куч таъсиридан кандай деформация хосил булади?
3. Кундаланг кучлар таъсиридан кандай деформация хосил булади?
4. Буровчи момент таъсиридан кандай деформация хосил булади?
5. Эгувчи моментлар таъсиридан кандай деформация хосил булади?
6. Чизикли кучиш нима?
7. Бурчакли кучиш нима?
8. Нормал ва уринма кучланишларга изох берилсин.

2 - Мавзу

3 - Маъруза

Чўзилиш ва сикилиш - 2 соат.

Режа: Чўзилиш ва сикилиш хакида тушунча. Нормал куч ва кучланиш, уларнинг эпюралари. Буйлама ва кундаланг деформациялар. Гук конуни, эластиклик модули ва Пуассон коэффициенти. Потенциал энергия.

Таянч тушунча ва иборалар:

Буйлама куч, нормал кучланиш, буйлама ва кундаланг деформация, Гук конуни, эластиклик модули, Пуассон коэффициенти, деформациянинг потенциал энергияси.

Тавсия этилган адабиётлар

Асосийлари:

[1., 13-17 б.; 2., 18-26 б.; 3., 16-31 б.; 4., 17-26 б.]

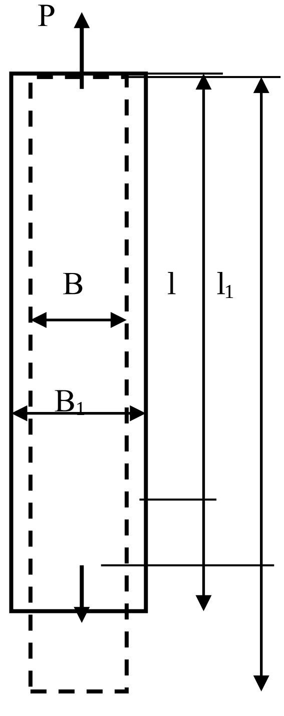
Кушимчалари:

[1., 21-39 б.; 2., 33-42 б.]

Матн

Агар брус кундаланг кесимида факат буйлама куч мавжуд булса, хосил буладиган деформация Чўзилиш ёки сикилиш дейилади.

Асосан Чўзилиш ёки сикилишга ишлайдиган бруслар стерженлар дейилади.



$\Delta l = l_1 - l$, бу ерда

Δl - абсолют буйлама деформация,

l - стерженнинг куч куйилгунчаги узунлиги

l_1 - стерженнинг куч куйилгандан кейинги узунлиги

$\xi = \Delta l / l$ (3), бу ерда

ξ - нисбий буйлама деформация.

$\Delta B = B_1 - B$, бу ерда

ΔB - абсолют кунадаланг деформация,

B - стерженнинг куч куйилгунга кадар эни,

B_1 - стерженнинг куч куйилгиндан кейинги эни.

$\xi_q = \Delta B / B$ (4), бу ерда

ξ_q - нисбий кундаланг деформация.

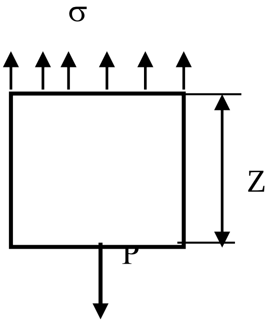
Француз олими Пуассон буйлама ва кундаланг деформациялар узгармас нисбатда булишини исботлаган, шунинг учун бу нисбат Пуассон коэффициенти деб аталади:

$$\mu = -\varepsilon_q / \varepsilon \qquad (5)$$

Инглиз олими Роберт Гук 1676 йилда деформация билан кучланиш маълум чегараларда бир-бирига пропорционал булишини тажрибалар ёрдамида исботлаган. Бу пропорциянинг математик ифодаси Гук конуни дейилади:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \qquad (6)$$

Бу ерда пропорционаллик коэффициенти Е кучланишнинг улчов бирлигига эга булиб, биринчи даражали эластиклик модули дейилади ва материалга боглик булади.



(1) ифодага асосан

$$N = \int_F \sigma dF$$

σ = const булгани учун: **N** = σ · F, бу ердан

$$\sigma = \frac{N}{F} \qquad (7)$$

Гук конунини бошкача куринишга келтирамиз:

Стержендан ажратилган чексиз кичик dZ элемент учун Гук конуни:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad \text{бу ерда} \quad \varepsilon = \frac{\Delta dZ}{dZ}, \quad \sigma = \frac{N}{F} \quad \Rightarrow \quad \Delta dZ = \frac{NdZ}{EF}$$

Бутун стержен учун: $$\Delta l = \int_l \frac{NdZ}{EF} \qquad (8)$$

Агар N=const булса: $$\Delta l = \frac{Nl}{EF} \qquad (9)$$

Бу ердаги EF стерженнинг бикрлиги дейилади.

Стерженнинг уз хусусий оцирлигидан хосил буладиган абсолют деформацияси куйидаги ифода буйича хисобланади: **$\Delta l_\gamma = \gamma l^2/2E$ (10) .**

Бу ерда γ - стержен материалининг солиштирма оцирлиги.

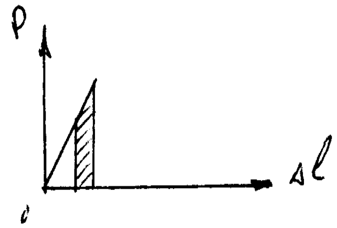
Деформациянинг потенциал энергияси.

Стерженга куйилган (чузувчи ва сикувчи) куч бажарган ишининг бир кисми жисм заррачаларига тезлик беришга сарфланса, иккинчи кисми жисмда потенциал энергия тарзда тупланади.

Энергиянинг сакланиш конунига биноан бажарилган иш:

$$A = U + K \qquad (11)$$

Куч статик таъсир этгани учун, K=O булади.



Демак, $A = U$ (12)

$$dA = \overline{P} \cdot d(\Delta l)$$

Бундан куринадики, бутун узунлик буйича бажарилган иш учбурчак юзига тенг, яъни:

$$A = \frac{1}{2} P \cdot \Delta l = U \qquad (13)$$

$$\Delta l = \frac{Pl}{EF} \quad \text{булган учун :} \quad U = \frac{P^2 l}{2EF} \qquad (14)$$

Назорат саволлари:

1. Чўзилиш ва сикилиш деформациялари кандай ички куч таъсиридан хосил булади?
2. Чўзилиш ва сикилиш холати учун ички куч эпюралари кандай курилади?
3. Гук конуни кайси чегарагача ишлайди?
4. Буйлама ва кундаланг деформациялар орасида кандай муносабат мавжуд?
5. Буйлама куч билан абсолют деформация орасида кандай боцланиш бор?

3-Мавзу

Материалларнинг механик хоссаларини тажрибалар ёрдамида урганиш - 2 соат.

4 - Маъруза

Режа: Чўзилиш ва сикилиш диаграммалари. Пластик ва мурт материаллар, материалнинг универсал диаграммаси. Рухсат этилган кучланиш. Материалнинг асосий механик характеристикалари, диаграммага ташки мухитнинг таъсири.

Таянч тушунча ва иборалар:

Намуна, диаграммалар, эластиклик зонаси, окиш зонаси, мустахкамланиш зонаси, махаллий окиш зонаси, пропорционаллик чегараси, окувчанлик чегараси, мустахкамлик чегараси, вактинча каршилик, колдик нисбий Чўзилиш, нисбий колдик торайиш, мустахкамлик шартлари, рухсат этилган кучланишлар, наклепка ёки нагартовка.

Тавсия этилган адабиетлар

Асосийлари:

[1., 17-27 б.; 2., 26-47 б.; 3., 60-74 б.; 4., 31-55 б.]

Кушимчалари:

[1., 31-39 б.; 2., 53-87 б.]

Матн

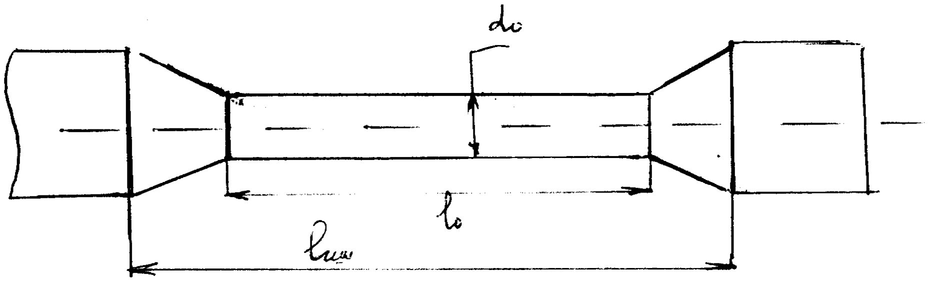
Турли материаллар юк таъсирида «узларини кандай тутиши»ни батафсил урганиш максадида ушбу материалдан ясалган намуналар махсус машиналарда тажриба синовларидан утказилади. Бу синовлар материалларнинг мустахкамлиги ва пластиклигини бахолашга имкон берувчи тавсиф кийматларини топиш учун утказилади. Бундай тавсиф, одатда, механик тавсиф дейилади. Оддий Чўзилиш ёки сикилишга хона шароитида синалаётган материаллар механик сифатлари нуктаи назаридан пластик ёки мурт булишлари мумкин.

Мурт материаллар жуда кичик колдик деформацияда хам емирилади. Пластик материаллар емирлиши катта деформацияларда юз беради. Мурт материалларга чуян, тош, бетон ва хоказолар, пластик материалларга кам углеродли пулат, мис, алюминий ва бошкалар киради.

Замонавий синов машиналари асосан гидравлик курилмалар ёрдамида ишлайди ва намунанинг куч таъсирида Чўзилишини таъсирловчи графикаларни автоматик равишда чизади. Бундай машиналарнинг ишлаши билан талабалар тажриба дарсларида танишади.

Узбекистонда ишлатиладиган намуналар стандартланган булиб, куйидагича куринишга эга:

а) Чўзилишга текшириладиган намуналар:



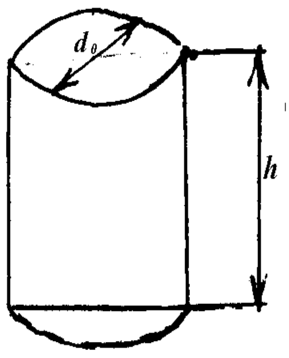
$l_{иш}$ - ишчи узунлик

l_0 - хисоб узунлиги

Нормал намуналар учун: $l_0 = 10d$

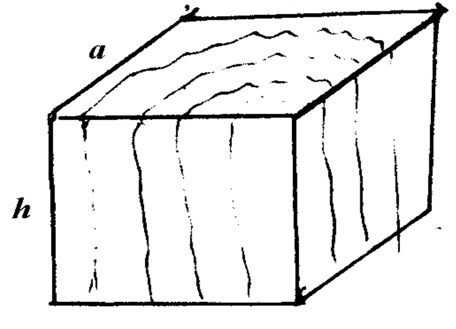
Калта намуналар учун: $l_0 = 5d$

б) сикилишга текшириладиган намуналар:



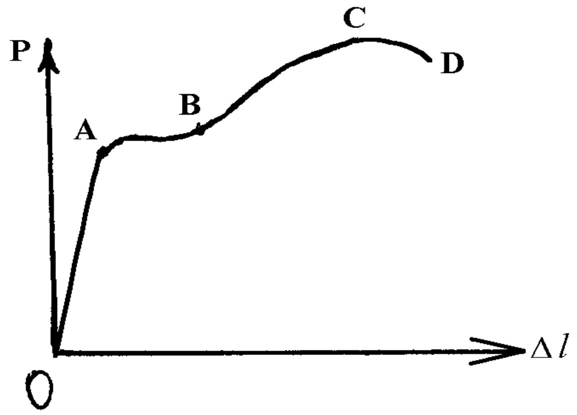
Металлдан тайерланган намуна

Ёгочдан тайёрланган намуна:



Пластик материалнинг Чўзилиш диаграммаси

Намунага таъсир этувчи куч Р билан намунанинг абсолют Чўзилиш орасидаги график боцланиш - Чўзилиш диаграммаси, дейилади ва у пластик материаллар учун куйидаги куринишга эга булади:



Пластик материалларнинг Чўзилиш диаграммаси куйидаги характерли зоналарга булинади:

ОА - эластиклик зонаси. Бу зонада деформация эластик булади.

АВ - окиш зонаси. Бу зонада куч унча усмаса хам деформацияланиш давом этади.

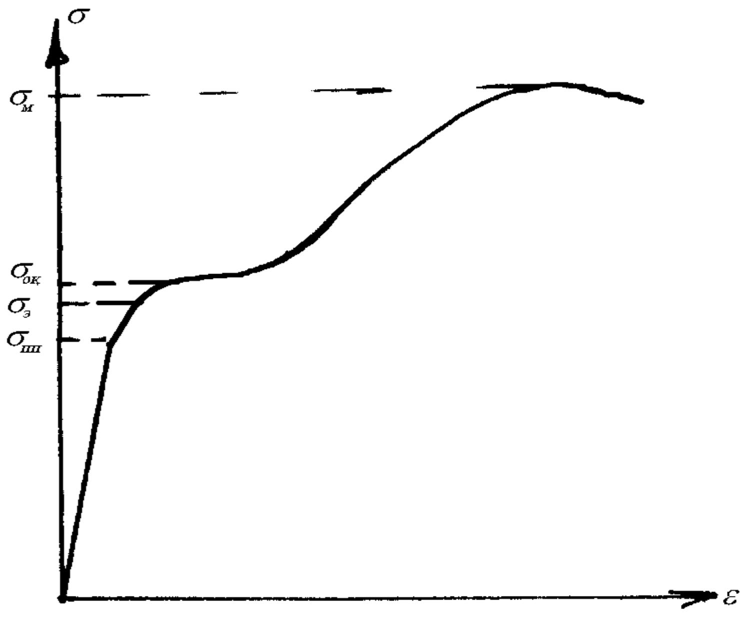
ВС - мустахкамланиш зонаси. Бу зонада материалнинг окиши тухтаб, мустахкамлиги ортади. Куч С нуктага етганда намунанинг кандайдир бир кесимида емирилиш бошланиб, узилиш буйинчаси хосил була бошлайди.

СД - махаллий окиш зонаси. Окиш буйинча хисобига юз беради. Куч Д нуктага етганда намуна узилади. Материалнинг механик хоссаларини урганишда нормал кучланиш σ ва нисбий деформация ε уртасидаги боцланишни билдирувчи диаграммадан фойдаланиш кулай.

Бу ерда $\sigma = \dfrac{P}{F_0}$ ва $\varepsilon = \dfrac{\Delta l}{l_0}$

Шунинг учун бу диаграмма аввалгидан факат масштаби билан фарк килади.

Материалнинг механик тавсифлари шу диаграмманинг узига хос нукталаридан олинади ва куйидагича белгиланади:



$\sigma_{пп}$ - пропорционаллик чегараси. Бу нуктагача деформация билан кучланиш пропорционал булиб, Гук конуни уз кучига эгадир.

$\sigma_{э}$ - эластиклик чегараси. Пропорционаллик чегарасига жуда якин булган бу нуктагача деформация эластикдир.

$\sigma_{ок}$ - окиш чегараси. Окиш зонасининг бошланцич нуктаси.

$\sigma_{м}$ - мустахкамлик чегараси. Материал бардош бера оладиган энг катта кучланиш. Бу катталикалар материалларнинг мустахкамлик тавсифлари деб аталади. Булардан ташкари материалларнинг пластик тавсифи деб аталадиган, ахамиятга эга куйидаги иккита механик тавсиф, мавжуд:

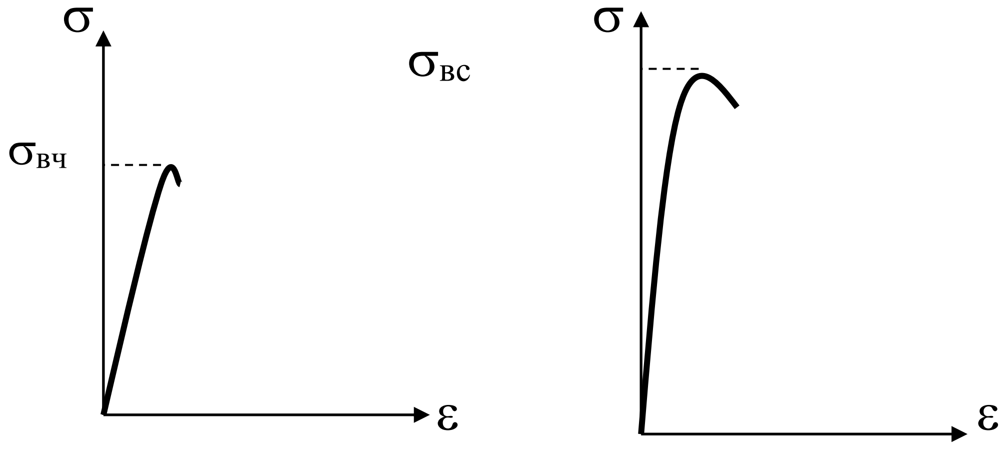
$$\delta=\frac{l_1-l_0}{l_0}100\%,$$ - нисбий колдик узайиш.

$$\psi=\frac{F-F_б}{F}100\%$$ - нисбий колдик торайиш.

Пластик материалларнинг сикилиш диаграммаси мустахкамланиш зонасигача Чўзилиш диаграммасига ухшаш булиб, факат ишоралари манфий булади.

Мурт материалларнинг Чўзилиш ва сикилиш диаграммалари.

Мурт материалларнинг Чўзилиш ва сикилишга каршилиги хар хил, Чўзилишга заиф булиб, сикилишга яхши каршилик курсатади.



$\sigma_{вч}$; $\sigma_{вс}$- сикилиш ва Чўзилишга вактинча каршилик.

Материалларнинг механик тавсифларига
ташки мухитнинг таъсири.

Юкорида курсатилган тажриба наитижалари 20°С атрофида булган хона шароитида утказилган намуналар синовига тегишлидир. Лекин, куп машина кисмлари жуда юкори температураларда, баъзи конструкциялар эса паст температураларда ишлайди.

Купгина материаллар учун мустахкамлик тавсифлари ($\sigma_{М}$, $\sigma_{ОК}$, $\sigma_{ПП}$) температура кутарилиши билан камаяди, пасайиши билан - ортади. Пластик характеристикалар эса температура кутарилиши билан ортади, пасайиши билан камаяди. Температура ортиши билан эластиклик модули Е камаяди, Пуассон коэффициента ортади.

Мустахкамлик шартлари. Рухсат этилган кучланишлар.

Конструкциялар мустахкам, ишончли ва узок вакт ишлаши учун унинг элементларининг кундаланг кесимларида хосил буладиган энг катта кучланишлар тажриба ёрдамида аникланган булиб, рухсат этилган кучланишлардан ортиб кетмаслиги шарт.

Бу - шарт мустахкамлик шарти дейилади ва куйидагича ифодаланади:

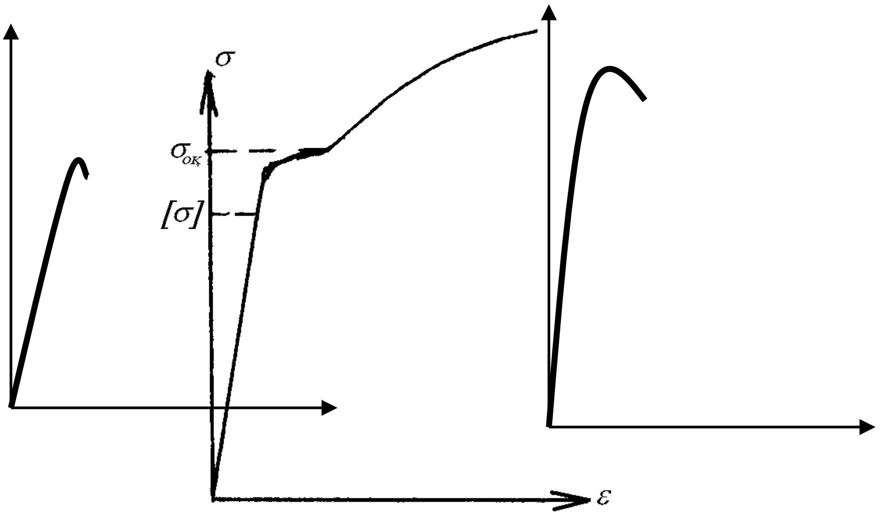
а) пластик материаллар учун: $\sigma_{\max} \le [\sigma]$

б) мурт материаллар учун: $\left.\begin{array}{l} \max\sigma_ч \le [\sigma]_ч \\ \max\sigma_c \le [\sigma]_c \end{array}\right\}$

Бу ердаги $[\sigma], [\sigma]_ч, [\sigma]_c$ катталиклар рухсат этилган кучланишлар дейилади ва куйидагича аникланади:

а) пластик материаллар учун: $[\sigma] = \dfrac{\sigma_{ок}}{n}$

б) мурт материаллар учун:



σ

σ

[σ]ч --

[σ]с ---

ε

ε

Бу ердаги n - мустахкамликка эхтиетлик коэффициенти.

Назорат саволлари:

1. Нима учун материалларнинг асосий хоссаларини чузиш тажрибаларида урганилади?
2. Тажриба утказиладиган мослама кандай ишлайди?

3. Эластикликлик зонасига изох беринг.
4. Окувчанлик зонасига изох беринг.
5. Мустахкамланиш зонасига изох беринг.
6. Махаллий окиш зонасига изох беринг.
7. Пропорционаллик чегараси нима?
8. Эластиклик чегараси нима?
9. Мустахкамлик чегараси нима?
10. Чўзилиш диаграммасига ташки мухитнинг таъсири кандай?

4 Мавзу

5 - Маъруза

Чўзилиш ва сикилишда мустахкамлик ва бикрлик хисоблаш - 2 соат.

Режа: Чўзилиш ва сикилишда рухсат этилган кучланишлар ва рухсат этилган кучлар буйича хисоблаш. Статик ноаник масалалар, уларни ечиш тартиби. Температура узгариши ва конструкцияни йиғишда йул куйилган хатолар таъсирида хосил буладиган масалалар.

Таянч тушунча ва иборалар:

Рухсат этилган кучланишлар, рухсат этилган кучлар, окиш чегараси, статик ноаниклик даражаси, кушимча деформация тенгламалари, статиканинг мувозанат тенгламалари.

Тавсия этилган адабиетлар

Асосийлари:

[1., 33-38 б.; 2., 49-64 б.; 3., 33-47 б.; 4., 56-64 б.]

Кушимчалари:

[1., 47-57 б.; 2., 44-48 б.]

Матн

Факат статика тенгламаларидан фойдаланиб хисоблаб булмайдиган конструкциялар (тизимлар) статик ноаник конструкциялар (тизимлар) дейилади. Бундай конструкцияларнинг элементларига таъсир этувчи зурикишларни хисоблаш-статик ноаник масала булади. Хамма статик ноаник. масалаларни куйидагича уч турга ажратиш мумкин:

1. Икки томонидан махкамланган битта стержен.
2. Узаро параллел стерженлар тизими, хусусий холларда стерженларнинг баъзилари параллел булмаслиги мумкин.
3. Бир тугунда учрашувчи стерженлар тизими

Статик ноаник масалалар куйидаги сабабларга кура хосил булади:

а) куйилган ташки кучлар таъсиридан;

б) температура узгариши таъсиридан;

в) конструкцияни (тизимини) йиғишда йул куйилган хатолар натижасида;

г) а, б, в-лар комбинацияларидан.

Демак, статик ноаник масалаларда номаълум кучлар сони статиканинг мувозанат тенгламалари сонидан ортик булади. Бундай масалаларни ечиш учун кушимча тенгламалар тузилади. Бундай тенгламалар деформация тенгламалари дейилади ва улар тизим элементлари деформацияларининг узаро геометрик боцланишларидан олинади. Бундай тенгламалар тузишни мисолларда курамиз.

Статик ноаник масалалар куйидаги тартибда ечилади:

1. Тизимга куйилган хамма ташки кучларни белгилаш.
2. Статиканинг мумкин булган мувозанат тенгламаларини тузиш.
3. Масаланинг статик ноаниклик даражасини аниклаш:

$$c=n-s \quad (t)$$

с-масаланинг статик ноаниклик даражаси;

п - номаълум кучлар сони

S - статиканинг мувозанат тенгламалари сони.

4. Деформацнинг кушимча тенгламаларини тузиш.
5. Кушимча тенгламалар таркибидаги кучишларни зурикишлар билан алмаштириш.
6. Хамма тенгламаларни биргаликда ечиш.

Чўзилиш ва сикилищдаги мустахкамликка хисоблаш, рухсат этилган кучланишлар, ёки рухсат этилган кучлар буйича олиб борилади. Рухсат этилган кучланишлар буйича мустахкамлик шарти:

$$\sigma_{\max} \le [\sigma] \qquad (2) \qquad \text{бу ерда}$$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{ок}}{n}$$

Рухсат этилган кучлар буйича мустахкамлик шарти:

$$P_{\max} \le [P] \qquad (3) \qquad \text{бу ерда} \quad [P] = P_{ЧЕГ} / n$$

$P_{чег}$ - чегаравий куч.

Чегаравий, хавфли куч деб, кучланиш окиш чегарасига етгандаги куч микдорига айтилади.

Статик аник масалалар учун (2) ва (3) шартлар буйича хисоблар бир хил натижа беради. Статик ноаник масалалар учун эса (3) шарт буйича хисоблаш (2) шартга караганда камрок материал сарфлашга имкон беради. Бу шарт буйича хисоб натижалари тажрибалар ердамида аникланганига якинрок булади.

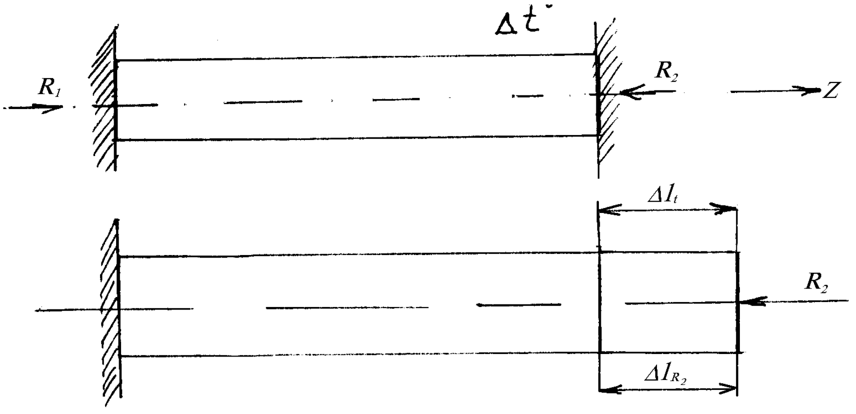
Мисол:

Стержен урнатилгандан сунг температура Δt га узгаради, l, Δt, E, F лар берилган. Стержен кундаланг кесимида хосил буладиган кучланишлар аниклансин.

$$\sum Z = 0 \qquad R_1 - R_2 = 0 \qquad \Delta l_t + \Delta l_{R2} = 0$$

$$\alpha \cdot l \cdot \Delta t - \frac{R_2 l}{EF} = 0 \Rightarrow R_2 = R_1 = \alpha \cdot EF \cdot \Delta t$$

$$\sigma = -\alpha \cdot E \cdot \Delta t$$



Назорат саволлари:

1. Кандай тизим статик ноаник тизим дейилади?
2. Статик ноаниклик даражаси кандай белгиланади?
3. Кушимча тенгламалар кандай тузилади?
4. Статик ноаникликни очиш тартиби.
5. Кандай сабабларга кура статик ноаник масалалар хосил булади?

5-Мавзу.

Текис шаклларнинг геометрик тавсифлари - 4соат.

6 - Маъруза

Текис шаклларнинг статик ва инерция моментлари. Оддий шаклларнинг инерция моментлари - 2 соат.

Режа: Текис шаклларнинг укларга нисбатан статик моментлари. Шакл оцирлик марказининг холати. Марказий уклар. Текис шаклларнинг укларга, кутбга нисбатан ва марказдан кочувчи инерция моментлари. Оддий шаклларнинг инерция моментлари.

Таянч тушунча ва иборалар:

Статик моментлар, укларга нисбатан инерция моментлари, марказдан кочувчи инерция моментлари, кутб инерция моментлари, текис шаклнинг оцирлик маркази, марказий уклар, учбурчак, туртбурчак, дойра ва халкаларнинг инерция моментларини хисоблаш.

Тавсия этилган адабиетлар

Асосийлари:

[1., 63-71 б.; 2., 131-143 б.; 3., 137-144 б.; 4., 128-132 б.]

Кушимчалари:

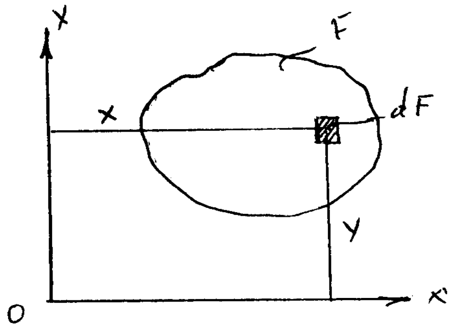
[1., 150-155 б.; 2., 121-128 б.]

Матн.
Текис шаклларнинг статик моментлари.

Текис шаклдан ажратилган элементар юзачаларнинг укларгача булган масофаларга купайтмаларининг йиғиндиси (интеграли) шу шаклнинг берилган укларга нисбатан статик моменти дейилади.

$$S_X = \int_F ydF$$

$$S_y = \int_F xdF \qquad (1)$$



Агар шаклнинг юзаси ва унинг оцирлик марказининг холати маълум булса, (1) ифодани куйидагича ёзиш мумкин:

$$S_X = F \cdot y_C$$

$$S_y = F \cdot x_C \qquad (2)$$

Бу ифодадан текис шаклнинг оцирлик маркази холатини аникловчи ифодани келтириб чикариш мумкин:

$$y_C = \frac{\sum S_X}{\sum F} \qquad x_C = \frac{\sum S_Y}{\sum F} \qquad (3)$$

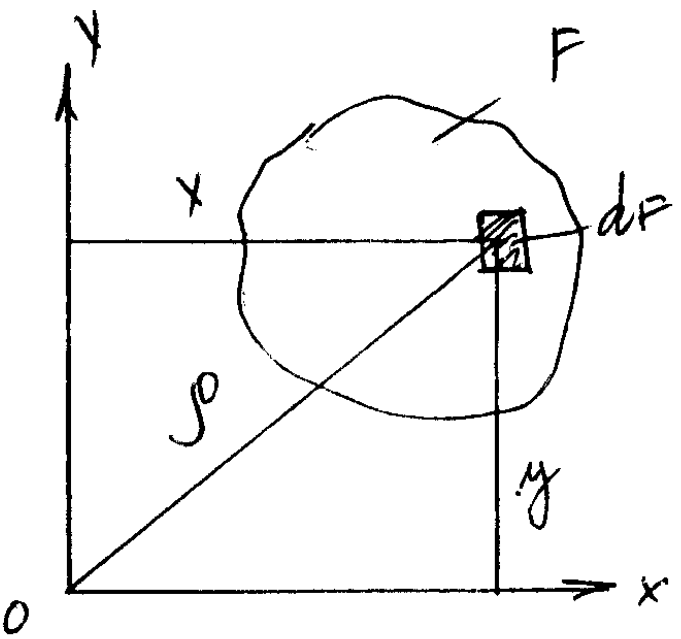
Бу ердаги: ΣS_x , ΣS_y - шаклни ташкил этувчи шаклчаларнинг x ва y укларига нисбатан статик моментлар йиғиндиси.

ΣF - шаклни ташкил этувчи оддий шаклчаларнинг юзалари йиғиндиси.

Шаклнинг оцирлик марказидан утувчи уклар марказий уклар дейилади. Марказий укларга нисбатан статик моментлар нолга тенг булади.

Статик моментлар мм^3, см^3 ва хоказоларда улчанади.

Статик моментлар мусбат ва манфий кийматларга эга булиши мумкин.



Текис шаклларнинг инерция моментлари.

Текис шаклдан ажратилган элементар юзачаларнинг, уккача булган масофа квадратига купайтмалари йиғиндиси (интеграли) шаклнинг инерция моменти дейилади.

$$J_X = \int_F y^2 dF$$

$$J_y = \int_F x^2 dF \qquad (4)$$

Текис шаклдан ажратилган элементар юзачаларнинг координата укларигача булган масофаларга купайтмаларининг йиициндиси (интеграли) шаклнинг марказдан кочувчи инерция моменти дейилади.

$$J_{XY} = \int_F xydF \qquad (5)$$

Текис шаклдан ажратилган элементар юзачаларнинг кутбгача булган масофанинг квадратларига купайтмаларининг йиициндиси шаклнинг кутбга нисбатан инерция моменти дейилади.

$$J_P = \int_F \rho^2 dF \qquad (6)$$

Шаклдан $\rho^2 = y^2 + x^2$

$$J_P = \int_F \rho^2 dF = \int_F (y^2 + x^2) dF = \int_F x^2 dF + \int_F y^2 dF$$

$$J_p = J_x + J_y = const \qquad (7)$$

Инерция моментлари мм^4, см^4 ва хоказоларда улчанади.

Укларга ва кутбга нисбатан инерция моментлари факат мусбат кийматларга, марказдан кочувчи инерция моментлари мусбат ва манфий кийматларга эга булишлари мумкин.

Назорат саволлари:

1. Марказий уклар кандай аникланади?
2. Марказий укка нисбатан статик момент нимага тенг?
3. Статик моментларнинг ишоралари кандай булиши мумкин?
4. Шаклнинг укларга нисбатан инерция моментлари кандай аникланади?
5. Оддий шаклларнинг инерция моментлари кандай хисобланади?

7 - Маъруза

Бош уклар ва бош инерция моментлари. Кесимнинг каршилик моментлари. Инерция радиуслари - 2 соат.

Режа: Уклар параллел кучирилганда инерция моментларининг узгариши. Уклар бурилганда инерция моментларининг узгариши. Бош уклар ва бош инерция моментлари. Каршилик моментлари. Инерция радиуслари.

Таянч тушунча ва иборалар:

Уклар параллел кучирилганда инерция моментларининг узгариш ифодалари, уклар бурилганда инерция моментларининг узгариш ифодаоари, бош уклар ва уларнинг холатларини топиш ифодалари, каршилик моментлари, инерция радиуслари.

Тавсия этилган адабиетлар

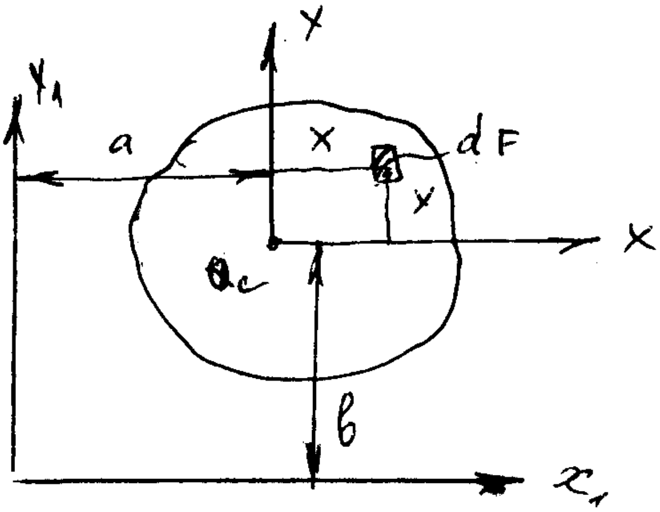
Асосийлари:
[1., 71-76 б.; 2., 143-154 б.; 3., 137-144 б.; 4., 128-132 б.]
Кушимчалари:
[1., 150-155 б.; 2., 121-128 б.]

Матн.

Укларни параллел кучирганда инерция моментларининг узгариши.

x, y - марказий уклар.

$x_1 = x + a, \quad y_1 = y + c$



$$J_{X1} = \int_F y_1^2 dF = \int_F (y+c)^2 dF = \int_F y^2 dF + 2c\int_F ydF + c^2F = J_X + 2c\cdot S_X + c^2\cdot F$$

$$J_{Y1} = \int_F x_1^2 dF = \int_F (x+a)^2 dF = \int_F x^2 dF + 2a\int_F xdF + a^2F = J_Y + 2a\cdot S_Y + a^2\cdot F$$

$$J_{X1Y1} = \int_F x_1 y_1\, dF = \int_F (y+c)(x+a) dF = \int_F xydF + a\int_F ydF + c\int_F xdF + acF = J_{XY} + aS_X + cS_Y + acF$$

Аммо x ва y уклари марказий булгани учун: $S_x = S_y = 0$

Демак

$$J_{X1} = J_X + c^2F$$
$$J_{Y1} = J_Y + a^2F \qquad (8)$$
$$J_{X1Y1} = J_{XY} + acF$$

Уклар бурилганда инерция моментларининг узгариши

α- уклар тизимининг бурилиш бурчаги.

$y_1 = y\cos\alpha - x\sin\alpha$

$x_1 = y\sin\alpha + x\cos\alpha$

Янги укларга нисбатан хисобланган инерция моментлари математик алмаштиришлардан сунг, куйидаги куринишга эга булади:

$$J_{X1} = J_X \cos^2\alpha + J_Y \sin^2\alpha - J_{XY}\sin 2\alpha$$

$$J_{Y1} = J_X \sin^2\alpha + J_Y \cos^2\alpha - J_{XY}\sin 2\alpha \qquad (9)$$

$$J_{X1Y1} = \frac{J_X - J_Y}{2}\sin 2\alpha + J_{XY}\cos 2\alpha$$

Бош уклар ва бош инерция моментлари.

Янги укларга нисбатан аникланган инерция моментларининг экстремал кийматларини топамиз. Бунинг учун J_x ёки J_y нинг узгариш функцияларидан α га нисбатан хосила оламиз ва уни нулга тенглаймиз.

$$\frac{dJ_{X1}}{d\alpha} = 0$$

Натижада, куйидаги ифодани хосил киламиз.

$$\frac{J_X - J_Y}{2}\sin 2\alpha + J_{XY}\cos 2\alpha = 0$$

Хосил булган формуларни (9) ифода билан солиштириб, куйидаги хулосага келамиз: марказдан кочувчи инерция моментлари укларга нисбатан инерция моментларининг биринчи тартибли хосиласи булиб, унинг киймати экстремал булган укларга нисбатан нулга тенг булади. Бундай уклар бош уклар дейилади.

Бош укларга нисбатан инерция моментлари ёки укларга нисбатан инерция моментларининг экстремал кийматлари бош инерция моментлари, дейилади.

Юкоридаги ифодадан марказий уклар холатини аниклаймиз:

Топилган α_0 ни (9)нинг биринчи ифодасига куйиб бош инерция моментларини

$$tg2\alpha_0 = -\frac{2J_{xy}}{J_x - J_y}$$

аниклаймиз:

$$J_{\max,\min} = \frac{J_x + J_y}{2} \pm \frac{1}{2}\sqrt{(J_x - J_y)^2 + 4J^2{}_{xy}}$$

Укларга ва кутбга нисбатан каршилик моментлари:

Кутбга нисбатан каршилик моменти:

$$W_p = \frac{J_p}{\rho_{\max}}$$

Укларга нисбатан каршилик моментлари:

$$W_x = \frac{J_x}{y_{\max}}$$

(13)

$$W_y = \frac{J_y}{x_{\max}}$$

ρ_{max} - шаклнинг кутбдан энг узокда жойлашган нуктасигача булган масофа.

х, у - марказий уклар.

x_{max} ва y_{max} - шаклнинг марказий укларидан энг узокда жойлашган нукталаригача булган масофалар.

Каршилик моментлари мм^3, см^3, ва хоказоларда улчанади.

Текис шаклларнинг инерция радиуслари.

Текис шаклларнинг кутбга ва укларга нисбатан инерция моментларини куйидагича ифодалаш мумкин:

$$J_p = i_p^2 \cdot F \qquad J_x = i_x^2 \cdot F \qquad J_v = i_v^2 \cdot F$$

Бу ердаги i_p, i_y, i_p - лар шаклнинг геометрик характеристикаларидан булиб, шаклнинг кутбга ва укларга нисбатан инерция радиуслари дейилади ва куйидагича хисобланади:

$$i_p = \sqrt{\frac{J_p}{F}}$$

$$i_x = \sqrt{\frac{J_x}{F}} \qquad (14)$$

$$i_y = \sqrt{\frac{J_y}{F}}$$

Назорат саволлари:

1. Кандай ифодалар буйича уклар параллел кучирилганда укларга нисбатан инерция моментлари аникланади?
2. Кандай ифода буйича уклар параллел кучирилганда марказдан к,очувчи инерция моменти аникланади?
3. Бош укларнинг холати кандай аникланади?
4. Бош инерция моментларининг кийматлари кандай аникланади?
5. Каршилик моментлари кандай аникланади?
6. Инерция радиуслари кандай аникланади?

6 - Мавзу

Текис кундаланг эгилиш - 4 соат.

8 - Маъруза.

Тусинларнинг туцри эгилиши - 2 соат

Режа: Эгилиш деформацияси, эгувчи момент ва кундаланг куч. М, Q ва q лар орасидаги дифференциал боцланишлар, ички зурикиш кучлари эпюралари, соф ва кундаланг эгилиш.

Таянч тушунча ва иборалар:

Туцри ва кия эгилиш, эгувчи момент, кундаланг куч, эгилишнинг асосий белгилари, M, Q ва q лар орасидаги дифференциал боцланишлар, ички кучлар ишоралари ва эпюралари.

Тавсия этилган адабиетлар

Асосийлари:
[1., 102-108 б.; 2., 155-184 б.; 3., 192-211 б.; 4., 158-170 б.]
Кушимчалари:
[1., 233-243 б.; 2., 133-140 б.]

Матн

Брус кундаланг кесимида ички зурикиш кучларидан эгувчи моментлар мавжуд булса, хосил буладиган деформация эгилиш деб аталади. Асосан эгилишга ишловчи бруслар тусинлар дейилади. Агар тусин кам деганда битта симметрия текислигига эга булиб, унга таъсир этувчи ташки кучлар шу текисликда ётса, эгилиш текис дейилади (1-шакл), ташки кучлар симметрия текислигида ётмасдан. ихтиёрий жойлашса, эгилиш кия дейилади.

Тусинларнинг хисоби пассив ташки кучлар саналадиган таянчлар реакцияни аниклашдан бошланади.

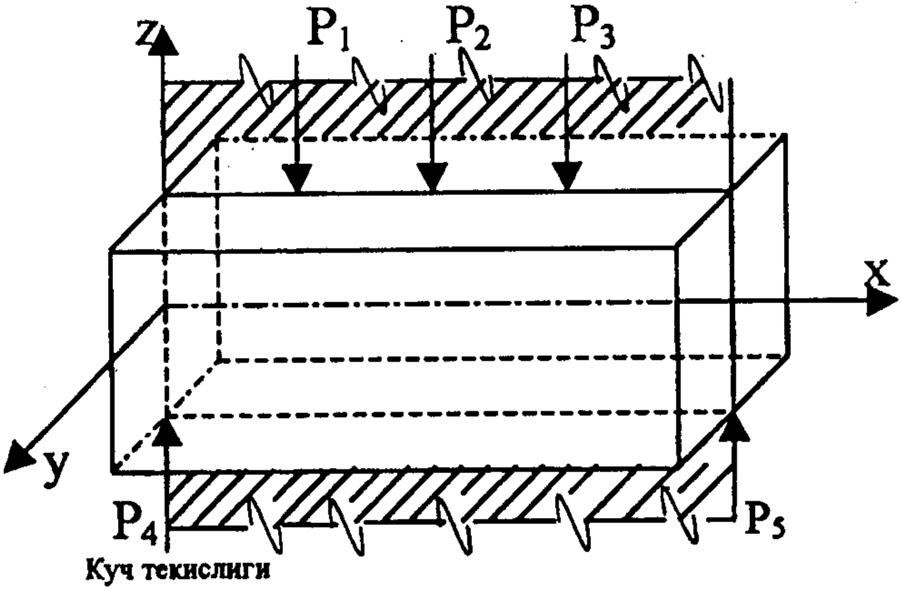
Текисликда жойлашган тусинларга оид таянчлар уч турга булинади:

1) Шарнирли кузцалувчан таянч;

2) Шарнирли кузцалмас таянч;

3) Кистириб махкамланган таянч.

Таянч реакциялари статиканинг мувозанат тенгламаларидан фойдаланиб аникланади.

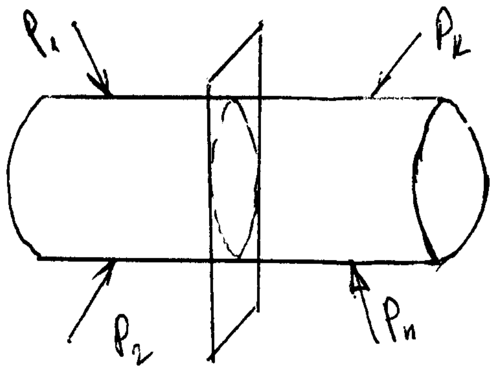


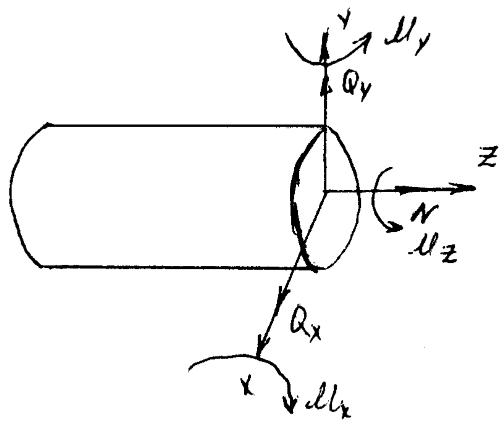
Материаллар каршилиги курсида куриладиган масалалар, статик аник ва статик аникмас булишлари мумкин.

Агар тусиннинг таянч реакциялари факат статиканинг мувозанат тенгламалари ёрдамида аникланса, бундай тусинлар статик аник тусинлар дейилади.

Агар номаълум таянч реакциялари сони шу тусин учун тузилган статика тенгламалари сонидан ортиб кетса, у холда, тусинлар статик аникмас тусинлар дейилади. Бундай тусинларнинг реакцияларини аниклаш учун кушимча тенгламалар (деформация тенгламалари) тузиш лозим булади.

Тусинлардаги зурикиш кучларини аниклаш





Тусинларнинг турли кесимларидаги кучланишларини билиш учун аввал уларда хосил буладиган зурикиш кучларини аниклашни урганамиз.

Исталган кундаланг кесимдаги ички кучларни аниклаш учун кесиш усулидан фойдаланамиз, яъни тусинни чап таянчидан z масофада mn текислик билан кесиб, уни икки булакка ажратамиз. Ажратилган кисмлардан бирини (масалан чап кисмини) ташлаб юбориб, колган кисмининг мувозанатини текширамиз. Тусиннинг кесимига ташлаб юборилган кисмнинг таъсирини ифодаловчи кучларни куямиз, бу кучлар шу кесимдаги зурикиш кучларига эквивалент булади. Бунда M_x кучларни кесим марказига кучиришда хосил булган жуфт кучлар моментларининг алгебраик йициндиси. Зурикиш кучларидан бирини ифодаловчи жуфт куч моменти эгувчи момент дейилади. Эгувчи моментни M_x билан белгилаймиз, зурикиш кучини Q кесувчи (кундаланг) куч дейилади.

Эгувчи момент, кесувчи куч ва ёйилган куч интенсивлиги орасидаги дифференциал боцланишлар.

Эгувчи момент M_x билан кесувчи Q_y куч орасидаги математик боцланишни куриб чикамиз. Ихтиёрий юкланган тусин берилган булсин. Унинг ёйилган куч куйилган участкасидан, яъни чап таянчидан z хамда z + dz масофадаги кесимлар ёрдамида dz узунликдаги бир элементини ажратамиз.

Ажратилган элементнинг мувозанатлик тенгламаси:

$$qdz - dQ_y = 0$$

$$Q_y dz - dM_x = 0$$

Ушбу мувозанат тенгламаларидан куйидагиларни хосил киламиз:

$$\frac{dQ_y}{dz} = q$$

$$\frac{dM_x}{dz} = Q_y$$

$$\frac{d^2M_x}{dz^2} = \frac{dQ_y}{dz} = q$$

Бу дифференциал тенгламалар эгувчи момент ва кесувчи куч эпюраларини чизишда ва уларни текширишда мухим ахамиятга эга.

Назорат саволлари:

1. Тусин деб нимага айтилади?
2. Кандай холда текис эгилиш содир булади?
3. Тусин таянчларининг турлари кандай булади?
4. Кузцалувчан таянчда нечта реакция куч хосил булади?
5. Кузцалмас таянчда нечта реакция куч хосил булади?
6. Кистириб махкамланган таянчда нечта реакция куч хосил булади?
7. Кандай холда тусин статик аник ёки статик аникмас булади?
8. Кундаланг куч нима?
9. Эгувчи момент нима?
10. Q_y ва M_x эпюралари ёрдамида кандай муаммолар хал килинади?

9 - Маъруза

Соф эгилиш. Эгилишда мустахкамликка хисоблаш - 2 соат

Режа: Соф эгилиш, чузилувчи ва сикилувчи катламлар, нейтрал катлам, нейтрал ук, нормал кучланишни аниклаш, пластик ва мурт материаллар учун мустахкамлик шартлари, укка нисбатан каршилик моментлари.

Таянч тушунча ва иборалар:

Эгилишда нормал ва уринма кучланишлар, нейтрал катлам, нейтрал ук, кесим учун координата укларини танлаш, эгилишда мустахкамликка хисоблаш, кесимнинг укка нисбатан каршилик моменти, пластик ва мурт материаллар учун мустахкамлик шартлари, кесимни рационал танлаш, стандарт шакллар.

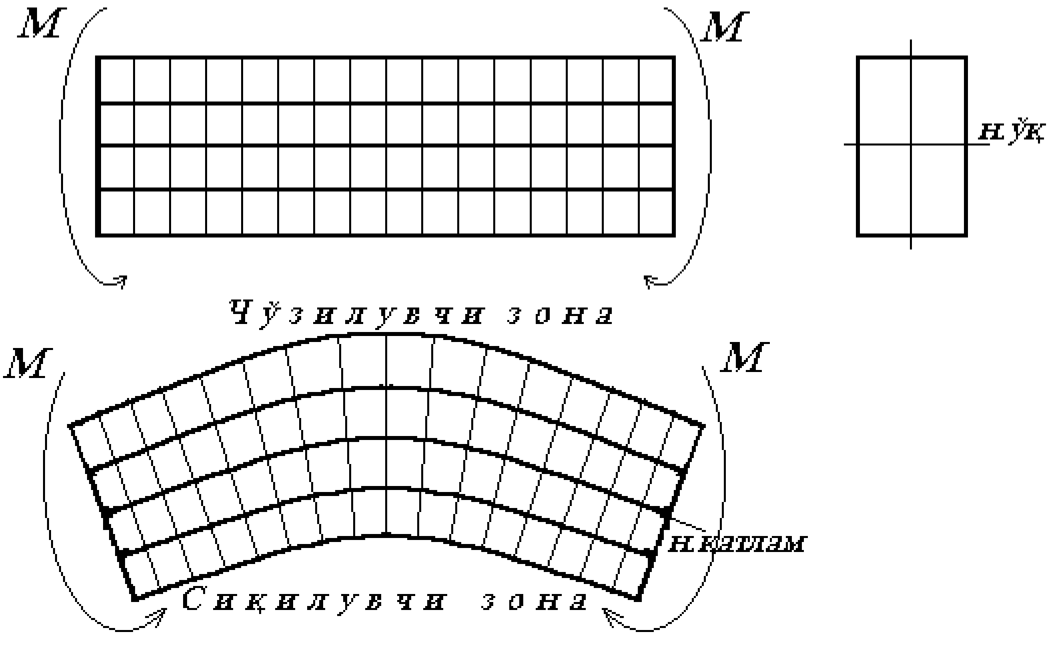
Тавсия этилган адабиетлар

Асосийлари:
[1., 117-124 б.; 2., 156-196 б.; 3., 216-222 б.; 4., 173-204 б.]
Кушимчалари:
[1., 266-274 б.; 2., 140-161 б.]

Матн:

Текис эгилишда булган тусинни курамиз. Тусиннинг кундаланг кесимларида ички зурикиш кучларидан факат эгувчи момент хосил булса (M=const, Q=0), соф эгилиш дейилади, эгувчи моментлардан ташкари кундаланг кучлар хам мавжуд булса эгилиш - кундаланг дейилади.

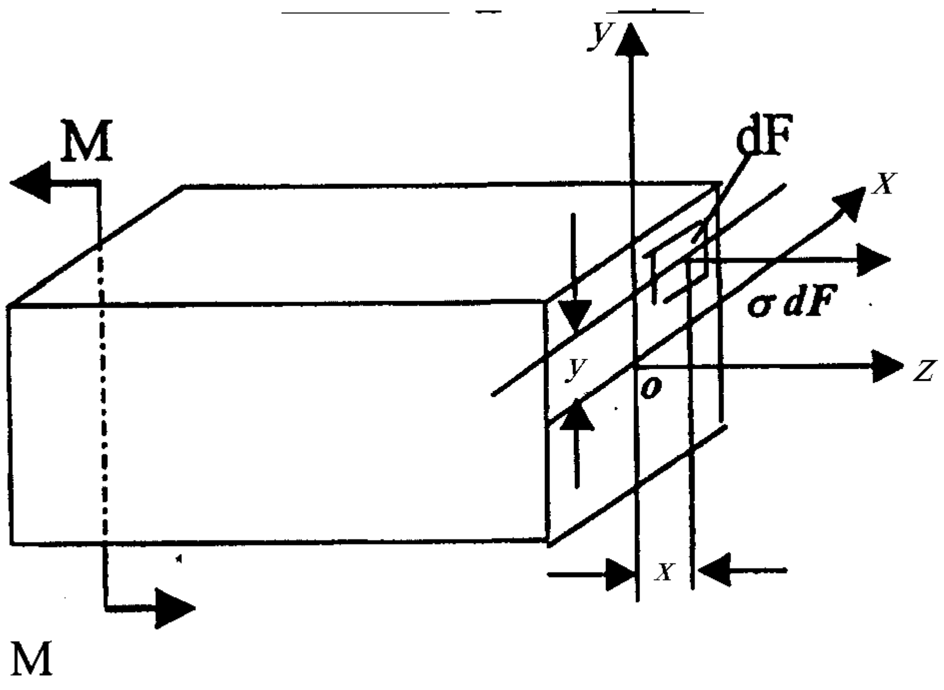
Соф эгилишга ишловчи тусиннинг кундаланг кесимлари деформациядан кейин хам текислигича колади, уни ташкил этувчи толалар оддий Чўзилишга ёки сикилишга ишлайди. Тусин икки зонага (чузилувчи ва сикилувчи) ажралади. Бу зоналарни чегаралувчи, бошкача айтганда деформацияланмайдиган катлам нейтрал катлам дейилади. Нейтрал катлам билан кундаланг кесимнинг кесилиш чизици шу кесимнинг нейтрал уки дейилади.



Соф эгилищдаги тусиннинг ихтиёрий кундаланг кесимида хосил буладиган кучланишларни аниклаймиз. Кесимнинг нейтрал укини x билан белгилаймиз. Статиканинг мувозанат тенгламаларини тузамиз:

$$\begin{array}{ll} \sum Z = 0 & \int\limits_F \sigma \cdot dF = 0 \\ \sum M_x = 0 & \int\limits_F \sigma \cdot y \cdot dF = M \\ \sum M_y = 0 & \int\limits_F \sigma \cdot x \cdot dF = 0 \end{array} \qquad (1)$$

Нейтрал ук x-нинг холати номаълум булгани учун, юкоридаги ифодалардан фойдаланиб кучланишни хисоблаб булмайди. Тусиндан ажратилган чексиз кичик dz элементнинг деформациясини курамиз.



СД толанинг деформациясини аниклаймиз

ΔСД=С$_1$Д$_1$-СД бу ерда С$_1$Д$_1$=(ρ+y)·dθ, СД=АВ=ρ·dθ

Демак, ΔСД = y·dθ, Нисбий деформация Ɛ=y/ρ

Гук конунига асосан

$$\sigma = E \cdot \frac{y}{\rho} \quad (2)$$

Ушбу ифодани (1) га куямиз:

$$\frac{E}{\rho}\int_F y dF = 0$$

Демак:

$$\int_F y dF = 0$$

Бу ифода эса кесимнинг x укига нисбатан статик моменти булиб, y марказий укларга нисатан нул булади. Демак, нейтрал ук x кесимнинг оцирлик марказидан утади.

Шунга ухшаш:

$$\frac{E}{\rho}\int_F y^2 dF = \frac{E}{\rho} J_x = M$$

Бу ердан:

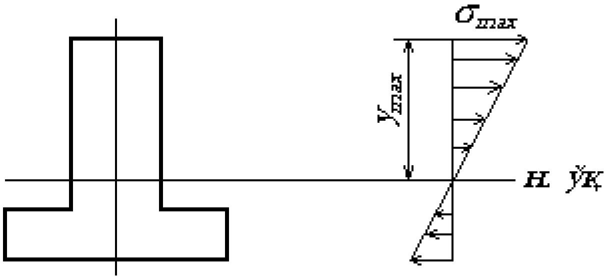
$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EJ}$$

(3)

(3)ни (2)га куямиз ва нормал кучланишларни хисоблаш ифодасини хосил киламиз:

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{J_x} \qquad (4)$$

(4)га асосан тусин кесим юзаси буйича нормал кучланишлар куйидагича таркалади:



Мустахкамлик шартини тузамиз:

а) Пластик материаллар учун

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} \cdot y_{\max}}{J_x} = \frac{M_{\max}}{\frac{J_x}{y_{\max}}}$$

Бу ерда $W_x = J_x / y_{max}$ (5)

W_x - кесимнинг укка нисбатан каршилик моменти дейилади.

Демак $\boldsymbol{\sigma_{max} = M_{max} / W_x \leq [\sigma]}$ (6)

б) Мурт материаллар учун

$$\sigma_{\max c} = \frac{M_{\max} \cdot y_{\max c}}{J_x} \leq [\sigma]_c$$

(7)

$$\sigma_{\max ч} = \frac{M_{\max} \cdot y_{\max ч}}{J_x} \leq [\sigma]_ч$$

Бу ерда $y_{vax\ c}$ ва $y_{max\ ч}$ - нейтрал укда чузилувчи ва сикилувчи зоналарнинг энг узокда жойлашган нукталаригача булган масофалар.

Назорат саволлари:

1. Соф эгилиш нима?
2. Кандай эгилиш кундаланг эгилиш дейилади?
3. Нейтрал катлам нима?
4. Нейтрал ук нима?
5. Тусинларнинг бикрлиги нима?
6. Бикрликнинг улчов бирлиги кандай?
7. Эгилган ук эгрилик радиуси кандай аникланади?
8. Эгилишда нормал кучланиш кандай хисобланади?

9. Пластик материаллар учун мустахкамлик шарти кандай ёзилади?

10. Мурт материаллар учун мустахкамлик шарти кандай ёзилади?

7 - Мавзу

10 - Маъруза

Эгилиш деформацияларини аналитик усулда хисоблаш - 2 соат.

Режа: Эгилиш деформациялари, солкилик ва бурилиш бурчаги орасидаги дифференциал боцланиш, тусин эгилган укининг дифференциал тенгламаси ва уни бевосита интеграллаш, интеграллаш узгармасларини аниклаш, тусин эгилган укининг универсал тенгламаси, универсал тенгламани тузишда бажариладиган шартлар.

Таянч тушунча ва иборалар:

Солкилик, бурилиш бурчаги, тусин эгилган укининг дифференциал тенгламаси, интеграллаш узгармаслари, чегаравий шартлар, тусин эгилган укининг универсал тенгламаси.

Тавсия этилган адабиетлар

Асосийлари:

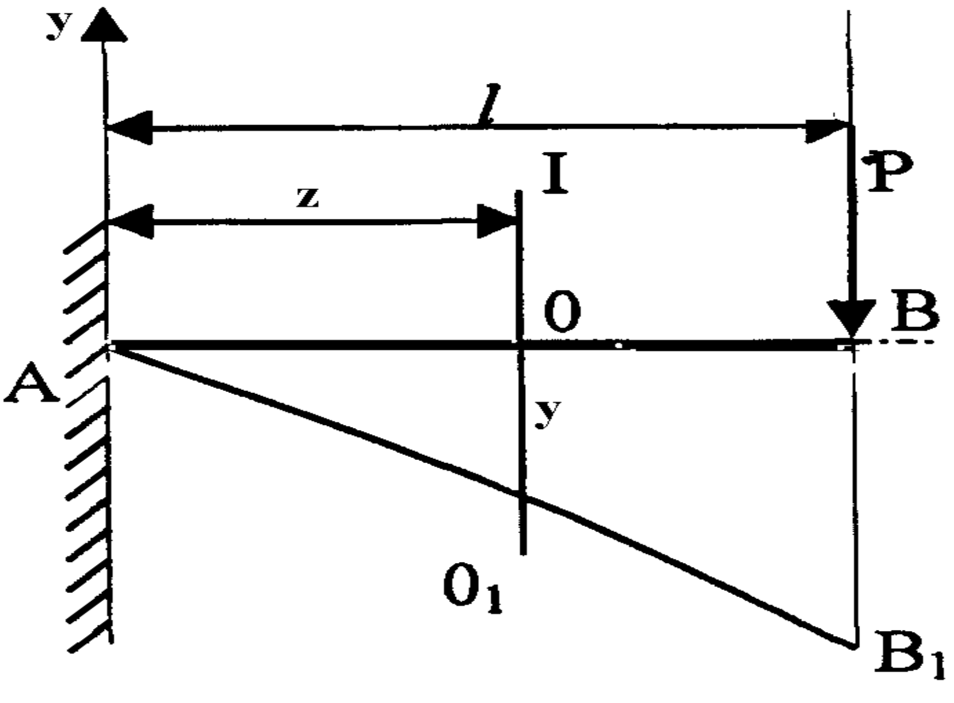
[1., 134-140 б.; 2., 218-226 б.; 3., 259-263 б.; 4., 206-210 б.]

Кушимчалари:

[1., 323-327 б.; 2., 165-169 б.]

Матн.

Тусин кундаланг кесими оцирлик марказининг вертикал кучиши шу кесимнинг солкилиги дейилади ва у харфи билан белгиланади.



Деформация натижасида тусиннинг кундаланг кесими кандайдир бурчакка бурилади. Бу бурчак шу кесимнинг бурилиш бурчаги дейилади ва θ харфи билан белгиланади. Тусинга куйилган кучлар унинг бирор бош инерция текислиги устида ётса, тусиннинг эгилган уки хам шу текислик юзасида эгилади. Юкоридаги чизмада бир учи билан махкамланган ва эркин учига вертикал Р куч куйилган тусиннинг эгилган уки курсатилган. Тусиннинг махкамланган учидан z масофада турган кундаланг кесимнинг оцирлик маркази О вертикал чизик буйича O_1 нуктага, В эса B_1 нуктага кучади.

Тусиннинг кундаланг кесими оцирлик марказининг тусин укига тик йуналишда кучиши ($O \to O_1$ ва $B \to B_1$) тусиннинг шу кесимдаги солкилиги дейилади. Хар бир кесимнинг аввалги вазиятига нисбатан бурилиш бурчаги θ булади.

Амалий максадлар учун тусиннинг хар кандай кесимидаги солкиликни ва кесимнинг бурилиш бурчагини хисоблашга туцри келади, чунки бу билан бизга, бир томондан тусиннинг бикрлигини текширишга имконият туцилса, иккинчи томондан статик аникмас масалаларни ечищда кушимча тенгламалар тузишга ёрдам беради.

Координаталар бошини тусиннинг чап учига жойлаштириб, абсциссалар укини унг томонга тусин уки буйлаб йуналтирамиз. Бу холда тусиннинг эгилган укининг куриниши куйдагича ифодаланади:

$$y=y(z)$$

Эгилган ук буралиш бурчаги эса, эгилган ук тенгламасидан олинган хосилига тенг булиб.

Амалда тусининг солкилиги унинг узунлигига нисбатан жуда кичик микдор

$$tg\theta = \frac{dy}{dx} \qquad \theta = \frac{dy}{dx}$$

булганлигидан, θ бурчак, одатда, 1° дан катта булмайди. Бундай бурчак тангенсининг киймати унинг радиан кийматига тенг булади, яъни $tg\theta = \theta$, деб олиш мумкин. Демак:

Тусин эгилган укининг дифференциал тенгламаси.

Солкилик y=f(z) тенгламасини тузиш учун тусин деформациясини ташки куч билан боцлаш лозим, бундай боцланиш эса куйдагича:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M(z)}{EI_x}$$

Дифференциал геометрия курсидан чизикнинг эгрилиги формуласи маълум:

$$\frac{1}{\rho} = \pm \frac{y''}{\sqrt{(1+y'^2)^3}}$$

Амалда θ жуда кичик булганлигидан $\theta = y'$ ни эътиборга олмасак, юкоридаги формулани куйидагича ёзиш мумкин:

$$\frac{1}{\rho} = \pm y''$$

Бу формуладаги $1/\rho$ нинг эгувчи момент оркали ифодасини куйсак:

$$y'' = \pm \frac{M(z)}{EI_x}$$

Юкоридаги ифодалардан куйидаги натижаларни хосил киламиз:

$$\theta = y'$$

$$\pm M(z) = EI_x \cdot y''$$

Хосил килинган тенгламалар системаси тусин эгилган укининг дифференциал тенгламалари дейилади.

Тусин эгилган ук дифференциал тенгламасини бевосита интеграллаш.

Амалий масалалар ечишда биз У укини хамма вакт вертикал юкорига йуналтириб, эгилган ук тенгламасини мусбат ишора билан оламиз.

Асосий тенгламани интеграллаш натижасида куйидаги ифодани хосил киламиз:

$$EI_x \cdot y(z) = \int_0^l \left[\int_0^l M(z)dz \right] dz + C \cdot z + D$$

Хосил килинган натижага эгилган ук тенгламаси дейилади. Бу ердаги интеграл доимийлари С ва D ларни тусин таянчларидаги махкамланиш ёки чегаравий шартлардан аникланади.

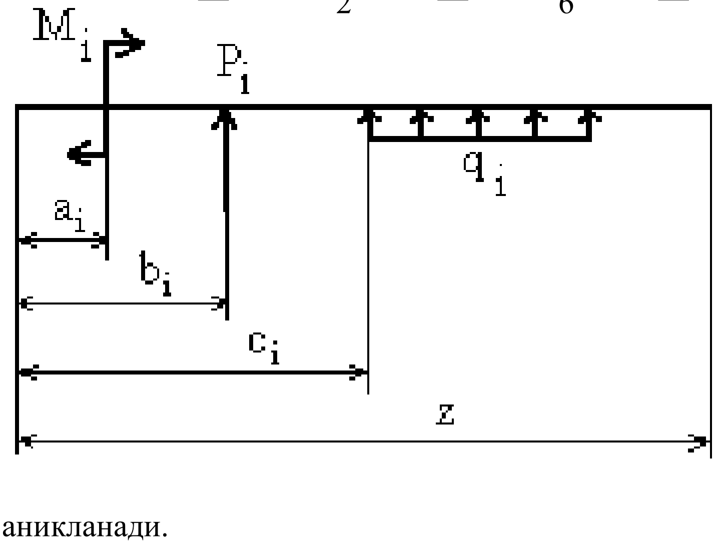
Тусин эгилган укининг универсал тенгламаси.

Айрим амалий масалаларни ечишда тусиннинг маълум кесими солкиликларини аниклаш керак булади. Бундай холларда тусин эгилган укининг универсал тенгламасидан фойдаланиш яхши самара беради.

Айтайлик, тусинга мусбат эгувчи моментлар хосил килувчи ташки кучлар куйилган булсин. У холда тусин эгилган укини интеграллаш натижасида куйидаги ифодани хосил киламиз.

Хосил килинган ифодага тусин эгилган укининг универсал тенгламаси дейилади. Бу ердаги y_0 ва θ_0 лар тусин таянчларидаги чегаравий

$$EI_x y(z) = EI_x y_0 + EI_x \theta_0 z + \sum M_i \frac{(z-a_i)^2}{2} + \sum P_i \frac{(z-b_i)^3}{6} + \sum q_i \frac{(z-c_i)^4}{24}$$



шартлардан аникланади.

Назорат саволлари:

1. Салкилик деганда нима тушунилади?
2. Кундаланг кесимнинг буралиш бурчаги нима?
3. Тусин эгилган укининг тенгламаси кандай ёзилади?
4. Кундаланг кесим буралиш бурчагининг математик ифодаси кандай ёзилади?
5. Тусин эгилган укининг такрибий дифференциал тенгламаси кандай ёзилади?
6. Дифференциал тенглама интегралланганда хосил булган доимийлар кандай аникланади?

7. Тусин эгилган укининг универсал тенгламаси кандай ифодаланади.
8. Тусин эгилган укининг универсал тенгламаси тузилганда кандай шартлар бажарилиши керак?

8 - Мавзу

Кучланиш ва деформацияланиш холатларининг назариялари-6 соат.

11 - Маъруза

Эластик жисм нуктасидаги кучланиш холати - 2 соат

Режа: Кучланиш холатининг тензори ва унинг компонентлари. Уринма кучланишларнинг жуфтлик конуни. Кучланиш холатининг турлари. Ихтиерий холатдаги юзадаги кучланишларни аниклаш. Бош юзалар ва бош кучланишлар. Кучланиш тензорининг инвариантлари.

Таянч тушунча ва иборалар:

Нуктанинг кучланиш холати, нормал ва уринма кучланишлар, уринма кучланишларнинг жуфтлик конуни, кучланишлар тензори, инвариантлар, бош юзалар ва бош кучланишлар.

Тавсия этилган адабиётлар

Асосийлари:

[1., 44-57 б.; 2., 71-75 б.; 3., 78-81 б.; 4., 65-73 б.]

Кушимчалари:

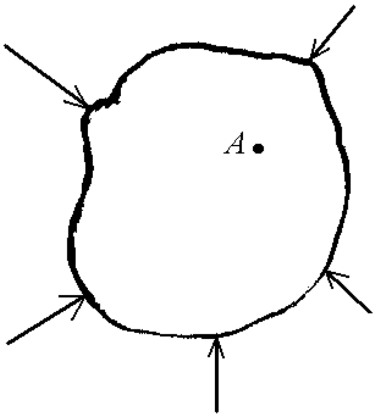
[1., 92-99 б.; 2., 252-258 б.]

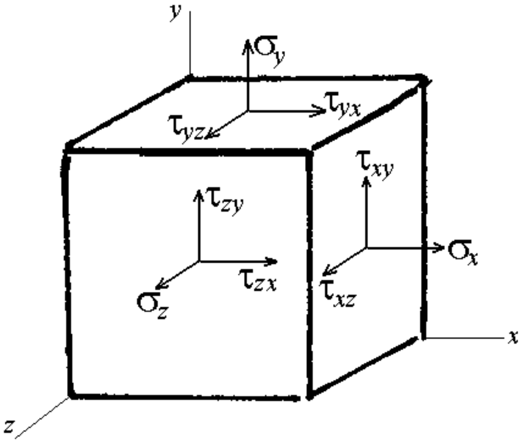
Матн.

Нуктанинг кучланиш холати.

Нуктанинг кучланиш холати деб, мазкур нукта оркали утказилган барча юзачаларда пайдо буладиган кучланишлар тупламига айтилади.

Юкланган жисм исталган нуктасининг кучланиш холатини курсатиш учун нукта атрофида элементлар параллелепипед ажратамиз.





Параллелепипед ёкларида куйидаги кучланишлар пайдо булади:

σ_x, σ_y, σ_z, τ_{xy}, τ_{yx}, τ_{yz}, τ_{zy}, τ_{zx}, τ_{xz}

Параллепипеднинг куринмайдиган томонларида хам шу кучланишларга тенг, факат тескари йуналган кучланишлар мавжуд булади.

Мувозанат тенгламаларини тузамиз:

$$\Sigma M_x=0$$
$$\Sigma M_y=0 \qquad (1)$$
$$\Sigma M_z=0$$

Булардан уринма кучланишларнинг жуфтлик конуни келиб чикади:

$$\tau_{xy}= \tau_{yx}, \quad \tau_{yz}= \tau_{zy}, \quad \tau_{zx}= \tau_{xz}$$

Демак, нуктанинг кучланиш холатини билиш учун куйидаги 6та кучланишларни билиш етарли экан: σ_x, σ_y, σ_z, τ_{xy}, τ_{yz}, τ_{zx}.

Булар кучланиш холатининг компонентлари деб аталади.

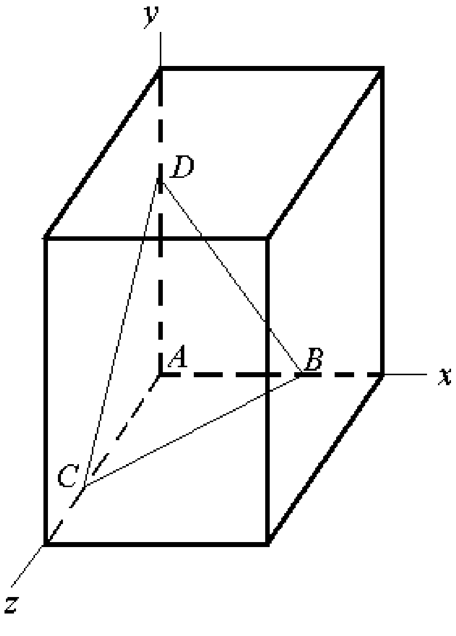
Элементлар параллелепипед ихтиёрий жойлашган булиши мумкин. Барча кучланиш компонентлари мавжуд булса, кучланиш холати фазовий ёки уч укли дейилади.

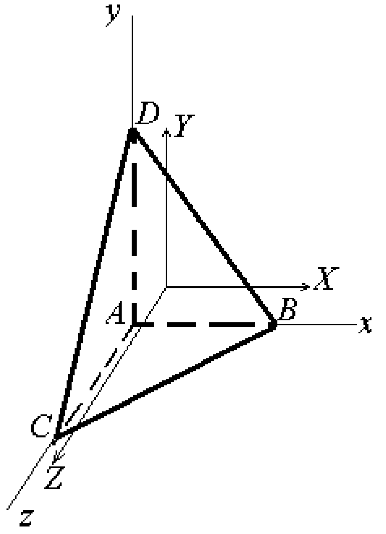
Агар кучланиш компонентлари бирор ук йуналиши буйича нул булса, кучланиш холати текис ёки икки укли дейилади.

Агар кучланиш компонентлари икки ук йуналиши буйича нул булса, кучланиш холати чизикли ёки бир укли дейилади.

Ихтиёрий кия юзачалардаги кучланишлар.

Фазовий кучланиш холатида кучланиш компонентлари (σ_x, σ_y, σ_z, τ_{xy}, τ_{yz}, τ_{zx}) берилган булса, ихтиёрий кия юзачалардаги кучланишларни аниклаш мумкин.





ΔBCD юзасини F, ΔACD юзасини F_x, ΔABC юзасини F_y, ΔABD юзасини F_z билан белгилаймиз.

$$F_x= F \cdot lF_y= F \cdot m \qquad F_z= F \cdot n \qquad (2)$$

Бу ерда $l = \cos \alpha$, $m = \cos \beta$, $n = \cos \gamma$ лар йуналтирувчи косинуслар дейилади. Мувозанат тенгламалирини тузамиз:

$$\begin{aligned} &\sum X = 0 \qquad XF = \sigma_x F_x + \tau_{yx} F_y + \tau_{zx} F_z \\ &\sum Y = 0 \qquad YF = \tau_{xy} F_x + \sigma_y F_y + \tau_{zy} F_z \\ &\sum Z = 0 \qquad ZF = \tau_{xz} F_x + \tau_{yz} F_y + \sigma_z F_z \end{aligned}$$

(2)ни хисобга олсак:

$$\begin{aligned} X &= \sigma_x l + \tau_{yx} m + \tau_{zx} n \\ Y &= \tau_{xy} l + \sigma_y m + \tau_{zy} n \\ Z &= \tau_{xz} l + \tau_{yz} m + \sigma_z n \end{aligned} \qquad (3)$$

йуналтирувчи косинусла орасида куйидаги муносабат мавжуддир: $1^2 + m^2 + n^2 = 1$

(3) ифода оркали ихтиёрий юзачадаги тулик кучланишни аниклаш мумкин.

Умумий холда (3)-ифода учинчи тартибли матрицани беради:

$$T = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix} \qquad (4)$$

Бу матрица кучланишлар тензори, унинг элементлари эса кучланиш тензорининг компонентлари деб аталади.

Бош кучланишлар.

Ихтиёрий кия юзачаларда хосил буладиган кучланишларни (3) ифода буйича аниклашимиз мумкин. Аникланган X.У.Z ларнинг юзачага тик йуналаган прекциялари нормал кучланишни беради. Фазода берилган кучланиш холати учун нормал кучланишлари экстремал, уринма кучланишлари нолга тенг булган узаро перпендикуляр учта юзачалар мавжуд булади. Бу юзачалар бош юзалар дейилади. Бу юзаларга таъсир этувчи экстремал нормал кучланишлар бош кучланишлар дейилади. Бу кучланишларни хисоблаймиз. Хар бир бош юзага таъсир этадиган нормал кучланишн σ оркали белгилаймиз, Бу холда:

$X = \sigma \cdot l$, $Y = \sigma \cdot m$, $Z = \sigma \cdot n$ буларни (3)га куйсак:

$$\begin{aligned} \sigma l &= \sigma_x l + \tau_{yx} m + \tau_{zx} n \\ \sigma l &= \tau_{xy} l + \sigma_y m + \tau_{zy} n \\ \sigma l &= \tau_{xz} l + \tau_{yz} m + \sigma_z n \end{aligned}$$

Бу ердан:

$$(5) \begin{cases} (\sigma_x - \sigma\ )l + \tau_{xy} m + \tau_{xz} n = 0 \\ \tau_{yx} l + (\sigma_y - \sigma) m + \tau_{yz} n = 0 \\ \tau_{zx} l + \tau_{zy} m + (\sigma_z - \sigma) n = 0 \end{cases}$$

Хосил булган система ечимга эга булиши учун унинг детерминанти нол булиши шарт:

$$\Delta = \begin{vmatrix} \sigma_x - \sigma & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y - \sigma & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z - \sigma \end{vmatrix} = 0$$

Детерминантни очиб, учинчи тартибли тенгламага эга буламиз:

$$\sigma^3 - J_1\sigma^2 + J_2\sigma - J_3 = 0 \qquad (6)$$

Бу ерда $J_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z$,

$J_2 = \sigma_x\sigma_y + \sigma_x\sigma_z + \sigma_y\sigma_z - \tau_{xy}^2 - \tau_{xz}^2 - \tau_{yz}^2$

$$J_3 = \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{yx} & \tau_{zx} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{zy} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{vmatrix}$$

J_1, J_2, J_3 - кучланиш холатининг инвариантлари дейилади.

Берилган кучланиш холати учун учта бош кучланишлардан энг каттасини σ_1, энг кичигини σ_3, уртанчасини σ_2-лар билан белгилаймиз ва улар куйидаги алгебраик тенгсизликларни коникитириши шарт: $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$.

Назорат саволлари:

1. Нуктанинг кучланиш холати кандай аникланади?
2. Кучланиш тензорига изох берилсин.
3. Кия юзачадаги кучланиш кандай аникланади?
4. Уринма кучланишларнинг жуфтлик конуни ифодалансин.
5. Кандай юзалар бош юзалар дейилади?
6. Кандай кучланишлар бош кучланишлар дейилади ва улар кандай ифодаланади?

12 - Маъруза

Текис кучланиш холати - 2 соат

Режа: Текис кучланиш холати. Текис кучланиш холати учун кия юзалардаги кучланишларни хисоблаш. Бош юзалар ва уларнинг холатини аниклаш. Бош кучланишларни хисоблаш. Экстремал уринма кучланишларни хисоблаш. Кучланигш холатини график усулда текшириш. Мор доираси.

Таянч тушунча ва иборалар:

Текисликдаги кучланиш тензори, кия юзачадаги кучланишлар, бош юзалар, бош кучланишлар, экстремал уринма кучланишлар ва улар таъсир этадиган юзачалар, Мор доираси.

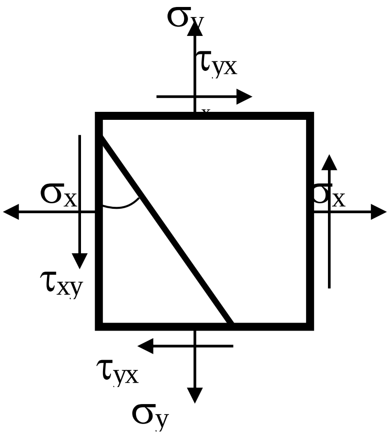
Тавсия этилган адабиетлар

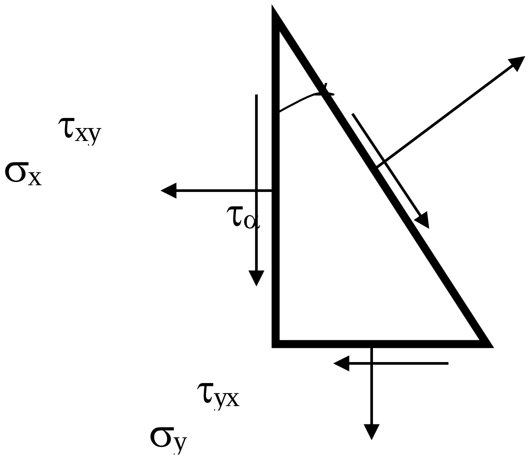
Асосийлари:

[1., 44-51 б.; 2., 77-85 б.; 3., 81-85 б.; 4., 69-80 б.]

Кушимчалари:
[1., 99-101 б.; 2., 265-275 б.]

Матн.





Берилган текис кучланиш холатидаги элемент учун кия кесимлардаги кучланишларни хисоблаймиз. Бунинг учун олдинги маърузанинг (3) ифодасига $\sigma_z=\tau_{yz}=\tau_{zy}=0$, l=cosα, m= cos β= cos (90-α)= sinα -ларни куйсак:

$$\sigma_\alpha=\sigma_x\cos^2\alpha + \sigma_y\sin^2\alpha+\tau_{yx}\sin2\alpha$$
$$\tau_\alpha=1/2(\sigma_x-\sigma_y)\sin2\alpha - \tau_{yxc}\cos2\alpha \qquad (7)$$

Юкоридаги ифодалар буйича аникланадиган катталиккларнинг экстремал кийматларини топамиз.

$$\frac{d\sigma_\alpha}{d\alpha} = -\frac{\sigma_x-\sigma_y}{2}\sin 2\alpha + \tau_{yx}\cos 2\alpha = 0$$

Демак, нормал кучланишлар экстремал булган юзаларда уринма кучланишлар нол булади. Бундай юзалар бош юзалар дейилади ва уларга таъсир этувчи экстремал нормал кучланишлар бош кучланишлар дейилади.

Юкоридаги ифодадан бош юзаларнинг холатини аниклаймиз:

$$tg2\alpha_0 = \frac{2\tau_{yx}}{\sigma_x-\sigma_y} \qquad (8)$$

Аникланган α_0ни (7)нинг биринчи ифодасига куйиб ва баъзи тригонометрик узгартиришлардан кейин, куйидаги бош кучланишларни хисоблаш ифодасини хосил киламиз:

$$\sigma_{\max,\min} = \frac{\sigma_x+\sigma_y}{2} \pm \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_x-\sigma_y)^2+4\tau_{yx}^2} \qquad (9)$$

Шунга ухшаш, экстремал уринма кучланишлар хосил буладиган юзалар бош юзаларга 45 градус бурчак остида жойлашишини аниклаймиз.

Экстремал уринма кучланишлар $\tau_{\max,\min} = \pm\frac{\sigma_{\max}-\sigma_{\min}}{2}$ эса куйидагича хисобланади:

(10)

Текис кучланиш холатидаги элементнинг ихтиёрий кия юзаларидаги нормал ва уринма кучланишларини хисоблаш ифодаларини (7) куйидагича узгартирамиз ва уларни иккинчи даражага кутариб, кушамиз:

$$\left(\sigma_\alpha - \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_\alpha^2 = \left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{yx}^2$$

Бу марказининг координаталари $1/2(\sigma_x+\sigma_y)$ ва 0, радиуси

$$R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{yx}^2}$$

булган доиранинг тенгламасидир. Бу доира кучланишлар ёки Мор доираси дейилади ва текис кучланиш холатини график усулда текширишда фойдаланилади. Мор доирасини куриш ва ундан фойдаланиш амалий дарсларда утилади.

Назорат саволлари:

1. Кандай кучланиш холати текис дейилади?
2. Текис кучланиш холатида кия кесимлардаги нормал ва уринма кучланишлар кандай хисобланади?
3. Кандай юзалар бош юзалар дейилади?
4. Бош юзаларнинг холати кандай аникланади?
5. Бош кучланишлар кандай аникланади?
6. Экстремал уринма кучланишлар кандай юзаларда хосил булади?
7. Экстремал уринма кучланишлар кандай аникланади?
8. Мор доирасига изох берилсин.

13 - Маъруза

Умумлаштирилган Гук конуни. Хажмий деформация. Деформациянинг потенциал энергияси 2 - соат

Режа: Умумлаштирилган Гук конуни. Абсолют хажмий деформация. Нисбий хажмий деформация. Деформациянинг потенциал энергияси ва унинг иккига ажралиши. Солиштирма потенциал энергия.

Таянч тушунча ва иборалар:

Гук конуни. Пуассон коэффициенти. Умумлаштирилган Гук конуни. Хажмий деформация. Деформациянинг потенциал энергияси ва унинг ташкил этувчилари.

Тавсия этилган адабиетлар

Асосийлари:

[1., 55-59 б.; 2., 87-91 б.; 3., 94-98 б.; 4., 91-95 б.]

Кушимчалари:

[1., 109-124 б.; 2., 279-280 б.]

Матн.

Материаллар каршилиги фанининг «Чўзилиш ва сикилиш» бобида Гук конуни чизикли кучланиш холати учун берилган эди. Бу конунни фазовий кучланиш холати учун келтириб чикарамиз.

$$\varepsilon_x = \varepsilon_x(\sigma_x) + \varepsilon_x(\sigma_y) + \varepsilon_x(\sigma_z) = \frac{\sigma_x}{E} - \mu\frac{\sigma_y}{E} - \mu\frac{\sigma_z}{E} = \frac{1}{E}\left[\sigma_x - \mu(\sigma_y - \sigma_z)\right]$$

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}\left[\sigma_x - \mu(\sigma_y + \sigma_z)\right]$$

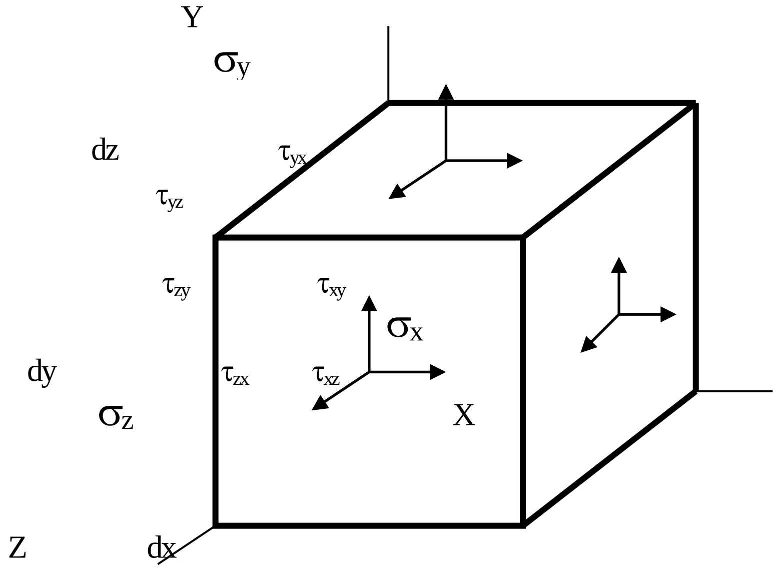
Демак: $\varepsilon_v = \frac{1}{E}\left[\sigma_v - \mu(\sigma_z + \sigma_x)\right]$

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}\left[\sigma_x - \mu(\sigma_y + \sigma_z)\right]$$

$$-\mu(\sigma_y + \sigma_x)$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E}\left[\sigma_y - \mu(\sigma_z + \sigma_x)\right] \quad (1)$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E}\left[\sigma_z - \mu(\sigma_y + \sigma_x)\right]$$



Элементар параллелепипеднинг деформацигача булган томонларини dx, dy, dz деб белгилаймиз.

Деформациядан кейин бу улчамлар dx+Δdx, dy+Δdy, dz+Δdz. Параллелепипеднинг бошланцич хажми V₀ , деформациясидан кейингисини Vi оркали белгилаймиз. Параллелепипед хажмининг абсолют узгаришини топамиз:

$$\Delta V = V_1 - V_0 = dxdydz(\varepsilon_x + \varepsilon_v + \varepsilon_z)$$

Нисбий хажмий деформацияни хисоблаймиз:

$$e = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z \qquad (2)$$

Бу ифода бош юзочаларда куйидагича ёзилади:

$$e = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 \qquad (3)$$

Деформациянинг потенциал энергиясини хисоблаймиз. Бу энергия ички кучларнинг кучишларга бажарган иши билан улчанади:

$$U = A_P = \frac{1}{2}\left(\sigma_x \cdot dydz \cdot \Delta dx + \sigma_y \cdot dzdx \cdot \Delta dy + \sigma_z \cdot dydx \cdot \Delta dz\right) +$$

$$+ \frac{1}{2}\left(\tau_{xy}\gamma_{xy} \cdot dydz\, dx + \tau_{yz}\gamma_{yz}\, dxdz\, dy + \tau_{zx}\gamma_{zx}\, dydx\, dz\right)$$

$$U_0 = \frac{A_0}{dxdydz} = \frac{1}{2}\left(\sigma_x \varepsilon_x + \sigma_y \varepsilon_y + \sigma_z \varepsilon_z + \tau_{xy}\gamma_{xy} + \tau_{yz}\gamma_{yz} + \tau_{zx}\gamma_{zx}\right)$$

Деформациянинг солиштирма потенциал энергияси куйидагича хисобланади:

Гукнинг умумлашган конунидан фойдаланиб, юкоридаги натижани куйидагича ёзамиз:

Тулик солиштирма потенциал энергия икки кисмдан иборат булади:

$$U_0 = U_V + U_d$$

$$U_0 = \frac{1}{2E}\left(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\mu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1)\right)$$

Бунда: U_V - хажм узгаришидаги солиштирма потенциал энергия; U_d - шакл узгаришидаги солиштирма потенциал энергия.

Хажм узгаришидаги потенциал энергия куйидаги ифодадан аникланади:

$$U_V = \frac{1-2\mu}{6E}\left(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3\right)^2$$

У холда шакл узгариш солиштирма потенциал энергияси куйидагича:

$$U_в = \frac{1+\mu}{3E}\left(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_3\sigma_1\right)$$

Назорат саволлари:

1. Умумлаштирилган Гук конуни кандай ифодаланади?
2. Эластиклик коэффициентлари орасида кандай муносабат мавжуд?
3. Хажмий деформация кандай ифодаланади?
4. Деформациянинг потенциал энергияси кандай аникланади?
5. Шакл узгариш потенциал энергияси кандай топилади?
6. Хажм узгариш потенциал энергияси кандай топилади?

9 - Мавзу

14 - Маъруза

Мустахкамлик назариялари - 2 соат

Режа: Пластик деформацияларни хосил булиш сабаблари ва мустакамлик критериялари. Эквивалент кучланиш, хавфсизлик коэффициенти. Гипотезаларга ассосланган мустахкамлик назариялари.

Таянч тушунча ва иборалар:

Хавфли кучланиш холати, эквивалент кучланиш, мустахкамлик критерийлари, энг катта нормал кучланиш назарияси, энг катта чизикли кучиш назарияси, энг катта уринма кучланишлар назарияси, энергетик назария, Мор назарияси.

Тавсия этилган адабиетлар
Асосийлари:
[1., 60-64 б.; 2., 91-98 б.; 3., 102-115 б.; 4., 285-298 б.]
Кушимчалари:
[1., 204-214 б.; 2., 292-316 б.]

Матн.

Ташки куйилган кучнинг таъсири ва кийматига караб конструкция ва механизм элементларининг материаллари хар хил механик холатларда булиши мумкин. Кичик ташки кучлар таъсирида жисм эластик холатида булади. Ташки кучлар киймати ошган сари материалларда колдик деформациялар хосил булади, яъни материал пластик холатга утади. Кейинчалик эса материалда дарз хосил булиб, натижада у емирилади. Материалларнинг ташки кучнинг ошиши сари унинг механик холатлари юкоридагидек узгариши асосан тажрибаларда кузатилади. Худди шундай холат материалларни буралишга синалганда хам руй булади.

Оддий кучланиш холатларида юкоридаги диаграммалар хосил килинган булиб, мустахкамликка хисоблашнинг назарий ва амалий усуллари тулик ишлаб чикилган. Агар жисм мураккаб кучланиш холатида булганида у кандай мустахкамликга хисобланади? Бизга маълумки материаллар турли шароитларда хар хил деформацияланади. Масалан, намунада кичик буйинча булган пластик материал узининг диаграммасини узгартириб, мурт материаллар учун хосил буладиган диаграммага эга булади. Бунга асосий сабаб, буйинча атрофидаги кучланиш холати бир укли булмасдан, текис кучланиш холатида булишидир. Материалнинг нукта атрофидаги механик хусусияти асосан шу нуктадаги кучланиш холатига боглик булади. Демак материалнинг бир механик холатидан иккинчи механик холатга утиши асосан кучланиш холатига боглик булиб, ташки ва геометрик факторларига хам боглик экан.

Агар материал мураккаб кучланиш холатда булса (σ_1 , σ_2 , σ_3), у бу кучланишларнинг кандай кийматларида бир механик холатдан иккинчи холатга утади.

Мураккаб кучланиш холатини тажрибада хосил килиш мураккаблиги ва кайси нормал кучланиш асосий эканлиги номаълум булганлиги сабабли, оддий мустахкамликки хисоблаш усуллари мураккаб кучланиш холати учун уринли булмайди. Лекин бизга куп амалий мисолларда мураккаб кучланиш холати хосил булиши маълум. Демак мустахкамликка хисоблашнинг критерияларини аниклаш зарур.

Хозирги вактда пластиклик критерияларини яратишда икки йуланиш мавжуд.

Биринчиси: хакикатда хосил булиши мумкин булган, гипотизалар ёрдамида аникланган.

Иккинчи: жуда куп утказилган тажрибалар асосида курилган содда ифодалар.

Бу критериялар билан танишишдан олдин куйидаги ёрдамчи тушунчалар билан танишамиз.

Хавфсизлик коэффициенти: Айтайлик бирор мураккаб кучланиш холати берилган булсин. Хавфсизлик коэфиициенти деб, шундай узгармас n сонига айтиладики, агар берилган кучланиш холатининг компоненталарини хаммасини мос равишда шунча мартта орттирганимизда жисм бир механик холатдан иккинчи механик холатига утсин.

Тенг хавфли кучланиш холатларни: Икки узаро боглик булмаган кучланиш холатлари тенг хавфли дейилади, агар уларнинг хавфсизлик коэффициентлари бир-бирига тенг булса.

Эквивалент нормал кучланиш ($\sigma_{\text{экв}}$): Берилган мураккаб кучланиш холатининг хавфсизлик коэффициенти бир уклик кучланишдаги намунада шундай нормал кучланиш хосил килиш керакки, натижада уларнинг хавфсизлик коэффициентлари узаро тенг булса. Бу билан биз мураккаб кучланиш холати учун мустахкамликка хисоблаш бир укли Чўзилишдаги мустахкамликки хисоблашга олиб келамиз.

Мустахкамлик назариялари.

1. Энг катта нормал кучланишлар назарияси:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sigma_1 \le [\sigma]$$

2. Энг катта чизикли деформациялар назарияси:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sigma_1 - \mu\ (\sigma_2 + \sigma_3\ ) = \sigma_{\text{экв}} \le [\sigma]$$

3. Энг катта уринма кучланишлар назарияси:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_{\text{экв}} \le [\sigma]$$

4. Энергетик назария:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_3\sigma_1} = \sigma_{\text{экв}} \le \left[\sigma\right]$$

5. Мор назарияси:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sigma_1 - k\sigma_3 = \sigma_{\text{экв}} \le [\sigma]$$

Назорат саволлари:

1. Эквивалент кучланиш деганимиз нима?
2. Хавфли кучланиш холатига изох беринг.
3. 1-мустахкамлик назариясининг ифодаси кандай?
4. 2-мустахкамлик назариясининг ифодаси кандай?
5. 3-мустахкамлик назариясининг ифодаси кандай?
6. Энергетик мустахкамлик назариясининг ифодаси кандай?
7. Мор мустахкамлик назариясининг ифодаси кандай?

10 - Мавзу

Буралиш - 4 соат

15 - Маъруза

Соф силжиш. Силжиш учун Гук конуни - 2 соат

Режа: Соф силжиш тушунчаси. Силжиш учун Гук конуни. Абсолют ва нисбий силжиш. Иккинчи даражали эластиклик модули. Парчин мих ва пайванд брикмалар хисоби.

Таянч тушунча ва иборалар:

Уринма кучланишлар, соф силжиш кучланиш холати, Гук конуни, силжиш учун абсолют ва нисбий деформациялар, биринчи ва иккинчи даражали эластиклик модулларининг орасидаги боцланиш, парчин михларни эзилишга ва силжишга хисоблаш, пайванд бирикмалар хисоби.

Тавсия этилган адабиётлар

Асосийлари:

[1., 76-86 б.; 2., 118-123 б.; 3., 153-160 б.; 4., 145-151 б.]

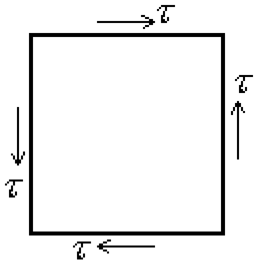
Кушимчалари:

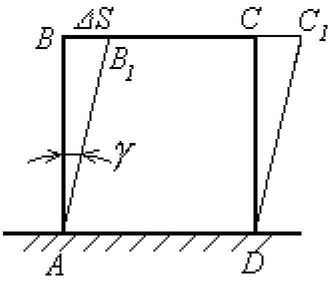
[1., 187-201 б.; 2., 89-111 б.]

Матн.

Ажратилган чексиз кичик элементларнинг томонларида факат уринма кучланишлар мавжуд булса, жисм деформацияси соф силжиш дейилади. Соф силжиш таъсиридан элемент улчамлари узгармайди, факат унинг шакли узгариб ромб шаклига келади.

BB_1 - абсолют силжиш дейилади ва ΔS харфи билан белгиланади.





γ - бурчак эса силжиш бурчаги ёки нисбий силжиш дейилади.

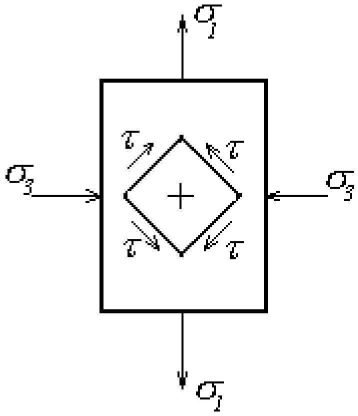
$$\gamma = \Delta S / dz \qquad (1)$$

Силжиш бурчаги асосан радианларда ифодаланади.

Силжиш учун Гук конуни.

Маълумки бруcларнинг Чўзилиши ва сикилишида унинг кия юзачаларда силжиш холати хам юз беради. Текис кучланиш холатида булган куйидаги элементни караймиз:

Элемент у уки буйича Чўзилишда (σ_1) ва х уки буйича сикилишда (σ_3) булсин (σ_1=-σ_3=σ). У холда элемент томонларига 45° остида жойлашган кия юзаларда куйидагича кучланишлар хосил булади:



$$\begin{aligned} \sigma_\alpha &= \sigma_1 cos^2\alpha + \sigma_2 \sin^2 \alpha = \frac{1}{2}\sigma - \frac{1}{2}\sigma = 0 \\ \tau_\alpha &= \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}\sin 2\alpha = \frac{\sigma + \sigma}{2} = \sigma \end{aligned} \qquad (2)$$

Ёкларига факат уринма кучланишлар таъсир киладиган элементнинг кучланганлик холати соф силжиш дейилади. Соф силжиш натижасида элементнинг шакл узгариб, куйидагича нисбий деформациялар хосил булади:

$$\varepsilon_1 = -\varepsilon_3 = \varepsilon = \frac{1}{E}\left[\sigma_1 - \mu(-\sigma_3)\right] = \frac{\sigma}{E}(1+\mu)$$

У холда $\varepsilon = \frac{\tau}{E}(1+\mu)$ ни хосил киламиз. (3)

Бу ифода нисбий деформация билан уринма кучланиш орасидаги богликликни курсатади. Нисбий деформация билан силжиш бурчаги орасидаги боцланиш элемент деформацияси натижасида куйидагича ифодаланади:

$$\varepsilon = \gamma / 2 \qquad (4)$$

Бу кийматни (3) формулага куйиб, силжиш учун Гук конуни хосил киламиз:

$$\tau = \frac{E}{2(1+\mu)} \cdot \gamma \qquad (5)$$

Гук конундаги

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} \qquad (6)$$

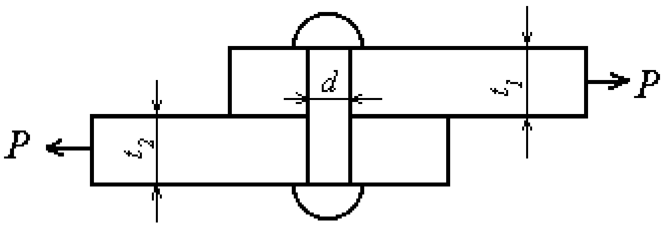
материалнинг силжишдаги эластиклик модули ёки иккинчи тур эластиклик модули дейилади. Бу ифода жисм эластиклик модуллари орасидаги боцланишни ифодалади.

Демак силжиш учун Гук конуни куйидагича булади:

$$\tau = G \cdot \gamma \qquad (7)$$

Парчин михли бирикмалар хисоби.

Парчин михли бирикмаларнинг парчин михлари силжишга, уланувчи листларнинг деворлари эзилишга хисобланади.



$$\tau = \frac{P}{nF_m} = \frac{P}{n\frac{\pi d^2}{4}} \le [\tau] \qquad (8)$$

Бу ерда n - парчин михлар сони;

$[\tau]$ - парчин мих материали учун рухсат этилган уринма кучланиш.

$$\sigma_{эз} = \frac{P}{ndt} \le [\sigma_{эз}] \qquad (9)$$

Бу ерда t - энг юпка листнинг калинлиги;

$[\sigma_{эз}]$ - лист материали учун эзилишга рухсат этилган кучланиш.

Пайванд бирикмалар хисоби.

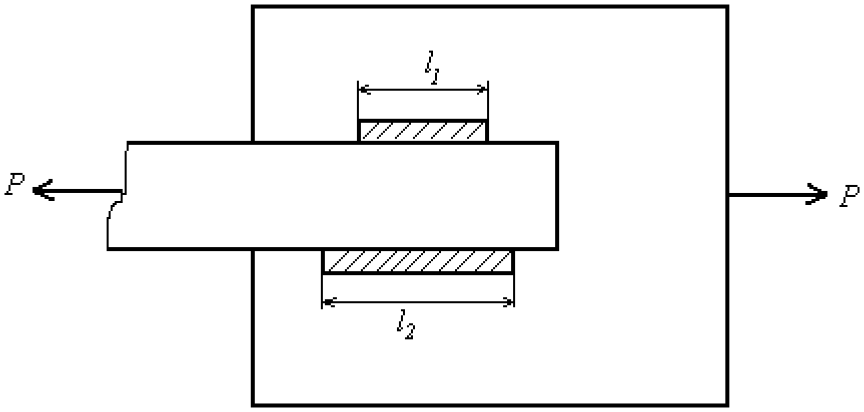
Пайванд бирикмаларнинг чоклари силжишга хисобланади.

$$\tau = \frac{P}{0{,}7t(l_1 + l_2)} \leq [\tau] \qquad (10)$$

Бу ерда t - пайванд чокининг баландлиги

l_1, l_2 - чокларнинг узунликлари

[τ] - рухсат этилган уринма кучланиш.



Назорат саволлари.

1. Кандай кучланиш холатига соф силжиш дейилади?
2. Силжиш учун Гук конуни кандай ифодаланади?
3. Биринчи ва иккинчи даражали эластиклик модуллари орасида кандай муносабат мавжуд?
4. Парчин мих учун мустахкамлик шарти кандай ифодаланади?
5. Парчин михли бирикманинг листлари мустахкамликки кандай текширилади?
6. Пайванд бирикмалар мустахкамликка кандай хисобланади?

16 - Маъруза

Буралишда мустахкамлик ва бикрликка хисоблаш - 2 соат

Режа: Буровчи моментларни хисоблаш. Призматик стерженларнинг буралиши, буровчи момент ифодаси ва эпюралари. Доиравий валларни буралишда мустахкамликка хисоблаш, бикрлик ва жисмнинг кутб каршилик моменти. Буралишда деформация. Буралишдаги вал учун кесимни рационал танлаш. Кундаланг кесими туртбурчак булган бруcларнинг буралиши, мустахкамликка хисоблаш усуллари.

Таянч тушунча ва иборалар:

Уринма кучланишлар, буровчи момент, кундаланг куч, буралишда уринма кучланишларни хисоблаш, мустахкамлик шарти, кесимнинг кутб инерция ва каршилик моментлари, кесимни рационал танлаш, буралишда бикрлик шарти.

Тавсия этилган адабиётлар

Асосийлари:

[1., 86-96 б.; 2., 112-117 б.; 3., 153-155 б.; 4., 153-158 б.]

Кушимчалари:

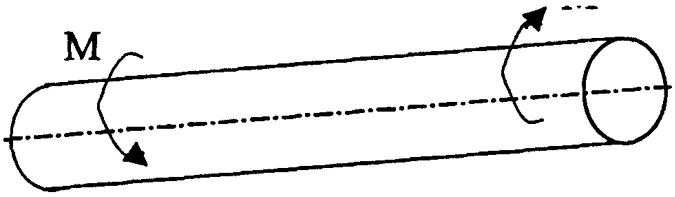
[1., 205-227 б.; 2., 89-111 б.]

Матн:

Укига тик текисликларда учларига тенг ва карама-карши йуналган кучлар жуфти $M_б$ куйилган бруснинг деформацияланиши буралиш деб аталади.

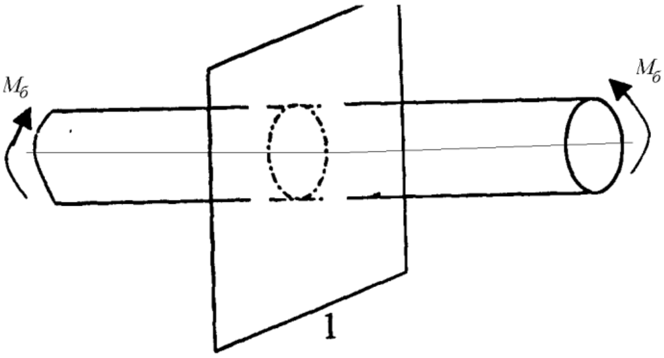
Буралишга ишлайдиган туцри бруслар вал деб аталади.

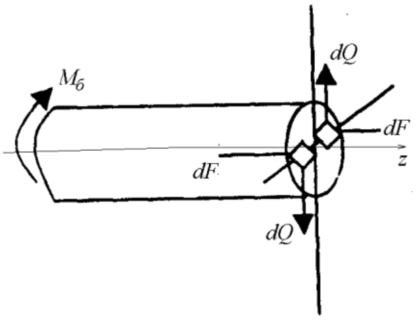
Айтайлик, кесим юзаси доиравий булган валнинг бир учи махкамланиб, иккинчи учида вал симметрия укига тик булган текисликда ётувчи жуфт кучлар таъсирида булсин.



Вал учун факат битта мувозани тенгламасини тузиш мумкин:

$$\sum M_z = 0 \qquad (1)$$





Куйлган жуфт кучлар таъсирида вал кесимида хосил булувчи уринма кучланишларнинг тенг таъсир этувчи натижавий буровчи момент билан мувозанатлашади:

$$M_Б = \int_F \rho \cdot \tau dF \qquad (2)$$

Бу формула оркали $M_б$ ни аниклаш анча кийин, шунинг учун тажрибалардан олинган куйидаги хулосалар уринли деб караймиз:

1. Текис кесимлар гипотезаси уринли.
2. Вал буралиши узаро параллел булган текис кесимларни маълум γ бурчакки силжишдан иборат булади.
3. Вал кундаланг кесим радиуси узгармас булади.

Чизмадан куринадики буралиш бурчаги φ билан силжиш бурчаги γ орасида куйидаги боцланиш мавжуд экан:

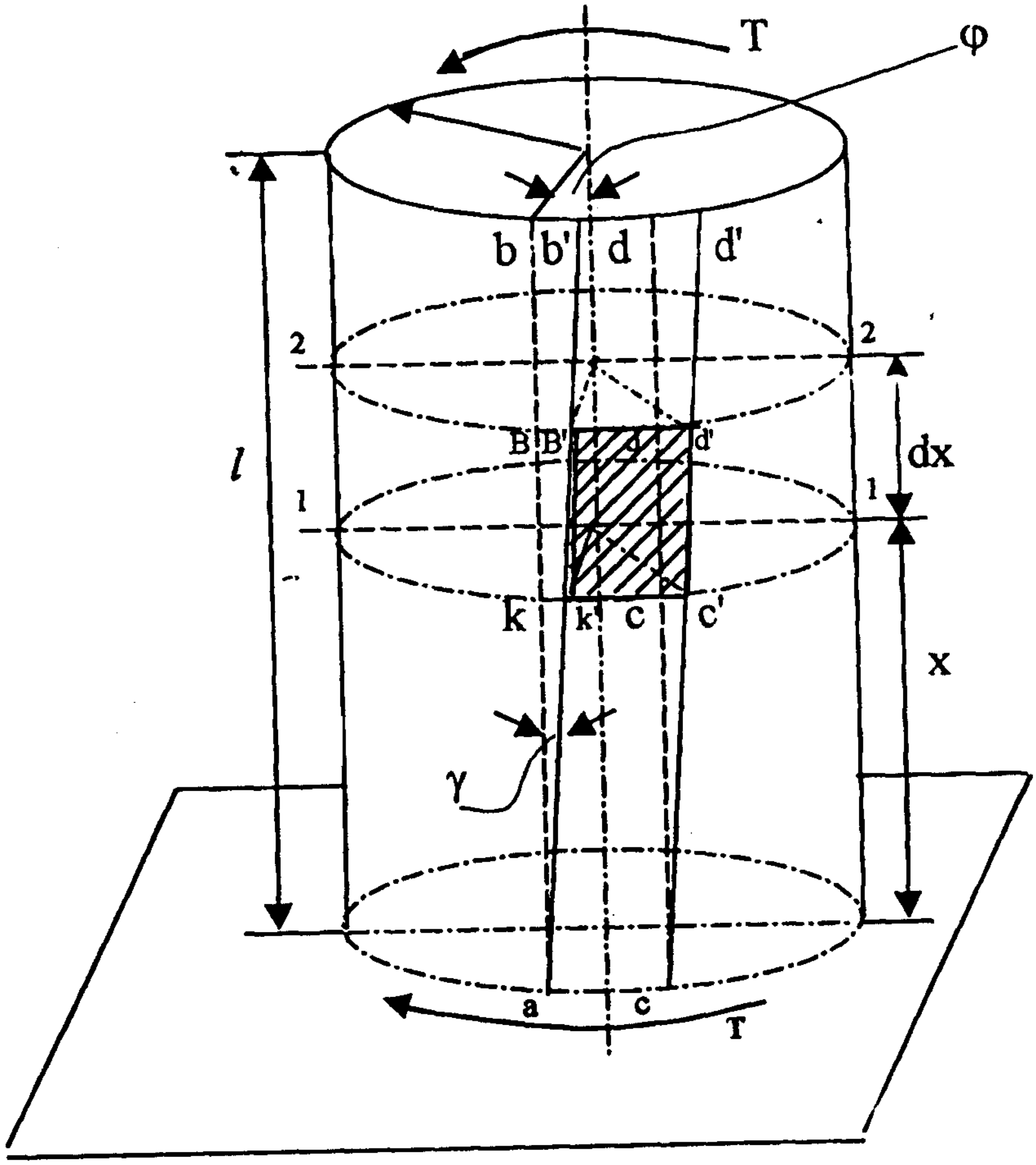
$$\gamma = \rho \cdot \frac{d\varphi}{dz} = \rho\theta \qquad (3)$$

Бу ерда ρ - кесим марказидан юзагача булган радиус, φ - кесим юзасидаги марказий буралиш бурчаги, θ - бурчакли деформация дейилади.

Гук конуни хисобга олиб, (1) формулани (2) ва (3)лар асосида куйидагича ёзиш мумкин:

$$M_б = \int_F G \cdot \gamma \cdot \rho dF = \int_F G \cdot \rho^2 \theta \cdot dF = G\theta \int_F \rho^2 dF = G\theta \cdot J_\rho \qquad (4)$$

$$J_\rho = \int_F \rho^2 dF = \int_F \left(x^2 + y^2\right)\cdot dF = J_x + J_y \qquad (5)$$



J_ρ -га кесимнинг кутб инерция моменти дейилади, доиравий кесим учун:

$$J_\rho = \pi\, d^4 / 64 = 0{,}1\, d^4$$

Демак, (4) формулани юкоридаги натижалар билан боцлаб, куйидаги натижани хосил киламиз:

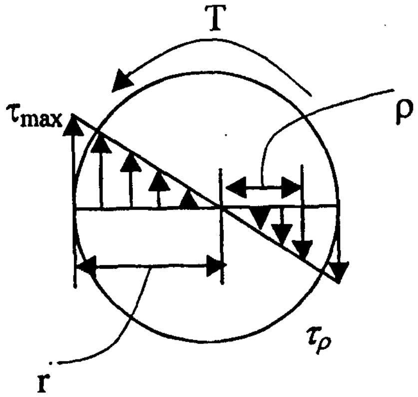
$$\tau = \frac{M_б}{J_\rho}\cdot\rho \qquad (6)$$

Натижада буралиш учун уринма кучланишлар билан ташки куйилган жуфт куч орасидаги асосий боцланиш хосил киламиз.

Марказий буралиш бурчаги куйидагича аникланади.

$$\theta = \frac{d\varphi}{dz} = \frac{M_б}{GJ_\rho} \qquad (7)$$

Уринма кучланишлар эпюрасини куриш натижасида, максимал уринма кучланишлар кесим чегарасида хосил булар экан.



У холда буралишда мустахкамликка хисоблаш шарти куйидагича:

$$\tau_{\max} = \frac{(M_{\text{б}})_{\max}}{J_{\rho}} \cdot \rho_{\max} = \frac{(M_{\text{б}})_{\max}}{W_{\rho}} \le [\tau] \qquad (8)$$

Бу ерда

$$W_{\rho} = \frac{J_{\rho}}{\rho_{\max}} = 0{,}2d^{3} \qquad (9)$$

W_ρ - буралишда доиравий кесимнинг кутб каршилик моменти дейилади.

Буралишда вал кесимини рационал танлаш.

Буралишда мустахкамликка хисоблаш шарти (8) формуладан куринадики, кесимнинг шаклининг каршилик моменти канча катта булса, шу шаклли кесим буралишда рационал танланган хисобланади. Демак, кесим шакли рационал булиши учун, кесимнинг асосий кисми шакл оцирлик марказида мумкин кадар узокда жойлаштириш керак экан. Амалда бундай шакллар доиравий кесим учун халкасимон булади.

Буралишда булган вал учун бикрлик шарти.

Буралиш жараёнида вал кесимлари маълум φ марказий бурчакка буралишини аниклаган эдик. Ушбу ифода куйидагича:

$$\theta = \frac{d\varphi}{dz} = \frac{M_{\text{б}}}{GJ_{\rho}}$$

Марказий буралиш бурчаги эса куйидагича аникланади:

$$\varphi(z) = \int_{0}^{l} \frac{M_{\text{б}}\,dz}{GJ_{\rho}} \qquad (10)$$

Вал учун бикрлик шарти:

$$\varphi(z)_{\max} \le [\ \varphi\ ] \qquad (11)$$

Назорат саволлари:

1. Доиравий валларни буралишида кандай чекланишларга йул куйилади?
2. Кандай бурчак марказий буралиш бурчаги деб аталади?
3. Кутб инерция моменти нима ва у кандай улчамликка эга?
4. Кандай микдор буралишдаги бикрлик дейилади?
5. Вал буралишида кесимининг кайси нуктасида энг катта уринма кучланиш хосил булади?

6. Буралиш учун мустахкамлик шарти кандай ифодаланади?
7. Вал кесимининг каршилик моментига изох беринг?
8. Вал учун кандай кесим буралишда рационал танланган хисобланади?
9. Буралишдаги бикрлик шарти кандай ифодаланади?

11 - Мавзу

Мураккаб каршилик - 4 соат

17 - Маъруза

Мураккаб каршилик. Кийшик эгилиш - 2 соат

Режа: Мураккаб каршилик. Кийшик эгилиш. Кийшик эгилиш учун ички кучларни аниклаш. Нормал кучланишни хисоблаш ва нейтрал ук холати. Мустахкамлик шарти. Умумий кучишни хисоблаш.

Таянч тушунча ва иборалар:

Кийшик эгилиш, нормал кучланишлар, нейтрал ук тенгламаси, нормал кучланишларни хисоблаш, пластик ва мурт материаллар учун мустахкамлик шартлари.

Тавсия этилган адабиётлар

Асосийлари:

[1., 166-170 б.; 2., 285-293 б.; 3., 351-357 б.; 4., 263-274 б.]

Кушимчалари:

[1., 41-425 б.; 2., 173-176 б.]

Матн:

Утилган маърузаларимизда материаллар каршилиги фанидаги оддий кучланиш холатлари билан тулик танишиб чикдик. Бундай холатлар жисмнинг ички кесимларида факат битта асосий белгиловчи ички куч фактори хосил булиши билан ифодалана эди.

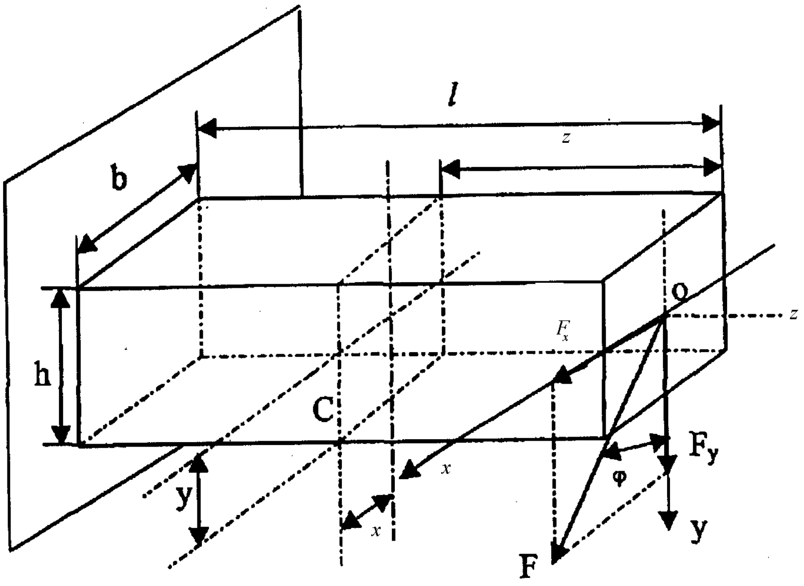
Мураккаб кучланиш холати деб, жисмдаги шундай деформацияланиш-кучланиш холатларига айтилади, унинг кесимларида камида иккита асосий ички куч факторлари хосил булади.

Кийшик эгилиш.

Тусинга таъсир килаётган ташки эгувчи момент текислиги тусин кесимининг бош инерция текислиги билан мос тушмаса, тусин кийшик эгилишда дейилади.

Айтайлик тусинга куйидаги ташки кучлар системаси таъсир килаётган булсин:

Ташки эгувчи момент М вектор микдор булганлиги учун, куйидагича ифодалаймиз.



$$M_x = F_y z, \qquad M_y = F_x z; \qquad M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} \qquad (1)$$

У холда М векторнинг мос уклардаги проекциялари куйидагича булади:

$$M_x = M \cdot \cos\alpha; \qquad M_y = M \cdot \sin\alpha \qquad (2)$$

Кесимнинг А(x, y) нуктасидаги нормал кучланишнинг ифодасини топамиз:

$$\sigma(x,y) = \sigma_{Mz} + \sigma_{My}$$

$$\sigma(x,y) = \frac{M}{J_x} \cdot y \sin\alpha + \frac{M}{J_y} \cdot x \cos\alpha \qquad (3)$$

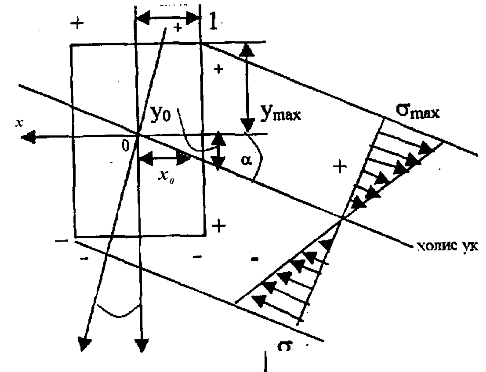
Демак, кийшик эгилишдаги тусин учун кесимда хосил буладиган нормал кучланишлар (3) формула буйича аникланади ва уларнинг эпюралари чизмада келтирилган.

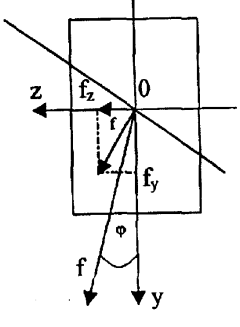
Нейтрал ук холатини аниклаймиз:

$$\sigma(x,y) = 0 \Rightarrow \frac{y \sin\alpha}{J_x} + \frac{x \cos\alpha}{J_y} = 0 \qquad (4)$$

Топилган нейтрал ук тенгламасини куйидагича ёзамиз:

$$y = -\frac{J_x}{J_y} \cdot ctg\alpha \cdot x \qquad (5)$$





Нейтрал укни холис ук атаймиз. Нейтрал ук вазияти аникланганда сунг, унга параллел килиб кесимга икки уринма утказилади ва ундан энг узок, яъни энг катта кучланишлар вужудга келадиган хавфли нукталар "1" ва "2" топилади. "1" нуктага энг катта чузувчи, "2" нуктага эса энг катта сикувчи кучланиш таъсир килади:

$$\sigma_{\max} = M\left(\frac{\cos\alpha \cdot y_{\max}}{I_z} + \frac{\sin\alpha \cdot x_{\max}}{I_y}\right) \qquad (6)$$

бунда: $y_{\max}$ ва $x_{\max}$ - нейтрал укдан энг узок жойлашган нуктанинг координаталари.

Иккита симметрия укига эга булган кундаланг кесими туцри туртбурчак, куштавр ва бошкалар учун мустахкамлик шарти куйидагича булади:

$$\sigma_{\max} = M\left(\frac{\cos\alpha}{W_x} + \frac{\sin\alpha}{W_y}\right) \le [\sigma] \qquad (7)$$

бунда: W_x ва W_y - тусин кесимнинг x ва y укларига нисбатан каршилик моментлари.

Назорат саволлари:

1. Мураккаб каршилик кандай хосил булади?
2. Эгилишнинг кайси холи кийшик эгилиш дейилади?
3. Кийшик эгилишда соф эгилиш булиши мумкинми?
4. Кийшик эгилишдаги тусин кундаланг кесимининг кайси нукталарида энг катта кучланишлар вужудга келади?
5. Кийшик эгилишда нейтрал ук холати кандай топилади?
6. Кийшик эгилиш жараёнида деформация кандай аникланади?
7. Мураккаб каршиликдаги кучланиш формулаларини хосил килишда кандай принципдан фойдаланилади?
8. Кийшик эгилишда мустахкамликка хисоблаш шарти кандай ифодаланали?

18 - Маъруза

Марказий булмаган сикилишда мустахкамллика хисоблаш.
Эгилиш билан буралишнинг биргаликдаги таъсири - 2 соат

Режа: Марказий булмаган сикилиш. Хисоблаш схемаси. Нормал кучланишларни аниклаш. Нейтрал ук холати. Марказий булмаган сикилишда мустахкамликка хисоблаш шарти. Кесим ядроси. Эгилиш билан буралишнинг биргаликдаги таъсири.

Таянч тушунча ва иборалар:

Нормал кучланишлар, буйлама куч ва эгувчи момент, нейтрал ук тенгламаси, кесим кутби, кесим ядроси, кесим инерция радиуси, мустахкамлик шартлари, эгилиш билан буралишнинг биргаликдаги таъсир.

Тавсия этилган адабиётлар

Асосийлари:

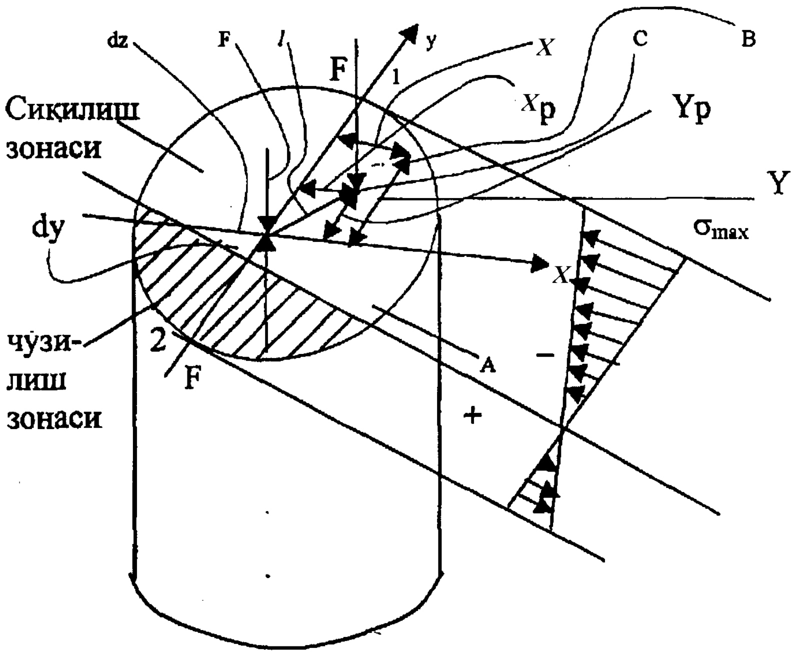
[1., 175-178 б.; 2., 300-309 б.; 3., 370-375 б.; 4., 274-285 б.]

Кушимчалари:
[1., 425-427 б.; 2., 176-180 б.]

Матн.

Брусни сикадиган ёки чузадиган куч брус укига параллел, лекин куч куйилган нукта кесимнинг оцирлик марказига мос келмайдиган холдаги деформацияси марказий булмаган сикилиш ёки Чўзилиш деб аталади. Куч куйилган нукта кутб деб аталиб, ундан кесимнинг оцирлик марказигача булган масофа эксцентриситет деб аталади.

Курилиш конструкциялари элементларига хос булган марказдан ташкаридаги сикилишнинг умумий холини куриб чикамиз.



P кучи координаталари x_p ва y_p мусбат булган С нуктага куйилган. Кесимнинг оцирлик марказидаги О нуктага иккита бир-бирига тенг ва карама-карши йуналган Р кучларни куямиз. Натижада брусни эгадиган М моментли кучлар жуфтини ва брусни ук йуналишида сикадиган Р кучни хосил киламиз. Демак, марказдан ташкаридаги сикилиш кийшик эгилиш билан марказий сикилишнинг биргаликдаги таъсиридан иборат экан. Координаталари х ва у булган ихтиёрий нуктадаги нормал кучланишни аниклаймиз. Бунинг учун жуфт куч моментининг векторлигини хисобга олиб, уни укларда ги проекцияларни куйидагича ёзиб оламиз. Бу моментлар бош инерция текисликларида таъсир килади ва кесим нукталарида сикувчи кучланишларни пайдо килади:

$$M_x = P\cdot y_p \qquad \text{ва} \qquad M_y = P\cdot x_p \qquad (1)$$

У холда брус кесимидаги нормал кучланишлар эгувчи моментлар ва сикувчи кучлар таъсирларининг натижасида хосил булади:

$$\sigma(x,y) = -\frac{P}{F} - \frac{P\cdot y\cdot y_P}{J_x} - \frac{P\cdot x\cdot x_P}{J_y} \qquad (2)$$

Натижада нормал кучланиши аниклаш формуласини топамиз:

$$\sigma = -\frac{P}{F}\left(1 + \frac{y\cdot y_P}{i_x^2} + \frac{x\cdot x_P}{i_y^2}\right) \qquad (3)$$

бу ерда:

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{F}} \qquad i_y = \sqrt{\frac{I_y}{F}} \qquad (4)$$

i_x ва i_y -ларга кесимнинг укларга нисбатан инерция радиуслари дейилади.

Кундаланг кесимдаги энг зуриккан нукталарни топиш учун нейтрал ук вазиятини аниклаш керак булади. Бунинг учун марказий булмаган сикилишдаги нормал кучланиш ифодасини нолга тенглаймиз:

$$1 + \frac{y \cdot y_P}{i_x^2} + \frac{x \cdot x_P}{i_y^2} = 0 \qquad (5)$$

Нейтрал ук тенгламасидан куринадики, у хеч качон кесим оцирлик марказидан утмас экан. Ушбу ук тенгламасини куйидагича ёзиб оламиз:

$$\frac{x}{a} + \frac{y}{b} = 1; \qquad a = -\frac{i_y^2}{x_P}; \qquad b = -\frac{i_x^2}{y_P} \qquad (6)$$

Нейтрал ук тенгламасини тахлил килиш натижасида куйидаги хулосаларга келамиз:

- нейтрал ук кутб жойлашган чоракни кесиб утмас экан;
- кутб укда жойлашса, нейтрал ук шу укга тик йуналади;
- агар кутб координатлари кесим марказига якинлашса, нейтрал ук кесим марказидан аксинча узоклашади.

Марказий булмаган сикилишдаги брусларни мустахкамликки хисоблаш куйидагича:

$$\left|\sigma_{\max/\min}\right| = P\left(\frac{1}{F} + \frac{y_P}{W_x} + \frac{x_P}{W_y}\right) \le [\sigma] \qquad (7)$$

Мурт материаллар (чуян, бетон ва бошкалар)дан ясалган бруслар марказий булмаган сикилишида ташки юк шундай куйилиши керакки, натижада кесим факат сикувчи кучланишлар таъсирда булсин. Бу холда нейтрал ук кесимдан ташкарида жойлашади ёки унга тегиб утади. Брус кесимининг оцирлик маркази атрофидаги бир хил ишорали кучланиш пайдо булиши учун буйлама сикувчи куч куйилиши лозим булган соха кесим узаги деб аталади.

Эгилиш билан буралишнинг биргаликдаги таъсири.

Мустахкамлик назариялари хамда мураккаб каршилик холатларини тахлил килиш учун тусиннинг бир вактда эгилиши ва буралишда мустахкамликка хисоблаш усуллари билан танишиб чикамиз. Валга эгувчи момент М ва буровчи момент М$_б$лар таъсир килаётган булсин. Вал кесимида хосил булаётган энг катта нормал ва уринма кучланишлар куйидагича аникланади:

$$\sigma = \frac{M}{W_x} \qquad \text{ва} \qquad \tau = \frac{M_б}{W_\rho} \qquad (8)$$

Вал кундаланг кесими текис кучланиш холатида буланлиги сабабли бош кучланишлар (8) натижа асосида ифодаланади:

$$\sigma_{1,3} = \frac{\sigma}{2} \pm \frac{1}{2}\sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \qquad (9)$$

Пулатдан тайёрланган валларни мустахкамликки хисоблаш пластик материаллар учун кабул килинадиган учинчи ва туртинчи мустахкамлик назариялар буйича амалга оширилади:

Учинчи назария буйича мустахкамлик шарти:

$$\sigma_{экв} = \sigma_1 - \sigma_3 = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \le [\sigma] \qquad (10)$$

Туртинчи назария буйича эса:

$$\sigma_{экв} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_3} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \le [\sigma] \qquad (11)$$

Назарат саволлари.

1. Кандай кучланиш холати марказий булмаган сикилиш деб аталади?
2. Марказий булмаган сикилишда хар кандай нуктанинг кучланиши кандай формула билан аникланади?
3. Кесимнинг инерция радиуси кандай аникланади?
4. Сикувчи куч кесимнинг бош укларидан бирининг устида ётса, кучланиш кандай формула ёрдамида аникланади?
5. Эксцентриситет деб нимага айтилади?
6. Кутб координатлари билан нейтрал ук орасида кандай муносабат мавжуд?
7. Кесим ядро (узаги) деб кандай сохага айтилади?
8. Эгилиш билан буралишда мустахкамлик шартлари кандай ифодаланади?

12 - Мавзу

Эластик жисм ихтиёрий юкланганда деформациянинг потенциал энергияси ва кучишларни аниклаш - 4 соат.

19 - Маъруза

Эластик жисмлар умумий юкланиш холатидаги потенциал энергия - 2 соат.

Режа: Эластик жисмлар умумий юкланиш холатидаги потенциал энергия, куч таъсирининг узаро богликмаслик принципини куллаш, оддий кучланиш холатлари учун потенциал энергияни аниклаш, Кастилкяно теоремаси.

Таянч тушунча ва иборалар:

Умумий юкланишда деформациянинг потенциал энергияси, оддий кучланиш холатлари учун потенциал энергия, кучлар куйилиш тартибининг бефарклик принципи, Кастилкяно теоремаси.

Тавсия этилган адабиётлар

Асосийлари:

[1., 135-145 б.; 2., 370-376 б.; 3., 309-314 б.]

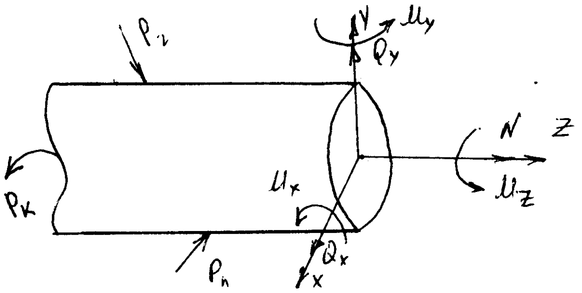
Кушимчалари:

[1., 489-497 б.; 2., 189-197 б.]

Матн.

Биз утган маърузаларимизда бруcларнинг марказий буйлама Чўзилиши ва сикилишида, эгилиши ва буралишида брус нукталарининг кучишини ва унда тупланувчи потенциал энергияларни аниклаган эдик. Брусга умумий ташки кучлар системаси таъсир килсин, яъни фазовий ташкк кучлар системаси таъсир килганда жисм нукталарининг кучишини аниклаймиз. Биз бу ерда факат туцри укли брусларни тахлил килмасдан, эгри укли бруслар ва текис ва фазовий системалар хосил килувчи стерженлар системасини хам текширамиз. Чунки система нукталарининг умумий холда кучишларини аниклаб, биз статик ноаник системаларни ечиш усулларни билан танишамиз. Материаллари каршиллиги фанининг купгина масалалари нукта кучишларига боглик булади: эластик системаларнинг тебраниши, динамик кучлар таъсири ва зарба назарияси. Эластик жисм нукталарининг кучишини аниклаш усулларидан бири энергетик назарияга асосланган теоремалардир. Эластик системада тупланувчи потенциал энергияларни аниклаш ички куч факторларини тахлил килишдан бошланади. Кесиш усули оркали умумий кучлар таъсиридаги брусдаги ички куч факторлари аникланади.

Айтайлик эластик брусга фазовий ташки кучлар системаси таъсир килаётган булсин. Кесиш усули оркали биз ички куч факторларини аниклаб, схемада курсатилгандек жойлаштирамиз.



Бизга маълумки умумий холда жисмнинг ички жисмларида 6 та ички куч факторлари хосил булиши мумкин. Бу ички куч факторларини ажратилган элемент учун ташки куч деб фараз килиб, уларни мумкин булган кучишларида бажарган ишлари жисмда тупланувчи тулик потенциал энергияга утади. Кучлар таъсирининг узаро богликмаслик принципига ва эластиклик чегарасида куйидагиларни хосил киламиз:

$$dU = dU(N) + dU(M_б) + dU(M_у) + dU(M_х) + dU(Q_х) + dU(Q_у) \qquad (1)$$

Бу формуладаги (x, y, z) координаталар системаси кесим учун хам марказий хам бош уклар хисобланади. Утган маърузаларимиздан бизга куйидагилар маълум:

$$dU(M_б) = \frac{{M_б}^2 dz}{2GJ_p} \qquad dU(M_х) = \frac{{M_х}^2 dz}{2EJ_x}$$

$$dU(M_у) = \frac{{M_у}^2 dz}{2EJ_y} \qquad dU(N) = \frac{N^2 dz}{2EF} \qquad (2)$$

Силжишдаги потенциал энергияларни худди шу услубда аниклаймиз:

$$dU(Q_у) = k_y \frac{{Q_y}^2 dz}{2GF} \qquad dU(Q_х) = k_x \frac{{Q_x}^2 dz}{2GF} \qquad (3)$$

k_x ва k_y -улчовсиз коэффициентлар булиб, улар факат жисм кундаланг кесим чизикли улчамларига боглик.

Демак умумий холда жисмда тупланувчи тулик потенциал энергия куйидагича аникланади:

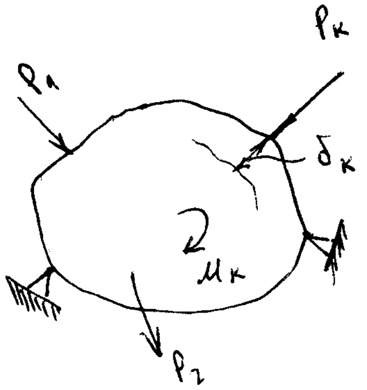
$$U = \int_0^{\ell} \left(\frac{{M_б}^2}{2GJ_p} + \frac{{M_х}^2}{2EJ_x} + \frac{{M_у}^2}{2EJ_y} + \frac{N^2}{2EF} + k_x \frac{Q_x^2}{2GF} + k_y \frac{Q_y^2}{2GF} \right) dz \qquad (4)$$

Агар каралаётган система бир неча бруслардан иборат булса, хар бир брус учун потенциал энергия алохида хисобланиб, кейин уларнинг йиғиндиси олинади.

Кастилкяно теоремаси.

Биз юкорида умумий кучлар таъсиридаги брусда тупланувчи потенциал энергияни хисоблашнинг формуласини аникладик. Бу формуладан куринадики, потенциал энергия хамма ташки кучларнинг функцияси экан, чунки ички куч функциялари ташки кучлар оркали аникланади. Демак, элементда тупланувчи потенциал энергия ташки кучлар функцияси экан.

Шу натижага асосланган холда куйидаги Кастилкяно теоремаси таърифлаш мумкин: Эластик система потенциал энергиясидан бирор ташки куцилган куч буйича хусусий хосиласи жисм куч куйилган нуктасининг куч йуналишидаги умумий кучишига тенг. Ушбу теоремани исботлашда кучлар таъсирининг узаро богликмаслик принципи асос килиб олинган.



$$\delta_k = \frac{\partial U}{\partial P_k}$$

Назорат саволлари:

1. Чўзилиш ва сикилишда деформациянинг потенциал энергияси кандай хисобланади?
2. Силжишда деформациянинг потенциал энергияси кандай хисобланади?
3. Эгилишда деформациянинг потенциал энергияси кандай хисобланади?
4. Буралишда деформациянинг потенциал энергияси кандай хисобланади?
5. Кастилкяно теоремаси кандай ифодаланади?

20 - Маъруза

Мор интеграллари. Вереуагин усули - 2 соат

Режа: Вереуагин Кастилкяно усулининг асосий камчилиги, Мор интеграллари, бирлик кучлар, Вереуагин усули, баъзи эпюраларнинг юзалари.

Таянч тушунча ва иборалар:

Кастилкяно теоремасининг камчилиги, Мор интеграллари, фиктив куч, бирлик куч, Вереуагин усули.

Тавсия этилган адабиётлар

Асосийлари:

[1., 151-156 б.; 2., 383-393 б.; 3., 315-324 б.]

Кушимчалари:

[1., 499-533 б.; 2., 197-208 б.]

Матн.

Эластик система нукталарининг кучишини аниклашда Кастилкяно теоремасининг куйидаги камчилиги мавжуд эди, яъни кучишни факат куч куйилган нуктасининг шу куч йуналишдаги кучишини топиш мумкин эди. Амалда эса эластик система ихтиёрий нуктасининг ихтиёрий йуналишидаги кучишларини топиш керак булади, лекин Кастилкяно теоремаси бу саволга аник жавоб бера олмайди.

Жисм ихтиёрий нуктасининг кучишини аниклаш учун куйидаги усулдан фойдаланилади. Кучишни аниклаш керак булган кучиш, йуналиши буйича фиктив (Ф) кучи куйилиб, жисмнинг потенциал энергияси хисобланади. Кейинчалик эса Кастилкяно формуласидан фойданалиб, куйилган фиктив куч буйича хусусий хосила олиб, (Ф=0) деб оламиз.

Айтайлик берилган жисм А нуктасининг (Х) йуналиш буйича кучишини аниклаш керак булсин. Демак (А) нуктага (Х) йуналиш буйича Ф кучни фиктив куйиб, жисмнинг потенциал энергиясини хисоблаймиз. Бунинг учун жисм ички кесимларида хосил булувчи ички куч факторларини куйидагича ёзиб оламиз.

$$M_Б = M_{БР} + M_{БФ}$$
$$M_X = M_{XP} + M_{XФ} \qquad (1)$$
$$N = N_P + N_Ф \qquad \textit{ва хаказо}$$

Бу ерда $M_{БР}$ ва $M_{БФ}$ лар ички кучларнинг ташки кучларда ва фиктив кучдан хосил булган моментлари булиб, улар (Ф) кучга богликдир.

Юкоридаги (1) формулани куйидагича ёзиб оламиз:

$$M_Б = M_{БР} + M_{Б1}Ф \qquad \text{ва хаказо} \qquad (2)$$

$M_{Б1}$, M_{X1} ...,N_1 лар фиктив куч Ф=1 булган холатдаги ички куч факторлари. Агар ташки кучлар булмаса ва Ф=1 булса, (1) дан хосил киламиз:

$$M_Б = M_{Б1} \ , \qquad N = N_1 \qquad (3)$$

Жисм учун потенциал энергияни хисоблаймиз:

$$U = \int_0^l \frac{\left(M_{БР} + M_{Б1}Ф\right)^2}{2GJ_\rho} dz + \int_0^l \frac{\left(M_{XP} + M_{X1}Ф\right)^2}{2EJ_X} dz + ... + \int_0^l k_y \frac{\left(Q_{YP} + Q_{Y1}Ф\right)^2}{2GF} dz \qquad (4)$$

Кучишни аниклаш учун Кастилкяно теоремасини куллаймиз:

$$\delta_A = \left.\frac{\partial U}{\partial Ф}\right|_{Ф=0} = \int_0^l \left(\frac{M_{БР} \cdot M_{Б1}}{GJ_\rho} + ... + k_y \frac{Q_{YP} \cdot Q_{Y1}}{GF} \right) dz \qquad (5)$$

Хосил килинган натижага Мор интеграл дейилади. Агар жисм стерженлар системасидан ёки бир неча куч участкаларидан иборат булса, (5) натижани хар бир участка учун хисоблаш зарур булади.

Вереуагин усули

Мор интеграли оркали жисм нукталари кучишларни аниклашда катта математик хисоблашлар килиш зарур булади. Агар брус укли булиб, хар бир кисмда унинг бикрлиги узгармас микдор булса, Мор интегралини геометрик усулда хисоблаш хам мумкин. Бу усулини Вереуагин ишлаб чиккан булиб, унинг асосида бирлик куч эпюралари чизикли функциялиги ётади.

$$\delta_A = \int_0^l \frac{M_{БР} \cdot M_{Б1}}{GJ_\rho} dz = \sum \frac{\omega_P M_1^0}{GJ_\rho} \qquad (6)$$

Формуладаги $\omega_Р$ - ташки кучлардан олинган моментлар эпюрасини юзаси,

M_1^0 - бирлик кучдан олинган момент эпюрасининг $\omega_Р$ эпюраси оцирлик марказига мос келган ординатаси.

Назорат саволлари:

1. Кастилкяно теоремасиниг асосий камчилиги нимадан иборат?
2. Фиктив куч кайси нуктага ва кандай йуналишда куйилади?
3. Мор интегралининг мохияти нимадан иборат?
4. Мор интегралидан фойдаланишнинг усуллари?
5. Вереуагин усули кандай ифодаланади?

13 - Мавзу

21 - Маъруза

Статик ноаник системалар - 2 соат

Режа: Стерженли системалар. Текис, текис-фазовий, фазовий системалар. Статик ноаник системалар. Статик ноаниклик даражаси. Куч усули. Куч усулининг каноник тенгламалари.

Таянч тушунча ва иборалар:

Стерженли системалар таснифи. Системанинг кинематик кузцалмас, геометрик узгармас булиш шарти. Статик ноаниклик даражаси (фазода ва текисликда). Куч усулининг каноник тенгламалари.

Тавсия этилган адабиётлар

Асосийлари:

[1., 154-166 б.; 2., 252-263 б.; 3., 324-334 б.; 4., 237-243 б.]

Кушимчалари:

[1., 465-480 б.; 2., 217-243 б.]

Матн.

Элементлари асосан стерженлардан хосил булган системалар (конструкция ва иншоотлар) стерженли системалар дейилади. Элементлари асосан Чўзилишга ёки сикилишга ишлайдиган стерженли системалар фермалар дейилади. Фермаларга юклар тугунларга куйилади.

Системалар куйидагича уч хилга булинади:

А) Агар система элементларининг буйлама уклари ва куйилган кучлар бир текисликда ётса, бундай системалар текис дейилади;

Б) Агар система элементларининг буйлама уклари бир текисликда ётиб, куйилган кучлар шу текисликка перпедикуляр булса, бундай системалар текис-фазовий дейилади.

В) Агар элементларининг уклари ва куйлган кучлари ихтиёрий жойлашса, бундай системалар фазовий дейилади.

Системалар кинематик кузцалмас, геометрик узгармас булишлари учун туцри куйилган фазода-6та, текисликда -3та боцланишларга эга булишлари шарт ва етарли. Аммо амалда системанинг мустахкамлигини каттартириш ёки конструктив заруриятлар туфайли уларга етарлигидан ортикча боцланишлар куйилади. Ортикча боцланишлар сони системанинг статик ноаниклик даражасини белгилайди.

Системаларнинг статик ноаниклик даражаси куйидагича аникланади:

Текисликда $C = n + 3 \cdot K - Ш - 3$

Фазода $C = n + 6 \cdot K - 3Ш - 6$ (1)

Бу ердаги n - системага куйилган боцланишлар сони;

K - ёпик контурлар сони;

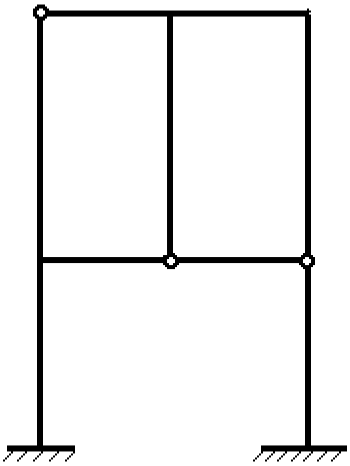
Ш - оддий шарнирлар сони.

Икки стерженларни бирлаштирувчи шарнир оддий дейилади.

Иккидан куп стерженларни бирлаштирувчи шарнир мураккаб дейилади. Харбир мураккаб шарнир m-1 оддий шарнирга тенг булади.

m - шарнирда учрашувчи стерженлар сони.

Мисол:

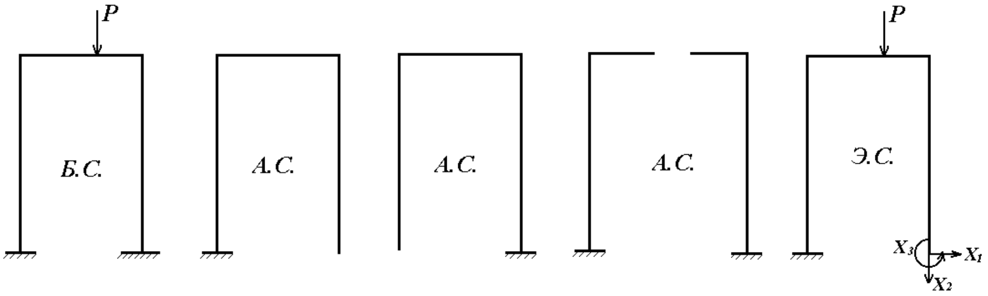


$$C = 6 + 3 \cdot 2 - 5 - 3 = 4$$

Куч усули.

Ихтиёрий статик ноаник система оламиз. Унинг статик ноаиклик даражаси:
$C = 6 - 3 = 3$
Демак, бу системанинг учта боцланиши ортикдир. Ортик боцланишларни олиб ташлаймиз. Хосил булган система асосий система дейилади. Харбир статик ноаник система учун бир нечта асосий системалар тузиш мумкин.

Асосий системалардан биз учун кулай булган биттасини танлаймиз ва унга куйилган кучлар билан олиб ташланган боцланишлар урнига номаълум кучлар куямиз.



Хосил булган система эквивалент система дейилади.

Кушимча деформация тенгламаларини тузамиз. Уларнинг сони системанинг статик ноаниклик даражасига тенг булади.

$$\begin{cases} \delta_1(x_1, x_2, x_3, P) = 0 \\ \delta_2(x_1, x_2, x_3, P) = 0 \\ \delta_3(x_1, x_2, x_3, P) = 0 \end{cases}$$

Кучлар куйилиш тартибининг бефарклик принципига асосан:

$$\begin{cases} \delta_{1X_1} + \delta_{1X2} + \delta_{1X3} + \delta_{1P} = 0 \\ \delta_{2X_1} + \delta_{2X2} + \delta_{2X3} + \delta_{2P} = 0 \\ \delta_{3X_1} + \delta_{3X2} + \delta_{3X3} + \delta_{3P} = 0 \end{cases}$$

Номаълум кучлар таъсирларидан хосил буладиган кучишларни куйидагича узгартирамиз:

$$\delta_{iX_k} = \delta_{ik} \cdot X_k$$

$$\begin{cases} \delta_{11} \cdot X_1 + \delta_{12} \cdot X_2 + \delta_{13} \cdot X_3 + \delta_{1P} = 0 \\ \delta_{21} \cdot X_1 + \delta_{22} \cdot X_2 + \delta_{23} \cdot X_3 + \delta_{2P} = 0 \\ \delta_{31} \cdot X_1 + \delta_{32} \cdot X_2 + \delta_{33} \cdot X_3 + \delta_{3P} = 0 \end{cases}$$

Умумий холда учун n марта статик ноаник система учун юкоридаги ифода куйидагича ёзилади:

$$\begin{cases} \delta_{11} \cdot X_1 + \delta_{12} \cdot X_2 + \ldots + \delta_{1n} \cdot X_n + \delta_{1P} = 0 \\ \delta_{21} \cdot X_1 + \delta_{22} \cdot X_2 + \ldots + \delta_{2n} \cdot X_n + \delta_{2P} = 0 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \delta_{n1} \cdot X_1 + \delta_{n2} \cdot X_2 + \ldots + \delta_{nn} \cdot X_n + \delta_{nP} = 0 \end{cases} \qquad (2)$$

Бу ифода куч усулининг каноник тенгламалари дейилади. Улардаги кучишлар хисобланиб, номаълум кучлар топилади.

Назорат саволлари.

1. Кандай системалар текис дейилади?
2. Кандай системалар текис-фазовий дейилади?
3. Кандай системалар фазовий дейилади?
4. Система кинематик кузцалмас, геометрик узгармас булиши учун кандай шарт бажарилиши керак?
5. Текисликда системанинг статик ноаниклик даражаси кандай аникланади?
6. Фазода системанинг статик ноаниклик даражаси кандай аникланади?
7. Кандай системалар асосий дейилади?
8. Кандай система эквивалент дейилади?
9. Куч усулининг каноник тенгламалари кандай куринишга эга булади?

14 - Мавзу

Сикилишга ишловчи стерженларни устиворликка хисоблаш - 6 соат

22 - Маъруза

Мувозанатнинг устивор ва ноустивор шакллари хакида тушунча. Критик куч. Эйлер формуласи - 2 соат

Режа: Сикилган стерженларнинг устиворлиги. Буйлама эгилиш. Критик куч. Сикилган стерженларнинг критик кучини аниклаш учун Эйлер формуласи. Стерженнинг беркитилишига боглик булган коэффициент.

Таянч тушунча ва иборалар:

Устивор ва ноустивор мувозанат холатлари, бифуркация, критик куч, Эйлер формуласи, чегаравий шартлар.

Тавсия этилган адабиётлар

Асосийлари:

[1., 178-184 б.; 2., 271-275 б.; 3., 417-424 б.; 4., 342-348 б.]

Кушимчалари:

[1., 562-567 б.; 2., 413-424 б.]

Матн.

Марказга куйилган Р куч таъсирида узун юпка стерженларнинг кийшайиши буйлама эгилиш деб аталади. Бундай стерженлар маълум критик кийматдан ошмайдиган куч билан сикилганда кисилишга ишлайди ва унинг уки туцри чизиклигича колади. Агар сикувчи куч критик кийматдан ошса, стержен тусатдан кийшаяди ва унинг уки букилади, яъни у турцунлигини (устиворлигини) йукотади хамда сикилишга ва эгилишга ишлайди. Стержен устиворлигининг йуколиши катта деформацияларга ва кучланишлар пайдо булишига олиб келади, натижада стержен емирилади. Конструкция элементлваринининг куч таъсирида конструктор томонидан белгиланган шаклини саклаш кобилияти устиворлик (турцунлик) деб аталади.

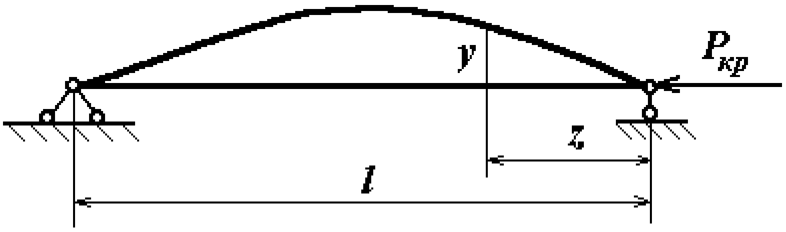
Маълумки, каттик жисмнинг мувозанати устивор ва ноустивор булиши мумкин.

Кундаланг куч таъсирида стержен дастлабки мувозанат холатидан бироз оцган булса ва юк олингандан сунг у дастлабки холатига кайтса, стерженнинг эластик мувозанати устивор (турцун) хисобланади. Агар стержен оциш йуналишида деформацияланишда давом этса ва юк олингандан сунг хам дастлабки холатига кайтмаса, стерженнинг эластик мувозанати ноустивор (нотурцун) хисобланади.

Стерженнинг устивор (турцун) ва ноустивор (нотурцун) холатлари орасида утиш критик холати ётади. Стержен бу холатда дастлабки мувозанат холатини саклайди, лекин сикувчи куч озгина ортса у уз мувозанат холатини йукотиши мумкин. Стержен устивор мувозанат холатидан ноустивор мувозанат холатига утадиган энг кичик куч критик куч $P_{кр}$ деб аталади. Бу кучнинг киймати стержен материалига, кесим шаклига ва таянчларга боглик булади.

Критик кучни аниклаш учун Эйлер формуласи

Эластик боскичда устиворлигини йукотган стержендаги критик куч киймати 1744 йилда Л. Эйлер томонидан чикарган формулада аникланади. Бу масалани ечишда сикилган стерженнинг уки бироз кийшайган деб олиб, бундай кийшайиш булиши мумкин булган куч топилади.



Танланган кесим учун $M(z) = -P_{кр} \cdot y$

Балка эгилган укининг дифференциал тенгламаси:

$$EJ_x \cdot y'' = \pm M(z)$$

Юкоридаги икки ифодани солиштириб куйидага иккинчи даражали дифференциал тенгламани хосил киламиз:

$$y'' + k^2 y = 0$$

Бу ердаги $k^2 = P_{кр} / EJ_x$ (1)

Бу тенглама куйидаги эчимга эгадир:

$$y = a \cdot \sin kz + b \cdot \cos kz$$

Интеграллаш узгармаслари бошланцич шартлардан фойдиланиб топилади:

$z=0$да $y=0$ $\Rightarrow b=0$

$z=l$да $y=0$ $\Rightarrow a \cdot \sin kl=0$

а=0 булиши мумкин эмас, сабаби бу холда у=0,бундай хол бизни кизиктирмайди.

Демак, sinkl=0 $\Rightarrow$ kl=nπ, k=nπ /l, n=1,2,3, ,,,,

Буни (1) билан солиштирсак:

$$P_{кр} = \frac{n^2 \cdot \pi^2 \cdot EJ}{l^2}$$

n=1 ва $J=J_{\min}$ деб олсак:

$$P_{кр} = \frac{\pi^2 \cdot EJ_{\min}}{l^2}$$

Бу ифода курсатилган таянчларга эга булган стержен учун келтириб чикарилди. Бошкача махкамланган стерженлар учун махраждаги lнинг олдига куйилган коэффициент билан фарк килади. Умумий хол учун Эйлер формуласи куйидагича ёзилади:

$$P_{кр} = \frac{\pi^2 \cdot EJ_{\min}}{(\mu l)^2} \qquad (2)$$

Таркибида эластиклик модули Е мавжуд булгани учун бу формуладан кучланиш пропорционаллик чегарасидан ортиб кетмагунча фойдаланиш мумкин.

Критик куч таъсиридан вужудга келган кучланиш критик кучланиш деб аталади.

$$\sigma_{кр} = \frac{P_{кр}}{F} \qquad (3)$$

Эйлар формуласини кулланиш чегарасида:

$$\sigma_{кр} = \frac{\pi^2 \cdot EJ_{\min}}{(\mu l)^2 F} = \frac{\pi^2 \cdot E i_{\min}}{(\mu l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{\mu l}{i_{\min}}\right)^2}$$

$$\lambda = \frac{\mu l}{i_{\min}} \qquad (4)$$

λ - стерженнинг эгилувчанлиги дейилади. Демак:

$$\sigma_{кр} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2} \qquad (5)$$

Эйлер формуласидан фойдаланиш учун:

$$\sigma_{кр} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2} \le [\sigma_{пц}]$$

Эйлер формуласидан фойдаланиш чегарасини эгилувчанлик билан боцлаймиз. Чегаравий эгилувчанликни юкоридаги ифодадан аниклаймиз:

$$\lambda_{чег} = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_{пц}}} \qquad (6)$$

Агар $\lambda \ge \lambda_{чег}$ булса Эйлер формуласидан фойдаланамиз.

Агар $\lambda < \lambda_{чег}$ булса Ясинский формуласидан фойдаланамиз.

Назорат саволлари:

1. Сикилган стерженлар устиворлигининг йуколиш белгилари нимадан иборат?
2. Кандай куч критик куч деб аталади?
3. Критик кучланиш нима?
4. Эйлер формуласини келтириб чикаришда эгилиш назариясининг кандай дифференциал тенгламасидан фойдаланилган эди?
5. Стерженларнинг эгилувчанлиги нима?
6. Эйлер формуласи кандай куринишга эга? Бу формула чикарилсин.
7. Чегаравий эгилувчанлик кандай аникланади?

8. Кандай чегарада Эйлер формуласидан фойдаланиш мумкин?

23 - Маъруза

Ясинский формуласи. Устиворликка хисоблашнинг амалий усули - 2 с.

Режа: Ясинский формуласи. Сикилишга ишловчи стерженларнинг мустахкамлик ва устиворлик шартлари. Устиворликка рухсат этилган кучланиш. Рухсат этилган кучланишни камайтирувчи коэффициент, устиворликка хисоблашнинг амалий усули.

Таянч тушунча ва иборалар:

Устивор ва ноустивор мувозанат холатлари, устиворликнинг захира коэффициенти, критик куч, Эйлер формуласи, критик кучланиш, эгилувчанлик, чегаравий эгилувчанлик, Ясинский формуласи, рухсат этилган кучланишни камайтирувчи коэффициент, устиворлик шарти.

Тавсия этилган адабиётлар

Асосийлари:

[1., 185-187 б.; 2., 275-285 б.; 3., 405-411 б.; 4., 348-356 б.]

Кушимчалари:

[1., 564-573 б.; 2., 430-440 б.]

Матн.

Ясинский формуласи эмпирик булиб куйидаги куринишга эгадир:

$$\sigma_{кр} = a - в \cdot \lambda \qquad (7)$$

бу ерда а, в - стержен материалига боглик булган, кучланиш улчов бирлигига эга коэффициентлар.

Масалан, кам углеродли пулат учун а=310 МПа; в=1,14 Мпа.

Критик куч эса куйидагича хисобланади:

$$P_{кр}=(a - в \cdot \lambda) \cdot F \qquad (8)$$

Агар сикилувчи стерженга таъсир этувчи куч маълум булиб, унинг кундаланг кесим улчамлари хисобланиш керак булса, стержен эгилувчанлигини аниклаш мумкин булмагани учун Эйлер ва Ясинский формулаларининг кайси биридан фойдаланиш керак эканлигини била олмаймиз. Бундай холларда куйидаги такрибий усулдан фойдаланамиз.

Аста-секин якинлашиш усули.

Сикилувчи стержен учун мустахкамлик шарти:

$$\sigma=P/F_{нетто} \le [\sigma]$$

Устиворлик шарти:

$$\sigma=P/F_{брутто} \le [\sigma]_у$$

Мустахкамликка ва устиворликка рухсат этилган кучланишлар куйидагича аникланади: $[\sigma]=\sigma_{ок}/n$ (9) $[\sigma]_у=\sigma_{кр}/n_у$ (9)

(9) ни (8) га булсак:

$$[\sigma]_у = \frac{\sigma_{кр}}{\sigma_о} \frac{n}{n_у} [\sigma]$$

Куйидаги белгилаш киритамиз: $\varphi = \frac{\sigma_{кр}}{\sigma_о} \frac{n}{n_у}$ (10)

φ - асосий рухсат этилган кучланишни камайтирувчи коэффициент деб аталади.

Демак, устиворлик шарти куйидаги куринишга эга булади:

$$\sigma = \frac{P}{F} \le \varphi[\sigma] \qquad (11)$$

φ - коэффициент стерженнинг материалига ва эгилувчанлигига боцланиб жадвалда берилади.

Бу коэффициентдан аста-секин якинлашиш усулида фойдаланиб сикилишга ишловчи стерженларнинг кундаланг кесим улчамлари аникланади. Бу усулдан фойдаланиш амалий машцулотларда утилади.

Назорат саволлари:

1. Ясинский формуласи качон кулланилади?
2. Ясинский формуласи кандай куринишга эга?
3. Сикилувчи стерженлар учун устиворлик шарти кандай ёзилади?
4. Асосий рухсат этилган кучланишни камайтирувчи коэффициент кандай аникланади?
5. Аста-секин якинлашиш усули кандай кулланилади?

24- Маъруза

Критик кучни аниклаш учун энергетик усул - 2 соат

Режа: Критик кучланиш, тусин эгилган укининг дифференциал тенгламаси, деформация потенциал энергиясининг интеграл куриниши, критик кучни аниклаш учун энергетик усул, оддий мисолларни ечиш.

Таянч тушунча ва иборалар:

Эгилувчанлик, тусин эгилган укининг дифференциал тенгламаси, деформация потенциал энергиясининг интеграл куриниши, критик кучни аниклаш учун энергетик усул, оддий мисолларни ечиш.

Тавсия этилган адабиётлар

Асосийлари:

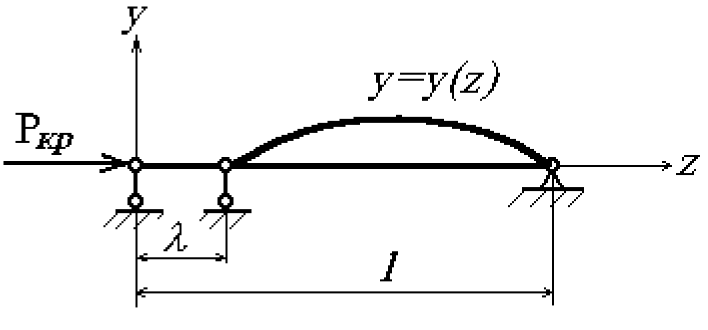
[1., 428-432 б.; 2., 410-423 б.; 3., 366-372 б.]

Кушимчалари:

[1., 564-573 б.; 2., 435-440 б.]

Матн

Айтайлик: бир учи кузцалмас иккинчи учи кузцалувчан таянчга таянган стерженга симметрия уки буйича сикувчи куч куйилган булсин.



$y = y\{z)$ стержен эгилиган укининг аналитик куриниши, $\theta = y\ '(z)$ бурчак коэффициенти. Сикувчи P куч таъсиридан кузцалувчан таянч λ масофага кучади. Демак, сикувчи куч бу кучишда бажарган иши, тусинда тупланувчи тулик потенциал энергияга айланади:

$$U=A=P_{кр}\cdot\lambda \qquad (1)$$

Бошка томондан эса эгилишдаги потенциал энергия куйидагича аникланади:

$$U=\frac{M^2(z)dz}{2EJ} \qquad (2)$$

Маълумки тусин эластик укининг дифференциал тенгламаси куйидагича эди:

$$y''(z)=\frac{M(z)}{EJ} \qquad (3)$$

У холда тусиндаги потенциал энергия (2) ва (3) ларни хисобга олиб, ёзамиз:

$$U=\int_0^l \frac{(y''(z))^2}{(2EJ)^{-1}}dz \qquad (4)$$

Эгилиш давомида dλ ни куйидагича аниклаймиз:

$$d\lambda = dz - dz\ \cos\theta = dz(1-\cos\theta) = \left(2\sin^2 {\theta}/{2}\right)dz \approx {\theta^2}/{2}\ dz$$

Демак, кузцалувчан таянч кучиши λни аниклаймиз:

$$\lambda=\int_0^l \frac{(y'(z))^2}{2}dz \qquad (5)$$

Р куч таъсиридан сикилган жисмда тупланувчи потенциал энергия, стержен устивор мувозанатини йукотгандаги эгилган стержен деформациясининг потенциал энергиясига тенг булади. Демак:

$$P_{кр}=\frac{\int_0^l \frac{(y''(z))^2}{(2EJ)^{-1}}dz}{\int_0^l \frac{(y'(z))^2}{2}dz} \qquad (6)$$

Агар у-нинг функцияси маълум булса критик кучни хисоблаш кийин эмас. Мисол тарикасида Эйлер формуласини куриб чикамиз. Эйлер формуласини топишда чизмада курсатилган стержен берилган эди.

Демак, стержен эгилган укининг функцияси маълум.

$$y=в\ \sin\frac{\pi z}{l}$$ Буни (6)га куямиз ва

$$P_{кр}=\frac{\pi^2 EI}{l^2}$$ ни хосил киламиз.

Хакикатда стержен эгилган укининг дифференциал тенгламаси ечилгунча у-нинг функцияси номаълум булиб колади. Демак, критик кучни хисоблаш учун олдинги усулга кайтиш керак булади.

Аммо у-нинг функциясини такриби олиш мумкин.

Масалан, олдинги курсатилган стержен парабола шаклида эгилади деб оламиз.

$$y = C\,z\,(l - z)$$

Бу функциядан икки марта хосила олиб, уларни (6)га куйсак:

$$P_{кр}=\frac{12EI}{l^2}$$ ва хоказо.

Назорат саволлари:

1. Тусин эгилган укининг дифференциал тенгламаси кандай куринишга эга?
2. Деформация потенциал энергиясининг интеграл куринишдаги ифодаси кандай?
3. Критик кучни аниклаш учун энергетик усул ифодаси кандай?
4. Оддий мисоллар учун энергетик усул кандай кулланилади?

5. Эгилган уки такрибий парабола деб олинган икки томонидан шарнирли махкамланган стержен учун критик куч нимага тенг?

15 - Мавзу

Мустахкамликка узгарувчан кучланишлар таъсиридан хисоблаш-4 соат.

25 - Маъруза

Динамик кучлар таъсиридан мустахкамликка хисоблаш-2 соат.

Режа: Динамик кучлар. Даламбер принципи. Динамик коэффициент. Текис тезлашган харакатдаги кучланиш. Бир текис айланма харакатдаги халканинг кучланиши.

Таянч тушунча ва иборалар:

Статик кучлар, динамик кучлар, Даламбер принципи, динамик коэффициент, инерция кучлари, текис тезлашган харакатда динамик коэффициент, бир текис айланма харакатдаги халканинг кучланиши.

Тавсия этилган адабиётлар

Асосийлари:

[1., 197-199 б.; 2., 442-443 б.; 3., 423-427 б.; 4., 401-403 б.]

Кушимчалари:

[1., 507-509 б.; 2., 454-457 б.]

Матн.

Вакт бирилигида узгариб турувчи кучлар динамик кучлар дейилади. Динамик кучлар таъсирини хисоблашни «Назарий механикада» утилган Даламбер принципидан фойдаланиб бажарамиз. Демак, мувозанат тенгламаларини инерция кучларини хам хисобга олиб тузамиз.

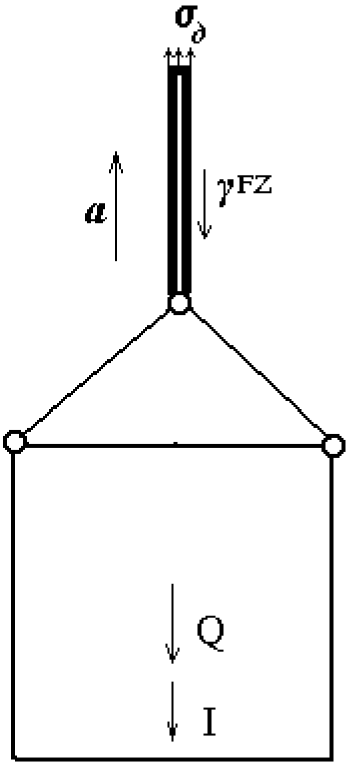
Динамиканинг купчилик масалалари, жумладан, текис тезлашган харакатдаги кучланишларни аниклаш статика масалаларини ечишга асосланади. Факат куйидаги ифода кушилади холос:

$$\sigma_д = k_д \cdot \sigma_{ст}$$

$$\delta_д = k_д \cdot \delta_{ст} \qquad (1)$$

Бу ердаги $\sigma_д$ ва $\delta_д$ - куч динамик булгандаги кучланиш ва кучишлар;

$\sigma_{ст}$ ва $\delta_{ст}$ - куч статик булгандаги кучланиш ва кучишлар;



$k_д$ - динамик коэффициент.

Шундай мисоллардан биттасини курамиз.

Даламбер принципига асосан мувозанат тенгламасини тузамиз:

$$\sum z = 0 \qquad\qquad \sigma_д \cdot F - Q - \gamma F z - I = 0$$

Инерция кучи

$$I = \frac{Q + \gamma F z}{g} \cdot a$$

Демак:

$$\sigma_д = \frac{Q + \gamma F z}{F}\left(1 + \frac{a}{g}\right)$$

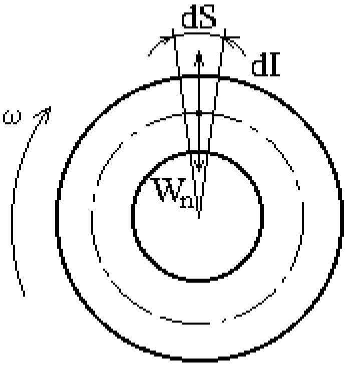
(1) билан солиштирсак:

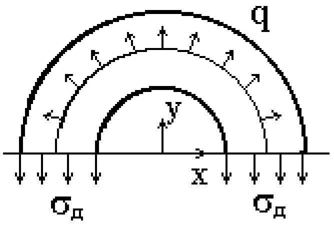
$$k_д = 1 + \frac{a}{g}; \qquad (2)$$

Бир текис айланма харакатдаги халканинг кучланишини хисоблайлик:

Халканинг кунгдаланг кесим юзасини F, солиштирма оцирлигини γ, вакт бирлигида айланишлар сонини n, айланма харакатнинг бурчак тезлигини ω, халка укининг уртача диаметрини D-лар билан белгилаймиз

Халкадан чексиз кичик dS элемент ажратамиз. Халканинг айланма харакати вактида бу элемент айлана буйлаб узгармас ω бурчак тезлик билан харакат





килади. Бурчак тезланиши ε нулга тенг булади, шунинг учун элементнинг урунма тезланиши нул булади, марказга интилувчи тезланиши эса $\varpi_n = \omega D/2$.

Бу элементнинг инерция кучи эса: $dI = \varpi_n \dfrac{F\gamma dS}{g} = \dfrac{F\gamma}{g}\dfrac{\omega^2 D}{2} dS$

Инерция кучининг интенсивлиги: $q = \dfrac{dI}{dS} = \dfrac{F\gamma}{g}\dfrac{\omega^2 D}{2}$

Мувозанат тенгламасини тузсак: $2\sigma_д F = q \cdot D$, бу ердан

$$\sigma_д = \frac{\gamma \omega^2 D^2}{4g} \qquad (3)$$

Назорат саволлари:

1. Кандай кучлар динамик дейилади?
2. Даламбер принципига таъриф берилсин.
3. Динамика масалаларида куйилган кучлардан ташкари кандай кучлар хисобга олинади?
4. Динамик коэффициент нимани ифодалайди?

5. Узгармас тезланиш билан кутарилаётган жисм динамик коэффициенти кандай хисобланади?

26 - Маъруза

Зарб кучлари таъсири-2 с.

Режа: Зарб кучлари, буйлама ва кундаланг зарблар, энергиянинг сакланиш ва айланиш конунидан фойдаланиш, бикрлик коэффициенти, динамик коэффициентни аниклаш, динамик коэффициент ифодасини соддалаштириш мисоллари.

Таянч тушунча ва иборалар:

Зарб кучлари, буйлама ва кундаланг зарблар, энергиянинг сакланиш ва айланиш конуни, бикрлик коэффициенти, динамик коэффициент, динамик коэффициенти ифодасини соддалаштириш.

Тавсия этилган адабиётлар

Асосийлари:

[1., 199-201 б.; 2., 469-480 б.; 3., 428-432 б.; 4., 403-412 б.]

Кушимчалари:

[1., 606-612 б.; 2., 457-461 б.]

Матн.

Жуда хам киска муддат ичида куйилган ва тезлиги бир онда нулга тенглашувчи куч зарбли куч-деб аталади. Зарба бир жисмнинг иккинчи жисмга урилишидан хосил булади. Зарба берувчи жисмнинг тезлик микдори тез вакт ичида нулга тенглашади. Бу вактда зарба еган жисмнинг кучланиши ва деформацияси энг катта кийматга эришади, шундан кейин зарбланувчи жисмда аста-секин сунувчи тебраниш хосил булганидан сунг, унда мувозанат карор топади: зарбланувчи жисмнинг кучланиши билан деформациясининг микдорлари зарб кучи Q - шу жисмга статик равишда куйилганда хосил буладиган кучланиши ва деформациянинг микдоригача камаяди.

Зарба кучининг таъсиридан Чўзилиш ёки сикилиш ва эгилиш деформациялари хосил булиши мумкин. Чўзилиш ёки сикилиш деформацияси хосил буладиган зарба - буйлама, эгилиш хосил буладиган деформация кундаланг деб аталади. Зарба кучи куйидагича аникланади:

$$P(t) = \frac{Q}{g} \cdot j(t) \qquad (4)$$

Бу ифодадаги зарбловчи жисмнинг зарбаланувчи жисмга теккан чоцидаги тезланиши j(t) ни хисоблаш кийин булгани учун, ундан фойдаланиш амалда мумкин эмас.

Энергиянинг сакланиш ва айланиш конунидан фойдаланамиз. Буни осонлаштириш максадида куйидаги чекланишлар ишлатилади:

1. Зарбадан хосил булган кучланишлар порпорционаллик чегарасидан утмайди, бинобарин, зарба жараёнида Гук конуни уз кучини саклайди.
2. Зарба берувчи жисм ноэластик жисмдан ясалган деб каралади, бу чекланиш зарба берувчи жисм зарбаланувчи жисмга урилгандан кейин ундан ажралмайди.

Зарбаловчи жисмнинг потенциал энергияси зарбанинг бошланишида кинетик энергияга айланади, у эса деформациянинг потенциал энергиясига айланади:

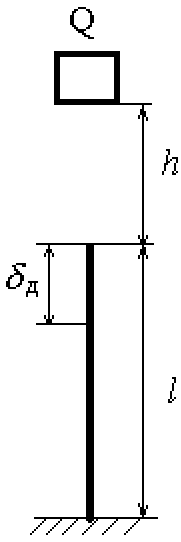
$$\text{П} = \text{Т} = U_{\text{д}} \qquad (5)$$

Бу ерда $\text{Т} = A_{\text{д}} = Q_{\text{ст}} (h + \delta_{\text{д}})$

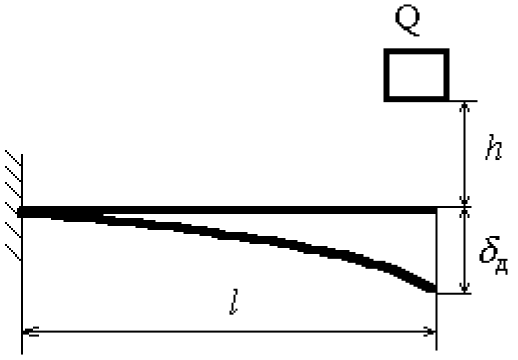
$$U_{\text{д}} = \frac{1}{2} Q_{\text{д}} \cdot \delta_{\text{д}}$$

Буйлама зарба учун:

$$\delta_{ст}=\frac{Q_{ст}l}{EF}=\frac{Q_{ст}}{\dfrac{EF}{l}}=\frac{Q_{ст}}{c}$$ Бу ерда $c=\dfrac{EF}{l}$.



Бўйлама зарба



Кўндаланг зарба

Кундаланг зарба учун:

$$\delta_{ст}=\frac{Q_{ст}l^3}{3EI}=\frac{Q_{ст}}{\dfrac{3EI}{l^3}}=\frac{Q_{ст}}{c}$$ бу ерда $c=\dfrac{3EI}{l^3}$.

Демак умумий холда $Q_{ст}=c\cdot\delta_{ст}$

Юкоридаги чекланишларга асосан $Q_{д}=c\cdot\delta_{д}$

Буларни (5)га куйсак:

$$\frac{1}{2}\cdot c\cdot\delta_{д}^2=\delta_{ст}\cdot(h+\delta_{д}) \qquad \text{ёки} \qquad \delta_{д}^2-2\delta_{ст}\cdot\delta_{д}-2\delta_{ст}\cdot h=0$$

Бу квадрат тенглама куйидаги ечимга эгадир:

$$\delta_{д}=\delta_{ст}+\sqrt{\cdot\,\delta_{ст}^2+2\delta_{ст}\cdot h}=\delta_{ст}\left(1+\sqrt{1+\frac{2h}{\delta_{ст}}}\right)$$

(1)га асосан:

$$k_{д}=1+\sqrt{1+\frac{2h}{\delta_{ст}}} \qquad (6)$$

Агар h - каттарок киймат булса:

$$k_{д}=1+\sqrt{\frac{2h}{\delta_{ст}}}$$

Агар h - жуда катта булса:

$$k_{д}=\sqrt{\frac{2h}{\delta_{ст}}}$$

Назорат саволлари:

1. Кандай кучлар зарба кучлари дейилади?
2. Зарба кучини аниклаш ифодаси кандай?
3. Нима учун юкоридаги ифодадан фойдаланмаймиз?
4. Зарба кучларига кайси конундан фойдаланиб хисобланилади?

5. Буйлама ва кундаланг зарбалар нима билан фарк килади?
6. Динамик коэффициент кандай аникланади?
7. Юкоридаги ифода h анча катта булса кандай узгаради?
8. Юкоридаги ифода h жуда катта булса кандай узгаради?
9. Куч бирданига куйилса динамик коэффициент канча булади?

16 - Мавзу
Эластик тебраниш - 2 соат

27 - Маъруза
Механик тебраниш - 2 соат

Режа: Тебранма харакат, тебранма харакат турлари, эгилишдаги тебранма харакат, харакат дифференциал тенгламаси, харакат амплитудаси ва даври, эркин ва мажбурий частоталар, буйлама тебранма харакат.

Таянч тушунча ва иборалар:

Тебранма харакат, тебранма харакат турлари, эркинлик даражаси, харакат дифференциал тенгламаси, харакат амплитудаси ва даври, эркин ва мажбурий частоталар.

Тавсия этилган адабиётлар
Асосийлари:

[1., 199-201 б.; 2., 453-462 б.; 3., 432-435 б.; 4., 412-419 б.]

Кушимча адабиётлар:

1. Дарков А.И. «Сопротивление материалов», М., Наука,1988 г. 606-612 б.
2. Биргер И.А., Мавютов Р.Р. «Сопротивление материалов»,М., 1986 г. 392-413 б.
3. Феодоскев В.И. «Сопротивление материалов», М., Вхсшая школа,1989 г. 457-461 б.
4. Беляев Н. М.. «Сопротивление материалов»,М.,Наука, 1986 г, 488 - 496 б.
5. Писаренко Г.С. «Сопротивление материалов»,Киев, 1986 г, 587 - 599 б.

Матн

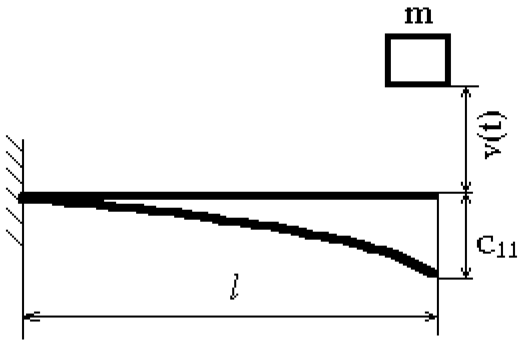
Хозирги замон техникасида динамик кучлар таъсирда булган конструкция элементлари ва машина деталларини мустахкамликка, бикрликка ва устиворликка хисоблаш катта ахамиятга эга. Динамик кучлар ва тебранма харакатлар куп конструкция элементларини емирлишига сабаб булади ва натижада экстремал холатлар вужудга келиши мумкин.

Бирор техник иншоотни лойихалашда унинг тебранма харакати частоталарини билиш ва динамик кучлар таъсирида уни ошишига йул куймаслик зарур булади.

Механика системаларни тебранма харакат назарияси «Умумий механика» курсида тулик тахлил килинган, лекин айрим масалаларни ечишда деформацияланувчи каттик жисм механикаси нуктаи назаридан хам ёндошиш хам керак булади.

Стерженларнинг эгилишдаги тебранма харакати.

Куйидаги схемага муражаат киламиз:



Бундай динамик хисоблаш схемаси фундамент тусинлари ва махкамловчи стерженларда хосил булиши мумкин. Тусинга массаси m булган динамик куч таъсир килганда, унинг эркин тебранишини тахлил киламиз.

Тусин мувозанат холатидан четланиш функциясини v=v (t) белгилаб тусинга таъсир килувчи ташки куч ва тусиннниг эластиклик кучларини хисобга оламиз:

$$F = \frac{1}{C_{11}} \upsilon(t) \qquad (1)$$

Бу ерда C_{11} - тусиннинг куч куйилган нуктадаги бирлик куч таъсирдаги вертикал кучиши, унинг киймати Мор интегралли оркали аникланади.

У холда тусиннинг тебранма харакат тенгламаси куйидагича булади:

$$m\frac{d^2\upsilon}{dt^2} = -\frac{1}{C_{лл}}\upsilon - Q \qquad (2)$$

бу ерда Q - юкнинг оцирлиги, $Q=mq$;

Белгилаш киритиб: $$p^2 = \frac{1}{C_{лл} m} \qquad (3)$$

Асосий тенгламани хосил киламиз:

$$\frac{d^2\upsilon}{dt^2} + p^2\upsilon = -q \qquad (4)$$

Дифференциал тенгламанинг умумий ечимини куйидаги куринишда оламиз:

$$\upsilon(t) = \upsilon(0)\cos pt + \upsilon(0)\frac{1}{p}\sin pt + v_{ст}(1-\cos pt) \qquad (5)$$

$v_{ст}$ - тусинниг оцирлик кучи таъсиридаги вертикал кучиши, *v(0)* и *v'(0)* - t=0 даги бошланцич шартлар.

Айтайлик, бошланцич пайтда юк маълум вертикал кучиш эга булсин:

$$\upsilon(0) = v_{ст} + \upsilon_0 \qquad (6)$$

У холда (5) ифодадан, юкнинг бошланцич вактидаги тезлигини 0 деб олиб, хосил киламиз:

$$\upsilon(t) = v_{ст} + \upsilon_0 \cos pt \qquad (7)$$

Ечим (7)ни тахлил килиш натижасида куйидаги хулосага келамиз: тусин куч таъсирида тебранма харакатда булиб, харакат частотаси р ва амлитудаси υ_0 га тенг мувозанат холати атрофида тебранишда булар экан.

Стерженларинг буйлама эркин тебраниши.

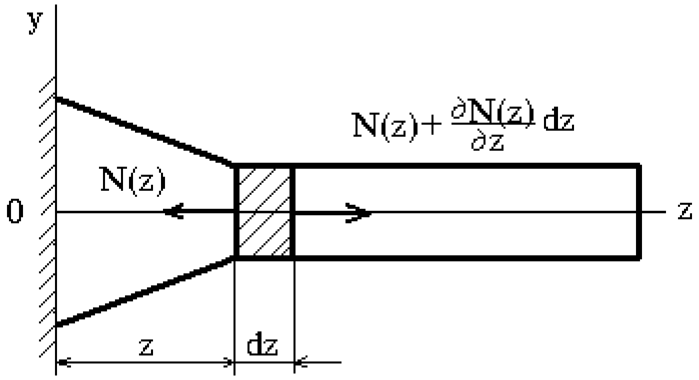
Айрим техник масалаларни ечиш уларда буйлама эркин тебраниш хосил булиши билан боглик: стержен учига зарба таъсири, симли троссларга кундаланг динамик куч таъсири мисол булади.

Буйлама эркин тебранишлар ёки буйлама тулкин таркалиш дифференциал тенгламаси куйидагича:

$$\rho F\frac{\partial^2 w}{dt^2}dz=\frac{\partial N}{dz}dz \qquad (8)$$

ρFdz - dz элементнинг массаси (ρ -стержен материалининг чизикли зичлиги), N - стержен кесимидаги буйлама куч, u - стержен уки буйича йуналган чизикли кучиш.

Гук конуни хисобга олиб:



$$N(z)=\sigma F=\varepsilon EF=EF\frac{\partial u}{\partial z} \qquad (9)$$

Асосий тенглама (8)ни (9) ифодани эслаб, куйидаги тенгламани хосил киламиз:

$$\frac{\partial}{\partial z}\left(EF\frac{\partial u}{\partial z}\right)=\rho F\frac{\partial^2 W}{\partial t^2} \qquad (10)$$

Натижада буйлама эркин тулкин таркалиш тенгламасини хосил килдик. Тебранма харакат частоталари ва формаларини аниклаш учун ечимни куйидагича аниклаймиз:

$$u(z,t)=u(z)*\cos pt \qquad (11)$$

p - буйлама тебранма харакат частотаси.

У холда буйлама тебранма харакат амплитудасини куйидаги тенгламадан топамиз:

$$\frac{d}{dz}\left(EF\frac{du}{dz}\right)+p^2\rho Fu=0 \qquad (12)$$

Кесим юзаси F=const булган стержен учун (12) тенглама куйидаги куринишга эга булади:

$$\frac{d^2u}{dz^2}+\lambda^2 u=0 \qquad (13)$$

Бу ерда $\lambda^2=p^2\frac{\rho}{E}$

Умумий ечим эса куйидаги куринишда булади:

$$u(z)=u_0\cos\lambda z+\frac{1}{\lambda}u(0)\sin\lambda z.$$

Назорат саволлари:

1. Конструкция элементларини динамик кучлар таъсирида тез емирлишига нима сабаб?
2. Тусин эгилишидаги тебранма харакат учун эластиклик кучи кандай ифодаланади?
3. Эгилишда тебранма харакат тенгламасини келтиринг.
4. Буйлама тебранма харакат тенгламаси кандай ифодаланади?
5. Буйлама тебранма харакат жараёнида амплитуда ва частоталар кандай аникланади?
6. Тебранма харакат деб кандай харакатга айтилади?

7. Тебранма харакатнинг кандай турлари мавжуд?