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

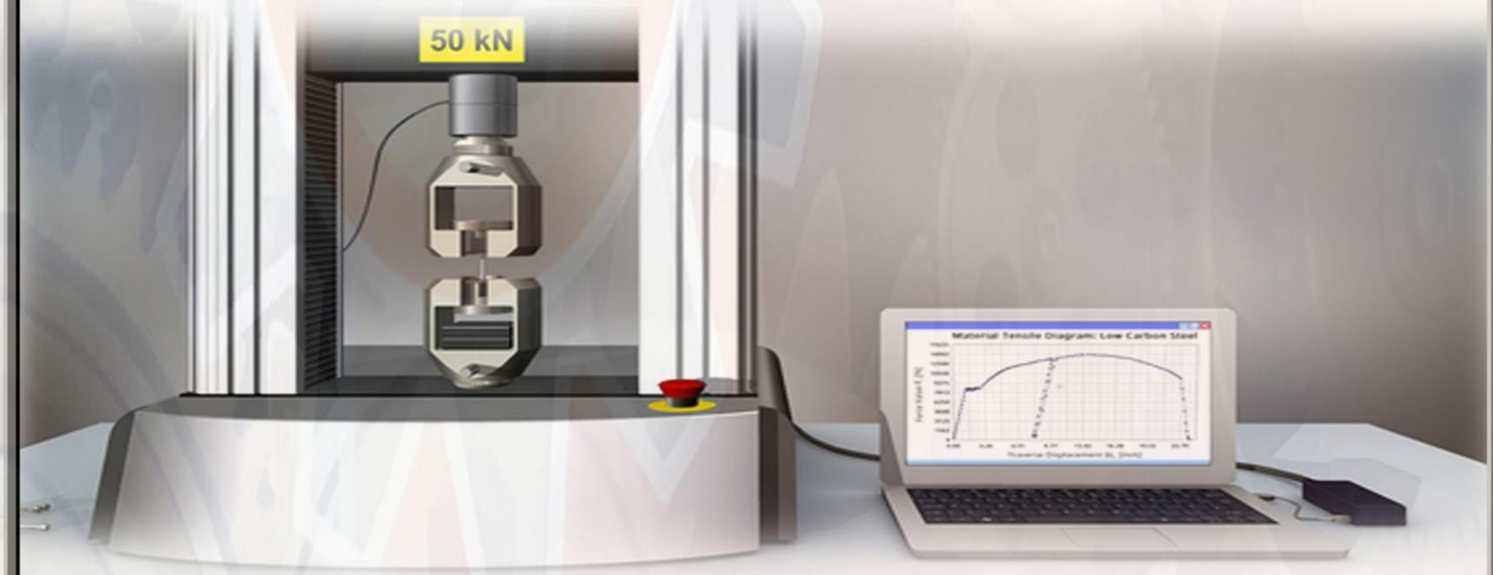
BUXORO DAVLAT UNIVERSITETI
DIFFERENSIAL TENGLAMALAR KAFEDRASI

ESANOV NURIDDIN QURBONOVICH

MATERIALLAR QARSHILIGI FANIDAN

5140300– Mexanika va matematik modellashtirish bakalavriat ta’lim yo’nalishi talabalari uchun

O’QUV QO’LLANMA



Buxoro - 2021

Tuzuvchi:
Esanov Nuriddin Qurbonovich

Ma'sul muharrir:
Safarov I.I. – fizika-matematika fanlari doktori, professor.

Taqrizchilar:
Teshaev M.X. - fizika-matematika fanlar doktori (DSc)
Jumaev J.- fizika-matematika fanlar nomzodi dotsent

O'quv qo'llanma O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta ta'lim vazirligi tomonidan tasdiqlangan namunaviy o'quv dasturi asosida, mexanika va matematik modellashtirish talimi yo'nalishi talabalari va magistrlari uchun o'quv qo'llanma sifatida yozilgan. Barcha konstruksiya elementlariga mustahkamlik, bikirlik va ustivorlik talablari qo'yiladi. Bu talablarni ta'minlash uchun konstruksiya elementlarida tashqi kuch ta'siridan hosil bo'ladigan zo'riqish va deformatsiyalarni bilish zarur.

Ushbu o'quv qo'llanma 5140300-Mexanika va matematik modellashtirish ta'lim yo'nalishi talabalariga mo'ljallangan.

Учебное пособие написано на основе типовой учебной программы, утвержденной Министерством высшего и среднего специального образования Республики Узбекистан, в качестве учебного пособия для бакалавров и магистров направления «Механика и математическое моделирование». Ко всем элементам конструкции предъявляются требования прочности, жесткости и устойчивости. Для обеспечения этих требований необходимо знать напряжения и деформации, возникающие при воздействии внешней силы на элементы конструкции.

Данное учебное пособие предназначено для студентов образовательного направления 5140300-Механика и математическое моделирование.

The textbook is written on the basis of a standard curriculum, approved by the Ministry of Higher and Secondary Specialized Education of the Republic of Uzbekistan, as a textbook for bachelors and masters of the direction "Mechanics and Mathematical Modeling". All structural elements are subject to requirements for strength, rigidity and stability. To meet these requirements, it is necessary to know the stresses and deformations that arise when an external force acts on structural elements.

This tutorial is intended for students of the educational direction 5140300-Mechanics and Mathematical Modeling.

So’z boshi

Ma’lumki barcha konstruksiya elementlariga mustahkamlik, bikirlik va ustivorlik talablari qo’yiladi. Bu talablarni ta’minlash uchun konstruksiya elementlarida tashqi kuch ta’siridan hosil bo’ladigan zo’riqish va deformatsiyalarni bilish zarur.

Konstruksiya elementlarida hosil bo’lgan zo’riqish va deformatsiyalarni talabalarning mustaqil aniqlashi, ularning fanni yaxshi o’zlashtirishiga, muhandislarda qo’yilgan masalalarni y ilmiy yondashishga undaydi hamda kerakli ma’lumotlarni izlab topish, qulay usul va vositalarni aniqlashni, ma’lumotlar bazasini tahlil qilishga, texnik va ma’lumotlar adabiyotlaridan foydalanishga o’rgatadi.

Ma’ruza mashg’ulotlari talabada bilimni mustahkamlovchi ularni yangi vaziyatga ko’chirib, amaliy masala va vaziyatlarni hal qilish uchun umum-pedagogik tushunchalar va asosiy pedagogik mahoratlarni rivojlantirishga qaratilgan.

O’quv qo’llanma O’zbekiston Respublikasi Oliy va o’rta maxsus ta’lim vazirligi tomonidan tasdiqlangan «Materiallar qarshiligi» fani bo’yicha tayyorlangan namunaviy dasturiga asoslanib tayyorlandi.

Professor ustozlarim qo’lyozma bilan tanishib qimmatli maslahatlar, fikr va ko’rsatmalar berganliklari uchun f.-m.f.d., professor I.I. Safarovga, f.-m.f.d. (DSc) M. X. Teshaevga va fizika-matematika fanlar doktori (DSc), Boltaev Zafar Ixtiyorovichga o’z minatdorchiligimni bildiraman.

1-Mavzu: Materiallar qarshiligi fanining asosiy tushunchalari

Reja:

1.Materiallar qarshiligi fanining tarixi

2.Materiallar qarshiligi fanining hisob sxemalari

3.Materiallar qarshiligi fanining asosiy farazlari

4.Materiallar qarshiligi fanining maxsus fanlar bilan bog'liqligi

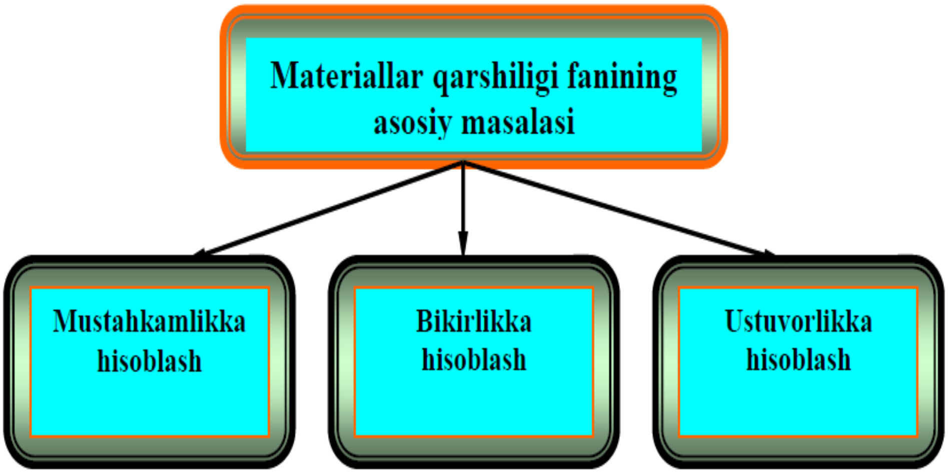
Tayanch so'z va iboralar: *inshoot, mashina, chidamli, xavf-xatarsiz, mustahkam, bikr, ustuvor, normal, urinma, kuchlanish, ruxsat etilgan, deformatsiya, elastik, plastik, ichki kuchlar, kesish usuli, gipotezalar, yaxlit, bir jinsli va izotrop.*

Materiallar qarshiligi fanining tarixi va predmeti

Tarixni shakllanishini umuman quyidagicha tariflash mumkin: tarix vaqt me'yorida sababli jarayonni sodir bo'lishini tahlil etadi. Materiallar qarshiligi tarixini bayon etish uchun mexanika, matematika va astronomiya holatidan xabardor bo'lish kerak.Turli injenerlik inshootlarini loyihalashda konstruksiyalar ayrim elementlarining o'lchamlarini aniqlashga to'g'ri keladi. Bunda mustahkamlik, ustuvorlik, uzoq muddatga chidamli hamda iqtisodiy jihatdan tejamli inshoot yaratish kabi maqsadga qaratilgan hisoblashlar asosida hal qilinadi. Bunday masalalar mashina, samalyot, kema va boshqa sohalarda ularni loyihalashda ham paydo bo'ladi.Ushbu masalalarning barchasi "Materiallar qarshiligi" fanida ko'rib chiqiladi.

Materiallar qarshiligi fani VIII asr oxiri IX asr boshlaridan rivojlanib boshladi. Uni rivojlantirishda oliy matematika, fizika va nazariy mexanika fanlariga asos solgan Eyler, Dalamber, Guk va boshqa olimlarimiz o'z hissalarini qo'shganlar. XX asrda materiallar qarshiligi fanining rivojlanishida katta hissa qo'shgan o'zbek olimlari: M. T. O'razboyev, X.A. Raxmatulin, X. X. Usmonxodjayev, T. R. Rashidov va boshqalar.

Materiallar qarshiligi fani qurilish inshooat qismlarini, konstruksiya elementlarini mustahkamlikka, bikrlikka va ustuvorlikka hisoblash usullarini o'rganadigan fandir.



Mustahkamlik – konstruksiya elementlariga tashqi kuch ta’sir etganda uning yemirilmay qolish qobiliyatidir.

Bikrlik – konstruksiya elementlarining tashqi kuch ta’siridan deformatsiyaga qarshilik ko’rsatish qobiliyatidir.

Ustuvorlik – konstruksiya elementlarining tashqi kuch ta’siridan konstruktor tamonidan berilgan shaklini saqlash qobiliyatidir.

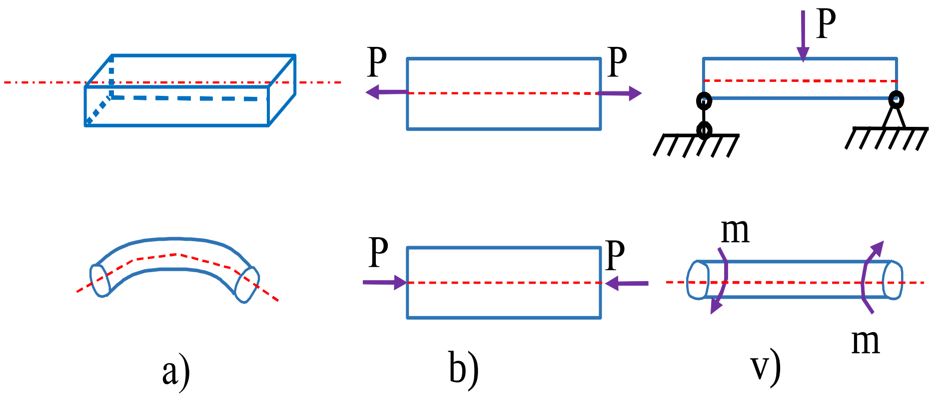
Materiallar qarshiligi fanining maqsadi kam material sarf etib, arzon va uzoq ishlaydigan konstruksiyalarni yaratishdan iborat.

Materiallar qarshiligi fanida masalalar quyidagi sxemalar bo’yicha yechiladi.

1. Hisoblanadigan elementlarning materiali va ko’ndalang kesim shakllarini tanlash.
2. Berilgan ish sharoiti uchun elementning mustahkamlik ishonchlilik, uzoq vaqt ishlashi va material tejamliligini ta’minlovchi ko’ndalang kesim o’lchamlarini hisoblash.
3. Avvaldan mavjud bo’lgan konstruksiyalar bardosh bera oladigan tashqi kuch miqdorini aniqlash.

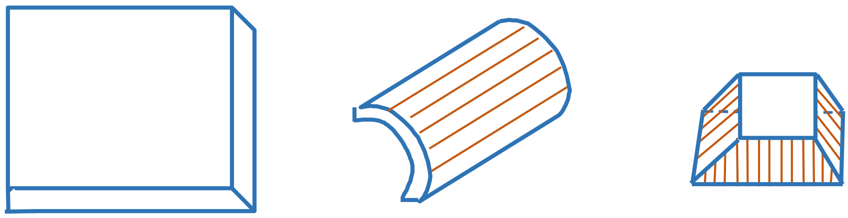
Qurilmalar qismlarining hisob sxemalari

Materiallar qarshiligida oddiy shaklli jismlarning deformatsiyasi o’rganiladi. Amalda esa muhandislik qurilmalari murakkab shaklli bo’ladi, ularning alohida qismlarini sxemalashtirib oddiy shaklli ko’rinishga keltiriladi. Bunday jismlar jumlasiga *g’o’la (brus), plastinka va qobiqlar* kiradi.


P
P
P
P
P
m
m
a)
b)
v)

Brus–prizmatik yoki silindrik shakldagi jismlarning ko’ndalang kesim o’lchamlari uzunlik o’lchamiga qaraganda juda kichik bo’lgan konstruksiya elementi. Agar uning geometrik o’qlari to’g’ri chiziqli bo’lsa to’g’ri bruslar, egri bo’lsa egri bruslar deb ataladi (a). Bularning ko’ndalang kesim yuzalari uzunligi bo’ylab o’zgarmas yoki o’zgaruvchan bo’lishi mumkin. Ko’ndalang kesim yuzalarining og’irlik markazlarini tutashtiruvchi chiziq **brus o’qi** deb ataladi.

Agar brus cho’zilish yoki siqilishga ishlasa – sterjen (b), buralishga ishlasa – val (g), egilishga ishlasa-balka yoki to’sin (v) deb yuritiladi. Materiallar qarshiligida eng ko’p uchraydigan konstruksiya qismlari bo’lgan bruslar hisobiga asosiy e’tibor qaratiladi.



a) *b*) v)

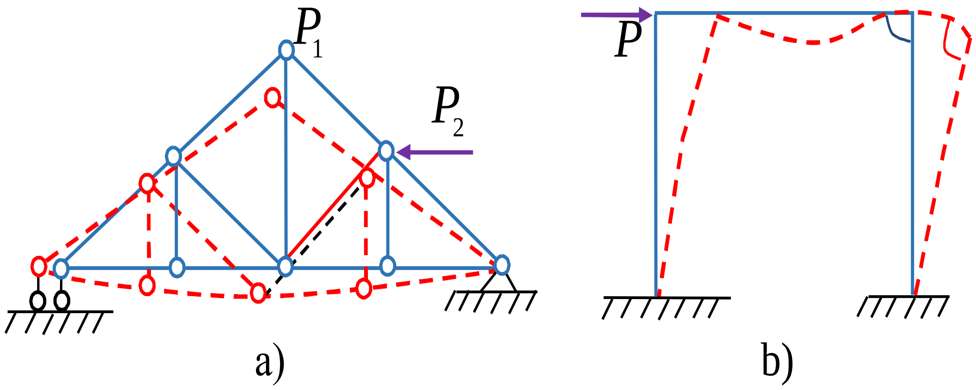
2. **Plastinka** deb bir o’lchami (qalinligi) boshqa o’lchamlariga qaraganda juda kichik bo’lgan konstruksiya elementiga aytiladi (a).

Boshqacha aytganda, **plastinka** deb qalinligiga nisbatan o’lchamlari katta bo’lgan tekis sirt bilan o’ralgan konstruksiya qismlariga aytiladi. Bularga imoratga qo’yiladigan har xil plitalar , yo’lga to’shaladigan beton plitalar va boshqalar kiradi.

Plastinkalar bilan bir qatorda **qobiqlar** ham ko’p uchraydi, ularning tashqi konturlari egri chiziqli sirtlar bilan chegaralangan bo’ladi (b). Qobiqning qalinligi uning qolgan o’lchamlariga nisbatan juda kichik bo’ladi. Bularga turli yupqa devorli idishlar, me’morchilik gumbazlari va boshqalar kiradi.

3. **Massiv** deb uchala o’lchami bir xil tartibda bo’lgan konstruksiya elementiga aytiladi (v). Bularga ko’prik tayanchlari, bino ustunlari , vazmin poydevorlar va boshqalar kiradi.

Konstruksiyaning bayon qilingan elementlaridan tashqari ularning tuzilmalari ham bo'ladi. Bunga ferma va ramalar kiradi.



1. **Ferma** deb bir necha sterjenlarni sharnirlar yordamida biriktirishdan hosil bo'lgan geometrik o'zgarmas sistemaga aytiladi (a). Tashqi kuchlar ta'sirida fermaning faqatgina tugunlarigina ko'chib, sterjenlar to'g'riligicha qoladi, chunki sterjenlarda sharnirlar bo'lganligi uchun ular faqat cho'zilishga yoki siqilishga qarshilik ko'rsatadi.

2. **Rama** deb bir necha bruslar bikr qilib tutashtirilishidan hosil bo'lgan sterjenlar sistemasiga aytiladi (b). U yuklanganda uning ayrim elementlari egilib, tutashtirilgan nuqtalaridagi to'g'ri burchaklar o'zgarmaydi. Yuqoridagi shaklda konstruksiya tuzilmalarining deformatsiyadan keyingi vaziyati punktr chiziq bilan ko'rsatilgan.

Materiallar qarshiligi fanining asosiy farazlari.

Materiallar qarshiligi fanida masalalarni echishni yengillashtirish uchun quyidagi faraz va cheklanishlar qabul qilinadi.

Konstruksiya elementlarining mustahkamligini, bikrligini va ustuvorligini tekshirishda, hisoblash formulalarini keltirib chiqarishni osonlashtirish maqsadida materiallar qarshiligida bir qator cheklanishlarga yo'l qo'yiladi. Bu cheklanishlar, gipotezalar (farazlar) deyiladi. Bu gipotezalar quyidagilardir:

1-gipoteza. *Konstruksiya materiali yaxlit (g'ovaksiz) deb hisoblanadi*, ya'ni materialning diskret va atom tuzilishi e'tiborga olinmaydi. Jism deformatsiyagacha va deformatsiyadan keyin ham uzluksizdir. Bunga asosan deformatsiya va kuchlanishlar koordinatalarning uzluksiz funksiyasi deb qaraladi. Bu gipoteza real materiallar uchun matematik analizning formulalarini ishlatishga asos bo'ladi.

2-gipoteza. *Konstruksiya materiali bir jinsli va izotrop deb qabul qilinadi*, ya'ni materialning hamma nuqtalaridagi va yo'nalishlaridagi xususiyatlari bir xildir. Bu gipoteza yog'och, beton kabi materiallar uchun kam ishlatiladi, chunki ularning bir jinsli xususiyati kamroqdir.

3-gipoteza. *Konstruksiya yuklanishdan oldin unda boshlang'ich zo'riqish kuchlari bo'lmaydi deb qabul qilinadi.* Darhaqiqat, yog'ochning notekis qurishi, betonning notekis qotishi kabi hollarida ularda boshlang'ich zo'riqish kuchlari hosil bo'ladi, lekin bu zo'riqish kuchlarining miqdori, tashqi yuk ta'siridan jismda hosil bo'ladigan qo'zg'aluvchi zo'riqish kuchlari miqdoriga qaraganda juda kichik bo'ladi.

4-gipoteza. *Konstruksiya materiali ideal elastik deb qabul qilinadi*, ya'ni deformatsiyani chaqiruvchi sabab olingandan so'ng, material o'zining boshlang'ich holatiga to'liq qaytadi. Ideal elastik jismning deformatsiyasi har bir momentda faqat yukga bog'liq bo'lib, u yukning qanday ketma-ketlikda qo'yilishiga bog'liq emasdir. Bu gipoteza berilgan material uchun elastiklik chegarasi deb ataluvchi "kuchlanish" dan oshmagan holda to'g'ridir. Undan oshganda materialda plastik (qoldiq) deformatsiya hosil bo'lib, u yuk olingandan so'ng ham yo'qolmaydi yoki qisman yo'qoladi.

5-gipoteza. *Konstruksiya materialining deformatsiyasi, uning har bir nuqtasida kuchlanishga to'g'ri proportsional deb qabul qilinadi.* Bu gipoteza Guk qonuni deyiladi. Bu gipoteza berilgan material uchun proportsionallik chegarasi deb ataluvchi "kuchlanish" dan oshmagan holdagina to'g'ridir.

6-gipoteza. *Brus ko'ndalang kesimi kuch qo'yilgangacha tekis va brus o'qiga normal bo'lib, kuch qo'yilgandan keyin ham tekis va brus o'qiga normal bo'lib qoladi.* Bu gipotezaga tekis kesimlar gipotezasi yoki Bernulli gipotezasi deyiladi.

7-gipoteza. *Konstruksiya elementlarining deformatsiyalari katta bo'lmaganligi sababli, ayrim nuqtalarning ko'chish miqdori sistemaning asosiy o'lchamlariga nisbatan juda kichik bo'ladi.* Masalan, bir uchi bilan qistirib mahkamlangan, erkin uchiga P kuch qo'yilgan balkani qaraymiz. Kuch ta'siridan balka egiladi, kuch qo’yilgan nuqta vertikal z va gorizontal x ga ko’chadi. Qistirib mahkamlangan tayanchda moment quyidagicha bo’ladi: $M = P(l - u)$ Ko’chish balka uzunligi l ga nisbatan juda kichik bo’lganligidan uni e’tiborga olmay momentni quyidagicha hisoblasa ham bo’ladi: $M = Pl$

8-gipoteza. *Kuchlar ta’sirining mustaqillik prinstipi*. Bu prinsipga ko’ra kuchlar sistemasi ta’sirining natijasida bu kuchlarni ketma - ket yoki tartibsiz qo’yilishidan hosil bo’ladigan ta’sirlar natijasi teng deb faraz qilinadi. «Ta’sir natijasi» degan termindan jismlarda ichki kuchlar ta’siridan uning ayrim nuqtalarida hosil bo’ladigan deformatsiya va ko’chishlar tushuniladi. Bu prinsipdan nazariy mexanikada keng ko’lamda foydalanilsa ham, deformatsiyalanuvchi jismlar uchun undan quyidagi ikki shart: a) kuch qo’yilgan nuqtaning ko’chishi jism o’lchamlariga nisbatan juda ham kichik bo’lish sharti; b) ko’chishlar, deformatsiyalarning natijasi bo’lganligidan, u ta’sir qiluvchi kuchlarga proportsional, ya’ni chiziqli bog’langan bo’lish sharti bajarilgan taqdirdagina foydalanish mumkin.

Bu prinsipni, Guk qonunidan foydalanish mumkin bo’lgan va deformatsiya kichik hollarda ishlatish mumkin

9-gipoteza. *Sen-Venan prinsipi. Bu prinsipga asosan, kuchlar ta’sir nuqtasidan yetarlicha uzoqlikda joylashgan nuqtalarda hosil bo’ladigan ichki kuchlar xarakteri tashqi kuchning ta’sir xarakteriga bog’liq emas deb qabul qilinadi*. Bu prinsip asosida, jismga u qadar katta bo’lmagan yuzachalarda taqsimlangan kuchlar shu kuchlarning teng ta’sir etuvchisini ifodalovchi bitta to’plangan kuch bilan almashtirilishi mumkin, buning natijasida hisoblash ishi osonlashadi.

Materiallar qarshiligi fanining nazariy mexanika fani bilan bog’liqligi

Mexanik harakatlarni va moddiy jismlarning o‘zaro ta’sirlarini o‘rganadigan fan *mexanika* deb ataladi. Mexanikada o‘rganiladagan muammolarning davrasi juda keng bo‘lib, ushbu fanning rivojlanishiga bog‘liq holda, deformatsiyalanuvchi qattiq jismning, suyuqlik va gazlarning mexanikasini o‘rganuvchi qator mustaqil sohalar paydo bo‘ldi. Bunday sohalarga, elastiklik nazariyasi, plastiklik nazariyasi, gidromexanika, aeromexanika, gazlar dinamikasi va tadbiqiy mexanikaning qator sohalari: materiallar qarshiligi, inshootlar statikasi, mexanizm va mashinalar nazariyasi, gidravlika va boshqa maxsus injenerlik fanlari misol boʻladi. Yuqoridagilarga taalluqli boʻlgan umumiy tushunchalar, qonunlar va usullarni oʻrganuvchi fanni *nazariy (yoki umumiy) mexanika* deb ataladi.

Nazariy mexanika material nuqtalarini, material nuqtalar sistemasining harakatini va ularning muvozanatini tekshiradi. Nuqtalar sistemasining oddiy misoli tariqasida absolyut qattiq jismni olish mumkin. Absolyut qattiq jismga tashqi kuch ta’sir qilganda uning zarrachalari oralig’i, ya’ni jismning shakl va o’lchamlari o’zgarmaydi. *Absolyut qattiq jism* deb, shunday jismlarga aytiladiki, ularda ixtiyoriy olingan ikki nuqta orasidagi masofa har doim oʻzgarmas boʻlishi shart. Nazariy mexanikaning qonun va formulalari, deformatsiyasi e’tiborga olinmaydigan jismlar uchungina to’g’ridir. Masalan, juda bikr qilib tayyorlangan mexanizm zvenolarining deformatsiyalari e’tiborga olinmaganligidan ularning tezlik va tezlanishlari, qattiq jismlar mexanikasining qonunlari asosida hisoblanganda aniq natijalar chiqadi. Statik aniq balkalarning reaksiyalarini, statik aniq fermalarning sterjenlaridagi zo’riqishlarni topishda konstruksiyalarning qisimlari bikr bo’lganligi uchun statika tenglamalaridan foydalaniladi. Absolyut qattiq jismlar mustahkamligini va bikrligini hisoblashning hech qanday ma’nosi yo’q, chunki ular deformatsiyalanmasligi va yemirilmasligi lozim, bu esa absolyut qattiq jism degan nomning o’zidan ravshan. Shu bilan birga, statikaning ayrim masalalari, chunonchi reakstiya va zo’riqish kuchlarini topish masalasi borki, bunday hollarda jismlar shaklining *va* o’lchamlarining o’zgarishini hisobga olmay bo’lmaydi. Bunday masalalar statik aniqmas masalalardir. Materiallar qarshiligi nazariy mexanikaga ko’p jihatdan o’xshab ketadi. Darhaqiqat, ikki fan ham inshoot qismlariga kuchlarning ko’rsatgan ta’sirini o’rganadi. Nazariy mexanikada jismlar absolyut qattiq deb qaraladi. Biroq materiallar qarshiligida masalalarning qo’yilishi nazariy mexanikadan bir muhim xususiyati jihatidan farq qiladi, ya’ni materiallar qarshiligida jismlar tashqi kuch ta’sirida o’z geometrik shaklini ma’lum darajada o’zgartiradi deb qaraladi. Jismlarning o’z geometrik shaklini o’zgartishi *deformatsiya* deb ataladi.

Nazorat savollari

1. Materiallar qarshiligi fanining tarixini ayting?
2. Materiallar qarshiligi fanining asosiy farazlarini ayting?
3. Materiallar qarshiligi fani qanday fanlar bilan bog'liq?
4. G'o'la (brus), plastinka va qobiqlar deb nimaga aytiladi?
5. Deformatsiya nima?

2 – Mavzu:Tashqi va ichki kuchlar

Reja:

1.Tashqi kuchlar va ularning turlari

2.Ichki zo'riqish kuchlari

3.Kesish usuli

4.Bo'ylama kuch

Tayanch so'z va iboralar: *Aktiv kuch, passiv kuch, taqsimlangan kuch, Juft kuch, moment, intensiv, hajmiy kuch, ichki, ichki zo'riqish kuchlari, atom zarracha, statik kuchlar, dinamik kuchlar, zarb yuklari, davriy, nodavriy, doimiy kuchlar va muvaqqat kuchlar.*

Tashqi kuchlar konstruksiya elementlariga, qurilish inshooti elementlariga qo'yilgan kuchlar deyiladi. Tashqi kuchlar *aktiv va passiv* kuchlarga bo'linadi.

Aktiv kuchlar bu bir nuqtaga qo'yilgan to'planma kuch *R (N), u*zunlik bo'yicha tekis taqsimlangan kuch yoki intensiv kuch $q\left(\frac{H}{м}\right)$, juft kuch yoki moment *M (Nm), y*uza bo'yicha ta'sir etuvchi kuch va hajmiy kuchlardir.

Passiv kuchlar tayanch reakstiya kuchlari bo'lib, ular statikaning muvozanat tenglamalaridan foydalanib topiladi.

Konstruksiyaga ta'sir qiluvchi kuchlar, asosan ikkiga bo'linadi: Sirtqi kuchlar va hajmiy kuchlar. Jismga qo'shni ikkinchi jismdan o'tadigan va jism sirti bo'ylab tarqalgan kuchlarga sirtqi kuchlar deyiladi. Sirtqi kuchlar to'plangan va yoyilgan bo'ladi .

***To'plangan kuchlar*.** Bu kuchlar inshootning kichik yuzasida, amalda shartli ravishda nuqtada ta'sir qiladi deb hisoblanadi. Bu kuchlarga sharning balkaga bosimi, g'ildirak tugunining relsga bosimi va boshqalar kiradi. To'plangan kuchlar *n* (Nyuton) bilan o'lchanadi .

***Yoyilgan kuchlar*.** Bu kuchlar inshoot qismining ma'lum yuzasi yoki uzunligi bo'yicha uzluksiz ravishda ta'sir qiladi. Ular tekis yoki ixtiyoriy ravishda taqsimlangan bo'lishi mumkin. Bu kuchlarga, to'g'on devoriga suvning bosimi, tom ustidagi qorning bosimi va boshqalar kiradi. Yoyilgan kuchlar yuza bo'yicha taqsimlangan bo’lsa $н/м^2$ bilan, uzunlik bo’yicha taqsimlangan bo’lsa $н/м$ bilan o’lchanadi.

Konstruksiya elementlariga ta’sir qiluvchi tashqi kuchlarga aktiv kuchlar qatori, reakstiya kuchlari ham kiradi.

Yuklarning vaqt bo’yicha o’zgarishiga qarab kuchlar statik va dinamik bo’ladi.

Statik kuchlar vaqt bo’yicha shunchalik sekin qo’yiladiki, konstruksiya nuqtalarida tezlanish hosil bo’lmaydi deb hisoblanadi.

Dinamik kuchlar juda qisqa vaqt ichida o’z qiymati yoki holatini o’zgartiradigan kuchlardir. Masalan, zarb yuklari. Dinamik kuchlar davriy va nodavriy ham bo’lishi mumkin.

Inshootga ta’sir qiluvchi kuchlar doimiy va muvaqqat bo’lishi mumkin. Doimiy kuchlar deb inshootning butun xizmat davomida uzluksiz ta’sir qiladigan kuchlarga aytiladi. Masalan, inshootning o’z og’irligi.

Muvaqqat kuchlar cheklangan vaqt oralig’ida ta’sir qiladi. Unga mashinaning ko’prikdan o’tishdagi bosimi, qorning og’irligi misol bo’ladi.

Hajmiy kuchlar deb jismning butun hajmi bo’yicha taqsimlangan kuchlarga aytiladi. Bu kuchlarga og’irlik kuchlari, magnit tortish kuchlari, inerstiya kuchlari va boshqalar kiradi. Hajmiy kuchning o’lcham birligi $н/м^3$.

Agar brus sirtida uzunligiga nisbatan o’lchamlari juda kichik bo’lgan uchastkada yuk ta’sir qilsa, hisob sxemasida to’plangan kuch bilan almashtiriladi, ya’ni yuk sirt nuqtasiga qo’yilgan deb hisoblanadi. Agar yuk katta uchastkaga qo’yilgan bo’lsa, u vaqtda sirt bo’yicha taqsimlangan bo’ladi yoki chiziq bo’yicha taqsimlangan holga keltiriladi.

Jismga qo’yilgan kuchlar gruppasini teng ta’sir etuvchi bilan va aksincha, teng ta’sir etuvchini tashkil etuvchilar bilan almashtirish faqatgina jismning muvozanatini o’rganishda foydalanish mumkin, agar gap ko’chishlarni aniqlash haqida bo’lsa bunday qilish mumkin.

Ichki va ichki zo'riqish kuchlari

Jismni hosil qiluvchi atom zarrachalari orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari boshlang'ich ***ichki kuchlar*** deyiladi. Agar jismga tashqi kuch qo'yilsa, uning zarrachalarini o'zaro muvozanatda tutib turuvchi ichki kuchlar o'zgaradi va jism deformatsiyalanib, uning kesimlarida ichki kuchlar hosil bo'ladi, bularga, ko'pincha ***zo'riqish kuchlari*** deyiladi. Ichki kuchlar masalasini mukammal hal qilish uchun uning statik (tekshirilayotgan qismining muvozanat tenglamasini tuzish), geometrik (deformatsiyasini tekshirish) va fizik (ichki kuchlarning taqsimlanish qonunini bilish) tomonlarini tekshirish kerak.

Fazoviy kuchlar ta'sirida hosil bo'ladigan ichki kuchlar Agarda sterjenga fazoviy tashqi kuchlar sistemasi ta'sir etsa, u holda sterjen kesimida oltita ichki kuchning tashkil etuvchilari (komponentalari) N, Q_x, Q_y, M_x, M_y, M_z hosil bo'ladi. Bu yerdagi N – bo'ylama kuch, Q_x, Q_y – lar ko'ndalang yoki kesuvchi kuchlar, M_z – burovchi moment, M_x, M_y – eguvchi momentlar deyiladi.

Agar tashqi kuchlar ta'sirida sterjen ko'ndalang kesimida faqat bitta ichki kuch paydo bo'lsa, u holda oddiy deformatsiya, agar ikki va undan ortiq (noldan farqli) ichki kuchlar paydo bo'lsa murakkab deformatsiya hosil bo'ladi.

Sterjen kesimida paydo bo'ladigan ichki kuchlar turiga qarab bir nechta oddiy qarshilik ko'rinishlari hosil bo'lishi mumkin, ya'ni N kuchi o'q bo'ylab cho'zilish yoki siqilishni vujudga keltiradi, ko'ndalang kuch Q – siljishni, burovchi moment M_{bur} – buralishni, M_x (yoki M_y) momenti – sof egilish deformatsiyalarini hosil qiladi.

Murakkab qarshilikka misol qilib bir vaqtning o'zida sterjenning ko'ndalang kesimida hosil bo'ladigan bo'ylama kuch (N) va eguvchi moment (M_x yoki M_u) keltirish mumkin. Bu kuchlar bir vaqtning o'zida cho'zilish bilan egilish deformatsiyasini yoki ikkita eguvchi moment M_x bilan M_y qiyshiq egilishni hosil qilishi mumkin.

Murakkab qarshilikda ichki kuchning bitta tashkil etuvchisi boshqalaridan ancha katta bo'lib, konstruksiya elementining mustahkamligiga asosiy ta'sirni shu ko'rsatadigan bo'lsa, u holda qaralayotgan holatni oddiy qarshilik deb qarash mumkin. Bunga balkaning ko'ndalang egilishini misol qilish mumkin, ya'ni bu holda balka ko’ndalang kesimida ikkita ichki kuch - eguvchi moment *M*, ko’ndalang kuch *Q* bir vaqtda hosil bo’ladi. Lekin bu holda balkaning mustahkamligini baholaganda ko’pincha ko’ndalang kuch *Q* e’tiborga olinmasdan, hisob ishlari faqat eguvchi moment orqali bajariladi. Xuddi shunday, vintli prujina kesimlarida bir vaqtning o’zida 4 ta ichki kuch komponentalari M_{eg}, M_{bur}, N, Q paydo bo’ladi, ammo hisob ishlarini bajarganda faqat burovchi moment M_{bur} e’tiborga olinadi, ya’ni masala oddiy qarshilik holatiga keltiriladi.

Sterjen kesimlarida hosil bo’ladigan ichki kuchlarning miqdori kesimning sterjendagi holatiga - ta’sir qilayotgan tashqi kuchlarning *z* o’qi bo’yicha o’zgarishiga bog’liq bo’ladi (qabul qilingan sanoq sistemasida *z* o’qi sterjen bo’ylama o’qi bo’ylab yo’nalgan) ya’ni:

$$N = f_1(z); \quad Q = f_2(z); \quad M_{eg} = f_3(z); \quad M_{bur} = f_4(z).$$

Ushbu funksiyalarning grafiklari ichki kuchlarning z o’qi bo’yicha o’zgarishini ifodalab ichki kuchlarning epyuralari deb ataladi. Umuman olganda, materiallar qarshiligida epyura deb, tekshirilayotgan kattalikning sterjen uzunligi yoki kesim yuzasi bo’ylab o’zgarishini ko’rsatuvchi grafikka aytiladi.

Sterjenning kesimlarida hosil bo’luvchi ichki kuchlarning miqdorini aniqlash uchun qurilish mexanikasining kesish usuli qo’llaniladi. Ichki kuchlar epyurasiga qarab ichki kuchlarning ekstremal qiymatlari sterjenning qaysi kesimlariga to’g’ri kelishini aniqlash mumkin. Ichki kuchlar epyurasini qurish materiallar qarshiligi fanida aksariyat masalalarning asosiy va kerakli bosqichi hisoblanadi. Epyuralarni qurish qoidasi va tartibi keyinchalik keltiriladi.

Ichki kuchlarni aniqlash uchun kesish usulini qo’llash qoidalari

1. Muvozanatda turgan jismni, bizni qiziqtirayotgan nuqta va kesim orqali o’tuvchi tekislik bilan xayolan ikki bo’lakka bo’linadi.

2. Qismlardan biri tashlab yuboriladi. Ajratilgan bo’laklardan biri (masalan, II bo’lak), o’ng tomoni shartli ravishda tashlab yuboriladi I bo’lak olib qolinadi . Bunda qolgan chap I bo’lak muvozanati buziladi.

3. Olib qolingan qism muvozanatini tiklash uchun tashlab yuborilgan o'ng II bo'lakning olib qolingan chap I bo'lakga ta'sirini ichki zo'riqish kuchlari bilan almashtiramiz.

Ularning kattaligi, yo'nalishi va taqsimlanishi qonuni noma'lum. Ammo, ma'lumki, har qanday kuchlar sistemasini bitta bosh vektor va bitta bosh momentga keltirish mumkin. Ular ba'zan ichki kuch omillari deb ham yuritiladi. Ichki qayishqoq kuchlarning jadalligiga *kuchlanish* deb aytiladi.

4. qolgan bo'lak uchun tuzilgan statika tenglamalarining biridan ichki kuchlar topiladi va muvozanat sharti yoziladi.

$$\sum Z = 0,\ \sum X = 0,\ \sum Y = 0,\ \sum M_Z = 0,\ \sum M_X = 0,\ \sum M_Y = 0.$$

Tayanch reaksiya kuchlarini aniqlash

Berilgan tashqi kuchlar ta'sirdagi to'sinni tayanch reaksiya kuchlarini aniqlash talab etiladi. Nazariy mexanika fanidan ma'lumki, umumiy holda tekislikda statikaning muvozanat tenglamalari uch xil variantda ifodalanadi:

birinchi variantda statikaning muvozanat tenglamalari bir-biriga parallel bo'lmagan ikkita ixtiyoriy o'qlarga nisbatan barcha kuchlar proyeksiyalari algebraik yig'indisi va tekislikdagi istalgan 0 nuqtaga nisbatan barcha kuchlardan olingan momentlar algebraik yig'indisi ko'rinishida ifodalanadi:

$$\sum Z = 0, \quad \sum Y = 0, \quad \sum M_0 = 0.$$

ikkinchi variantda statikaning muvozanat tenglamalari ixtiyoriy o'qqa nisbatan barcha kuchlar proyeksiyalari algebraik yig'indisi va tekislikdagi istalgan ikkita nuqtaga nisbatan barcha kuchlardan olingan momentlarning algebraik yig'indisi ko'rinishida ifodalanadi ($0z$ o'q AB to'g'ri chiziqqa perpendikulyar bo'lmasligi lozim):

$$\sum M_A = 0, \quad \sum M_B = 0, \quad \sum Z = 0.$$

uchinchi variantda statikaning muvozanat tenglamalari tekislikda bitta to'g'ri chiziqda yotmagan istalgan uchta nuqtaga nisbatan barcha kuchlardan olingan momentlarning algebraik yig'indisi ko'rinishida ifodalanadi:

$$\sum M_A = 0, \quad \sum M_B = 0, \quad \sum M_D = 0.$$

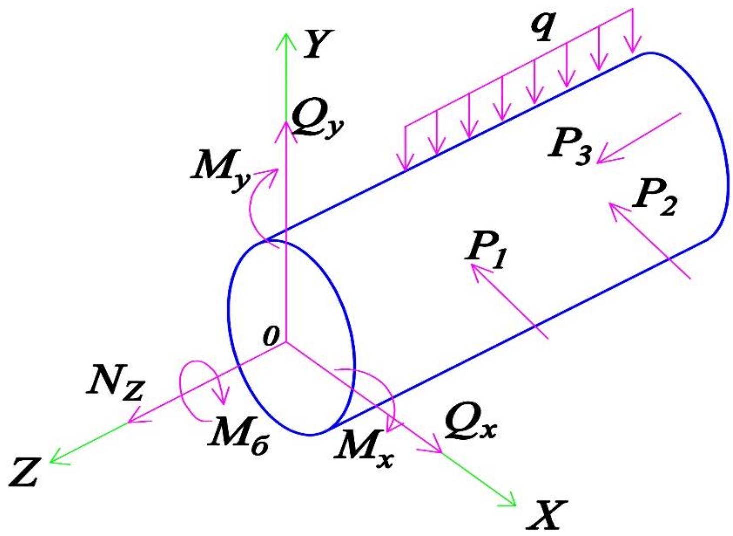
To’sinlarlarda tayanch reaksiyalarini topish soddaroq bo’lgani uchun statikaning muvozanat tenglamalarini shunday tuzish lozimki, tenglamalarning har biridagi no’malumlar soni bittadan ortiq bo’lmasin. Buning uchun ikkinchi variantdan foydalanish maqsadga muvofiqdir, ya’ni to’singa ta’sir etayotgan barcha kuchlardan tayanch nuqtalariga nisbatan olingan moment tenglamalari tuziladi. Bu tenglamalardan R_A va R_B reaksiya kuchlari aniqlangandan keyin, quyidagi tenglamadan reaksiya kuchlarining to’g’ri aniqlanganligi tekshirib ko’riladi:

$$\sum Y = 0.$$

Demak, to’sin muvozanatda bo’lishi uchun unga vertikal ta’sir etayotgan barcha tashqi kuchlarning yig’indisi barcha vertikal reaksiya kuchlarning yig’indisiga teng bo’lishi lozim ekan.

Tekis kesimlar gipotezasiga ko’ra, deformatsiyada sterjenning ko’ndalang kesimlari bir biriga parallel suriladi. Demak, ko’ndalang kesimlarda bir tekis tarqalgan normal kuchlanishlar ta’sir qiladi. Normal kuchlanishlarni aniqlash uchun sterjenning kesib olingan chap qismi muvozanat shartini ko’rib chiqamiz. Kesimdagi ichki zo’riqishlarning teng ta’sir etuvchisi N statika tenglamalaridan topiladi: $N - P = 0$ yoki $N = P$ bunda, $N = \int \sigma dF$.

$N = \sigma F$ ekanligini hisobga olib, sterjenning ko’ndalang kesimlarida cho’zilish va siqilishdagi normal kuchlanishlarni topamiz: $\sigma = \dfrac{N}{F}$



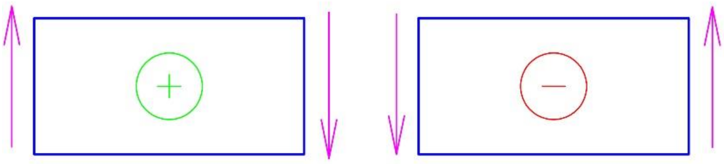
Tashqi kuchlar ta’siridan jism muvozanat holatda bo’lsin. U holda Q_x, Q_y, N – bosh vektorlar. M_x, M_y, M_z – bosh momentlardir.

Jism kesmida 6 ta ichki zo’riqish kuchlari bo’ladi. Q_x, Q_y, N, M_x, M_y, M_z – ichki zo’riqish kuchlari.

Bu yerda N – normal yoki bo’ylama kuch. Ixtiyoriy kesimdagi normal kuch xayolan kesib qoldirilgan qismga qo’yilgan barcha tashqi kuchlarning z o’qiga tushirilgan proyeksiyalarining algebraik yig’indisiga teng. Agar tashqi kuch ta’siridan kesim cho’zilsa, musbat ishorada, siqilsa manfiy ishorada olinadi. $Q_x, Q_y -$ko’ndalang kuchlar yoki kesuvchi kuchlardir.

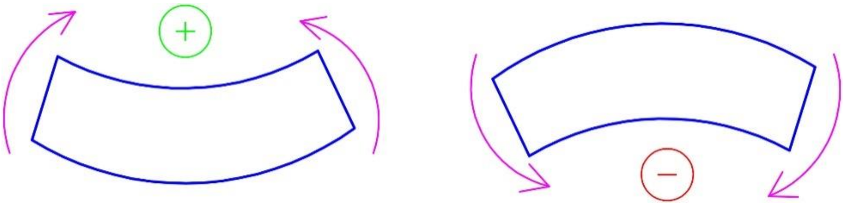
Ixtiyoriy kesimdagi ko’ndalang kuchlar, xayolan kesib, qoldirilgan qismiga qo’yilgan barcha tashqi kuchlarning X va U o’qiga tushirilgan proyeksiyalarining algebraik yig’indisiga teng.

Agar tashqi kuch kesim o’qiga nisbatan soat strelkasi bo’ylab yo’nalsa, musbat ishorada, qarama-qarshi yo’nalsa manfiy ishorada hisoblanadi.



$M_x, M_y -$eguvchi moment. Ixtiyoriy kesimdagi momentlar xayolan kesib qoldirilgan qismga qo’yilgan barcha tashqi kuchlardan X va U o’qlariga nisbatan olingan statik momentlarning algebraik yig’indisiga teng.

Agar tashqi kuch ta’siridan jism botiq egilsa eguvchi moment ishorasi musbat, qavariq, egilsa manfiy olinadi.



M_z - burovchi moment.

Ixtiyoriy kesimdagi burovchi moment, xayolan kesib, qoldirilgan kesimga qo’yilgan, tashqi kuchlardan Z o’qiga nisbatan olingan momentlarning algebraik yig’indisiga teng.

Burochi moment ishorasi, agar kesim tomonidan qaralganda tashqi kuch jismni soat strelkasi bo’ylab aylantirsa musbat, soat strelkasiga qarama-qarshi aylantirsa manfiy olinadi.

Bo'ylama kuch

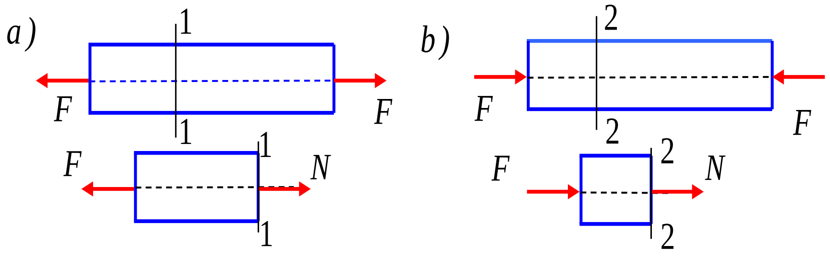
Sterjenning cho'zilish yoki siqilishi uning bo'ylama o'qi bo'yicha ta'sir etayotgan kuchlar ta'sirida sodir bo'ladi. Bunda sterjen kesimlarida oltita ichki kuch omillaridan faqat bitta bo'ylama zo'riqish kuchi hosil bo'ladi. Ko'ndalang egilishda sterjenning kesim yuzasida eguvchi momentdan tashqari kesuvchi kuch ham mavjud bo'ladi. *Kesuvchi kuch* —tekislikda yotuvchi elementar tarqalgan kuchlarning teng tasir etuvchisidir. Shuning uchun ko'ndalang kesimda normal kuchlanishdan tashqari urinma kuchlanish ham hosil bo'ladi. Urinma kuchlanishlarning juftlik xususiyatiga asosan ular bo'ylama kesimlarda ham hosil bo'ladi.

Sterjen ko'ndalang kesimining og'irlik markazlarini tutashtiruvchi to'g'ri chiziq bo'ylab yo'nalgan va uning ko'ndalang kesimga normal bo'lgan bo'ylama kuchni N_z yoki N bilan belgilaymiz.

Demak, bunda ichki kuch faktorlaridan faqat bittasi qoladi, ya'ni

$$N = \int_A \sigma_z dA.$$

Demak, *bo'ylama kuch* deb sterjenning ko'ndalang kesimida hosil bo'lgan normal kuchlanishlarning teng ta'sir etuvchisiga aytiladi. Bo'ylama kuchlarni aniqlash uchun kesish usulidan foydalanamiz. Cho'zuvchi bo'ylama kuchlarni qaralayotgan kesimdan tashqariga, siquvchi bo'ylama kuchlarni kesimga qaratib yo'naltiramiz. Cho'zuvchi bo'ylama kuchni musbat, siquvchi bo'ylama kuchni esa manfiy deb qabul qilamiz. Ko'ndalang kesimdagi bo'ylama kuchni kesimdan tashqariga yo'naltiramiz, agar hisoblar natijalarida bo'ylama kuch manfiy ishora bilan chiqsa, uning yo'nalishini teskari tomonga o'zgartiramiz.



Ba'zi bir murakkab hollarda N_z kuchning yo'nalishi noma'lum bo'lsa, uni kesimdan tashqariga yo'naltirish maqsadga muvofiqdir. Agar hisoblar natijalarida

N_z kuch manfiy ishora bilan chiqsa, uning yo'nalishini teskari tomonga o'zgartirib qo'yishimiz lozim. Murakkab hollarda, ya'ni sterjenga bir nechta kuchlar ta'sir etsa, N_z kuchning sterjen o'qi bo'ylab o'zgarishi bo'yicha to'liq tasavvurga ega bo'lish uchun uning grafigini qurish maqsadga muvofiqdir.

Nazorat savollari

1. Tashqi, aktiv va passiv kuchlar deb nimaga aytiladi?
2. To'plangan va yoyilgan kuchlar deb nimaga aytiladi?
3. Statik va dinamik kuchlar deb nimaga aytiladi?
4. Muvaqqat va hajmiy kuchlar deb nimaga aytiladi?
5. Ichki va ichki zo'riqish kuchlari deb nimaga aytiladi?
6. Fazoviy kuchlar ta'sirida hosil bo'ladigan ichki kuchlar deb nimaga aytiladi?

3 – Mavzu: Kuchlanish va deformatsiya

Reja:

3.1.Kuchlanish

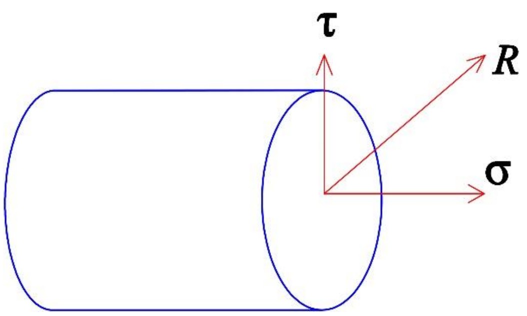
3.2.Ko'chish

3.3.Deformatsiya

Tayanch so'z va iboralar: *Kuchlanish, yuza, ichki zo'riqish kuchlari, chiziqli kuchlanishi, intensivligi, teng ta'sir etuvchisi, normal kuchlanish, urinma kuchlanish, vektor, to'liq kuchlanish, kuch faktorlari (IKF), ko'ndalang va kesim.*

Kuchlanish

Yuza birligiga mos keluvchi ichki zo'riqish kuchlari kuchlanish deyiladi. Kuchlanish kesim yuzasi birligiga to'g'ri kelgan ichki kuchdir.



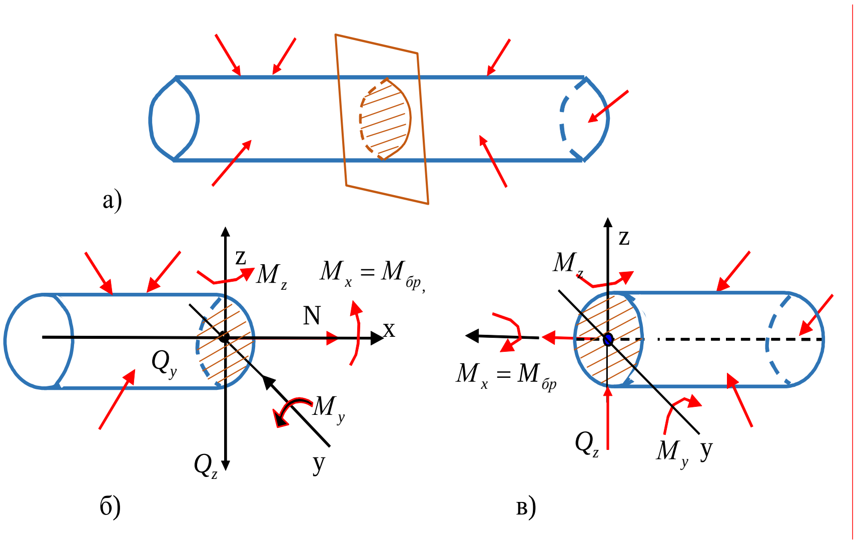
R – vektor

$$P = \frac{\ell im}{\Delta F \to 0} \frac{\Delta R}{\Delta F}$$

σ – kuchlanish

Jismdan ajratilgan ixtiyoriy nuqtaning kuch qo'yguncha va kuch qo'yilgandan keyingi holatlarni birlashtiruvchi vektor shu nuqtaning *chiziqli kuchlanishi* deyiladi.

Ichki kuchlarning jadalligini (intensivligini) baholash uchun kuchlanish tushunchasi kiritiladi. Tekshirilayotgan kesim yuzasining biror M nuqtasi atrofida cheksiz kichik F yuzacha ajratamiz. Bu yuzachadagi ichki kuchlarning teng ta'sir etuvchisi ΔR bo'lsin .



U vaqtda $\dfrac{\Delta R}{\Delta F} = p_{ўр}$ - o'rtacha kuchlanish deyiladi, u

vektor miqdordir. $\lim\limits_{\Delta F \to 0} \dfrac{\Delta R}{\Delta F} = p$ - nuqtadagi haqiqiy kuchlanish deyiladi.

Agar ΔR ni kesim yuzasining normali bo'yicha ΔN va yuza bo'yicha yo'nalgan ΔT tuzuvchiga ajratsak:

$$\lim_{\Delta F \to 0} \frac{\Delta N}{\Delta F} = \sigma \qquad\qquad \lim_{\Delta F \to 0} \frac{\Delta T}{\Delta F} = \tau,$$

bunda, σ va τ mos ravishda normal va urinma kuchlanishlar deyiladi.

Normal va urinma kuchlanishlar to'liq kuchlanishning tashkil etuvchilari bo'lganligi uchun $p = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$. bo'ladi.

Materiallar qarshiligida normal va urinma kuchlanish juda katta ahamiyatga egadir, chunki ularning qiymatlari qurilishning mustahkamligini xarakterlaydi.

σ - normal kuchlanish bo'lib, yuzaga tik yo'naladi.

τ – urinma kuchlanish bo'lib, yuza bo'ylab yo'naladi.

Kuchlanish birligi $1Па = \dfrac{1Н}{м^2}$ o'lchanadi.

To’la kuchlanishni normal va urinma kuchlanishlarga ajratish ma’lum fizik ma’noga ega. Zo’riqqan material zarralari bir - birlaridan uzoqlashish yoki yaqinlashishga intilgan holda normal kuchlanishlar hosil bo’ladi. Urinma kuchlanishlar material zarralarining ko’rilayotgan kesim bo’yicha siljishi bilan bogliqdir. Endi brusning ko’ndalang kesimidagi ichki kuch faktorlari (IKF) bilan kuchlanishlar orasidagi munosabatlarini tuzamiz. Elementar yuzachadagi elementar ichki kuchlar quyidagiga teng:

$$dN = \sigma_z dF; \qquad dQ_x = \tau_{zx} dF; \qquad dQ_y = \tau_{zy} dF.$$

Elementar ichki kuchlarni brusning ko’ndalang kesim yuzi bo’yicha yig’ib, bosh vektorning tuzuvchilari uchun quyidagi ifodalarni hosil qilamiz:

$$N = \int_F \sigma_z dF, \qquad Q_x = \int_F \tau_{zx} dF, \qquad Q_y = \int_F \tau_{zy} dF.$$

Elementar ichki kuchlarning tegishli o’qlarga nisbatan elementar momentlarini topamiz:

$$dM_x = \sigma_z \cdot ydF; \qquad dM_y = \sigma_z \cdot xdF; \qquad dM_z = \tau_{zx} \cdot ydF + \tau_{zy} \cdot xdF.$$

Bundan

$$M_x = \int_F \sigma_z \cdot ydF; \qquad M_y = \int_F \sigma_z \cdot xdF; \qquad M_z = \int_F (\tau_{zx} \cdot y + \tau_{zy} \cdot x) dF.$$

Bu formulalar yordamida IKF ma’lum bo’lganida kuchlanishlarni topish mumkin. Kuchlanish odatda *kgk/sm*^{2}, *kgk/mm*^{2}, *N/mm*^{2}, *kN/sm*^{2}, *Pa, MPa* va x.k.z.larda o’lchanadi.

Kesimda hosil bo’ladigan kuchlanishlar (normal yoki urinma kuchlanishlar) yuzaga ta’sir qilayotgan ichki kuchlarning tashkil etuvchilariga va kesimning bo’ylama o’qqa nisbatan joylashishiga bog’liq. Masalan: bo’ylama kuch N va eguvchi moment M_{eg} ta’sirida sterjen ko’ndalang kesimida faqat normal kuchlanish, ko’ndalang kuch Q va burovchi moment M_{bur} ta’sirida urinma kuchlanish paydo bo’ladi.

Sterjen ko’ndalang kesimidagi kuchlanishlarni aniqlashda masalaning statik, geometrik va fizik tomonlari

Sterjenni ko’ndalang kesimini mos tekislik bilan kesib, uning bir qismining muvozanatini ko’raylik.

Masalaning statik tomoni ma’lum $N = \int_F \sigma dF$ tenglama bilan ifodalanadi. Ammo normal kuchlanish σ ning taqsimlanish qonuni noma’lum.

*Masalaning geometrik tomonini t*o’gri sterjen sirtiga uning o’qiga parallel va tik yo’nalgan to’gri chiziqlar yordamida to’r chizamiz. Endi sterjenni statik kuch ta’sirida markaziy cho’zsak, cho’zilgan sterjen sirtidagi bo’ylama va ko’ndalang chiziqlar bir - birlariga tikligicha qolganini va faqat ularning oraliqlari o’zgarganini ko’ramiz. Sterjenning bunday deformatsiyalanishi tekis kesimlar gipotezasining to’griligini isbotlaydi: sterjenning deformatsiyasigacha tekis va sterjen o’qiga tik bo’lgan kesimlari deformatsiyadan keyin ham tekis va sterjen o’qiga tikligicha qoladi (Ya. Bernulli gipotezasi). Demak, sterjenni tashkil qiluvchi barcha tolalar bir xil qiymatga cho’ziladi, ya’ni $\varepsilon = \Delta l / l = const$

Masalaning fizik tomoni Guk qonuni $\sigma = \varepsilon E$ bilan ifodalanadi. Bu erda *E* - proportsionallik koeffitsienti bo’lib, birinchi darajali elastiklik moduli yoki Yung moduli deb yuritiladi. U materialning elastiklik xossalarini ifodalaydigan fizik doimiylardan biri bo’lib, kuchlanish birliklarida o’lchanadi. Umuman *E* materiallarning deformatsiyalarga qarshilik ko’rsatish qobiliyatini, ya’ni materialning qattiqligini ifodalaydi. Uning kattaliklari spravochniklarda turli materiallar uchun turlisha berilgan. Endi yuqoridagi formulalar asosida

$$\sigma = \varepsilon E = const, \quad N = \int_F \varepsilon E dF = \varepsilon E \int_F dF = \varepsilon E \cdot F = \sigma F, \quad \sigma = \frac{N}{F}.$$

Kastilyano teoremasi

Elastik jismlarda potentsial energiyasidan tashqi qo’yilgan kuch bo’yicha xususiy hosilasi jism qo’yilgan nuqtasining kuch yo’nalishidagi umumiy kuchlanishga teng.

Kastilyano teoremasida kuch qo’yilgan nuqtaning faqat shu kuch yo’nalishdagi kuchlanish aniqlanadi.Kastilyano teoremasi ko’chishlarni aniqlashda boshqa usullar uchun asos bo’lib faqat tarixiy ahamiyatga ega. Hozirgi zamonaviy konstruktsiyalar hisobida bu usul qo’llaniladi.

Barcha kuchlanishlar to’plami deformatsiyasi *burchakli ko’chish* deyiladi..

Deformatsiya

Jismning yoki uning biror qismining chiziqli o'lchamining o'zgarishi – *chiziqli deformatsiya,* burchak o'lchamining o'zgarishi - *burchak deformatsiyasi* deb yuritiladi. Agar deformatsiya jism hajmi bo'yicha sodir bo'lsa, jismning ma'lum yo'nalishda mazkur nuqtasidagi deformatsiyasi to'grisida gap boradi.

Deformatsiyalar elastik va plastik deformatsiyalarga bo'linadi. Jism tashqi kuch ta'siridan o'z o'lchamlari va hajmini o'zgartirib kuch olingandan so'ng avvalgi holatiga qaytsa bunda elastik deformatsiyalanish ro'y beradi.

Deformatsiyadan so'ng o'lchamlari va hajmini qayta tiklamasa plastik deformatsiyalanish hosil bo'ladi.

Materiallar qarshiligi fanidan barcha konstruksiya elementlarining materiali uchun hisob elastiklik chegarasida olinadi. Deformatsiyalarni cho'zilish va siqilish, buralish, ko'rinishida o'rganamiz.

Nazorat savollari

1.Kuchlanish deb nimaga aytiladi?

2.Chiziqli va ichki kuchlar deb nimaga aytiladi?

3.O'rtacha kuchlanish va nuqtadagi haqiqiy kuchlanish deb nimaga aytiladi?

4.Normal, urinma va to'liq kuchlanishlar deb nimaga aytiladi?

5. Kastilyano teoremasini tushuntiring?

6. Ko'chish va deformatsiya deb nimaga aytiladi?

4– Mavzu: Cho'zilish va siqilish deformatsiyasi

Reja:

1.Cho'zilish va siqilish

2.Normal kuch

3.Normal kuchlanish

4.Bo'ylama va ko'ndalang deformatsiya

5.Puasson koeffitsiyenti

6.Guk qonuni, Elastiklik moduli

7.Solishtirma potenstial energiya

Tayanch so'z va iboralar: *Cho'zilish, siqilish, deformatsiya, sterjen, normal kuch, proyeksiya, cho'zilish, bo'ylama kuch, buralish, siqilish, absolyut, nisbiy, ko'ndalang deformatsiya, Puasson koeffitsiyenti va proportsional.*

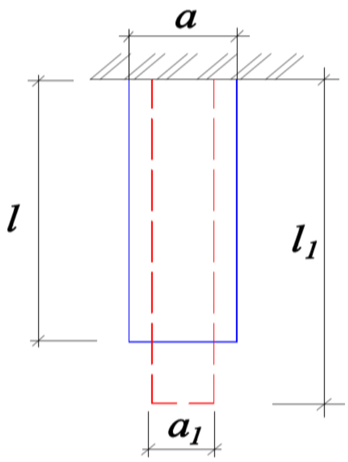
Cho'zilish va siqilish deformatsiyasi

Deformatsiya natijasida sterjen kesimlarida faqat normal kuch hosil bo'lsa, cho'zilish yoki siqilish deformatsiyasi paydo bo'ladi. Cho'zilish yoki siqilish sterjenlarga qo'yilgan bo'ylama tashqi kuchlar ta'siridan hosil bo'ladi.

Sterjen kesimlarida hosil bo'lgan *normal kuch* barcha tashqi kuchlarning bo'ylanma z o'qiga proektsiyalarining algebraik yig'indisiga teng. Tashqi kuch ta'siridan sterjen o'qi cho'zilsa bo'ylama kuch ishorasi musbat, siqilsa manfiy olinadi.

Cho'zilish va siqilishda sterjen kesimlarida hosil bo'lgan normal kuchning kesim yuzasiga nisbati *normal kuchlanishni* beradi. $\sigma = N / F$ Normal kuchlanish birligi (Pa).

Ichki kuch omillarining har bir alohida turi deformatsiyaning alohida turi bilan bog'liq. Masalan, brus ko'ndalang kesimlarida faqat normal kuch N hosil bo'lib, qolganlari nolga teng bo'lsa, brus *cho'zilish yoki siqilish deformatsiyasi* ta'sirida bo'ladi. Brus ko'ndalang kesimlarida faqat ko'ndalang kuch (Q_X yoki Q_Y) ta'sir etsa-siljish, faqat burovchi moment M_Z ta'sir etsa *buralish deformatsiyasi* sodir bo'ladi. Brus ko'ndalang kesimlarida bosh moment tuzuvchilaridan faqat M_x yoki M_y ta'sir etsa, u *sof egilish deformatsiyasi* ostida bo'ladi. Bir vaqtda ko'ndalang kesimda bir necha zo'riqish kuchlari ta'sir etsa brus *murakkab deformatsiya* vaziyatida bo'ladi.



$\Delta l = l_n - l$ sterjenning absolyut bo'ylama uzunligi

l_1 – sterjenning deformatsiyadan keyingi uzunligi.

l – sterjenning deformatsiyadan oldingi uzunligi.

$\Delta l = l_n - l$ sterjenning absolyut bo'ylama uzunligi

l_1 – sterjenning deformatsiyadan keyingi uzunligi.

l – sterjenning deformatsiyadan oldingi uzunligi.

$\varepsilon_\sigma = \Delta l / l -$ nisbiy bo'ylama deformatsiya

$\Delta a = a_1 - a$ absolyut ko'ndalang deformatsiya.

a – sterjenning ko'ndalang o'lchami.

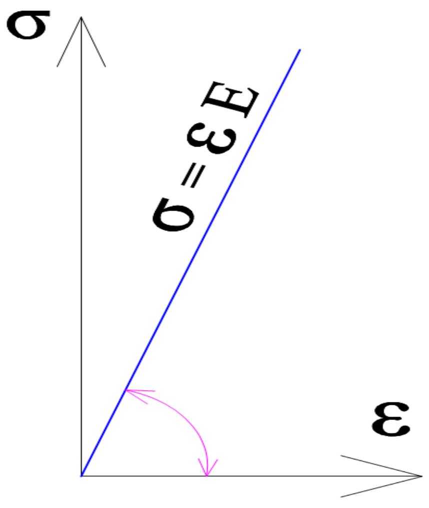
a_1 – sterjenning deformatsiyadan keyingi ko'ndalang o'lchami $\varepsilon_{\kappa} = \Delta a / a -$ nisbiy ko'ndalang deformatsiya. Nisbiy ko'ndalang deformatsiyaning nisbiy bo'ylama deformatsiyaga nisbati Puasson koeffitsiyenti deyiladi.

$\mu = \varepsilon_{\kappa} / \varepsilon_{\sigma} -$ Puasson formulasi, Puasson koeffitsiyenti $\mu(0 \div 0.5)$

Guk qonuni normal kuchlanish nisbiy bo'ylama deformatsiyaga to'g'ri proportsional $\sigma = \varepsilon \cdot \mathrm{E} -$ formulasi, E – proportsionallik koeffitsiyenti bo'lib, 1-tartibli Yung moduli yoki elastiklik modulidir.

Sterjenning butun uzunligi bo'yicha taqsimlangan elementar uzunliklar nisbiy deformatsiyalarining yigindisi sterjenning absolyut (mutlaq) deformatsiyasini tashkil etadi:

$\Delta l = \int\limits_l \varepsilon dz = \int\limits_l \frac{Ndz}{EF} = \frac{Nl}{EF}, \quad \Delta l = \frac{Nl}{EF} -$ formula absolyut deformatsiya uchun Guk qonunini ifodalaydi.



Maxrajdagi *EF* ko'paytma sterjen ko'ndalang kesimining cho'zilish - siqilishdagi bikrligi deb yuritilib, kuch o'lchoviga ega. Unga ko'ra absolyut cho'zilish yoki siqilish bo'ylama kuchga, sterjen uzunligiga to'gri proportsional (mutanosib) va sterjen bikrligiga teskari proportsional. Yuqoridagi ma'lum bog'lanish Guk qonuni deb atalib, unga asosan normal kuchlanish nisbiy deformatsiyaga to'gri proportsional. $\frac{N}{F} = \frac{\Delta l}{l} E$, bundan $\Delta l = \frac{Nl}{EF}$.

Bog’lanish koordinata o’qlar sistemasida og’ma to’gri chiziq bilan ko’rsatilishi mumkin.To’gri chiziq bilan absissa o’qi orasidagi burchakning tangensial elastiklik moduli *E* ning miqdorini ko’rsatadi: $E = tg\,\alpha$.

Bu tenglik elastiklik moduli *E* ning geometrik mohiyatini anglatsa, uning fizik mohiyati materiallarning elastiklik xossalarini ifodalashidadir. Absolyut deformatsiya uchun Guk qonunini ifodasini boshqacha usulda ham topish mumkin. Guk qonunidan foydalanib, cho’zuvchi kuch, sterjenning ko’ndalang kesim o’lchamlari va absolyut deformatsiyalari orasidagi bog’lanishni topamiz:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\ell}{\ell},\ \sigma = \varepsilon E,\ \ \sigma = \frac{N}{F},\ \frac{N}{F} = \varepsilon E,\ \frac{N}{F} = \frac{\Delta\ell}{\ell}E,\ \Delta\ell = \frac{N\ell}{EF}.$$

Cho’zilish va siqilishda solishtirma potenstial energiya. Jismlarga tashqi kuch ta’sir etganda ko’chish natijasida kesimlarda ish bajariladi. Ishlar yig’indisi solishtirma potensial energiyaga teng. Cho’zilish va siqilishda normal kuch ta’sirida quyidagicha potensial energiya hosil bo’ladi.

$u = \dfrac{\mathrm{N}^2 \cdot \ell}{2E \cdot F}$ N – normal kuch. ℓ – sterjen uzunligi.

EF – cho’zilish va siqishdagi bikrlik. Solishtirma potensial energiya birligi $\dfrac{H \cdot M}{M^3}$ da o’lchanadi.

Nazorat savollari

1.Cho’zilish va siqilish deformatsiyasi deb nimaga aytiladi?

2.Normal kuch va normal kuchlanish deb nimaga aytiladi?

3. Buralish, sof egilish va murakkab deformatsiya deb nimaga aytiladi?

4. Nisbiy bo’ylama, nisbiy ko’ndalang va absolyut ko’ndalang deformatsiya deb nimaga aytiladi?

5.Puasson koeffitsiyenti va Guk qonuni ifodalang?

6. Absolyut deformatsiya uchun Guk qonunini ifodalang?

7. Nisbiy bo’ylama deformatsiya uchun Guk qonunini ifodalang?

8. Cho’zilish va siqilishda solishtirma potensial energiya nima?

5- Mavzu: Materiallarning mexanik xossalarini tajribalar yordamida o'rganish

Reja:

1. Mexanik xossalar va plastik materiallarning haqiqiy cho'zilish diagrammasi
2. Elastiklik zonasi, oqish zonasi, mustahkamlanish zonasi va mahalliy o'qish zonasi
3. Proportsionallik chegarasi, oquvchanlik chegarasi va mustahkamlik chegarasi
4. Vaqtincha qarshilik, nisbiy qoldiqli uzayish va nisbiy qoldiqli torayish

Tayanch so'z va iboralar: *Konstruksiya, mexanik, cho'zilish, plastik, qoldiq, deformatsiya, po'lat, mis, alyuminiy, haqiqiy, diagramma, proportsional, absolyut, deformatsiya, mustahkamlik zonasi, mahalliy oqish zonasi, kuchlanish, deformatsiya, sterjen, diagramma, oquvchanlik va chegarasi .*

Konstruksiya elementlari uchun materiallar tajriba sinovlari asosida mexanik xossalarini o'rganib tanlanadi. O'tkazilayotgan tajribalarda materiallardan yasalgan namunalarni yemirilguncha bo'lgan xossalari mexanik xossalari deyiladi.

Cho'zilishga ishlovchi konstruksiyalar asosan plastik materiallardan tayyorlanadi.

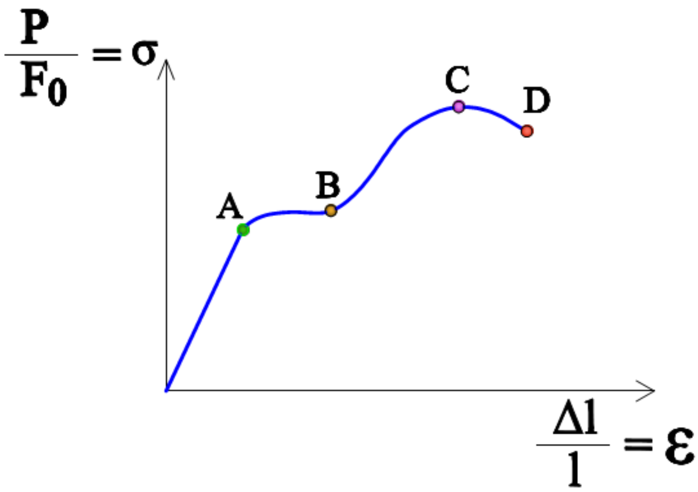
Plastik materiallar siqilishga nisbatan cho'zilishga bardoshligi katta bo'lganligi uchun cho'zilishga ishlaydigan qismlarda ishlatiladi. Plastik materiallarga po'lat, mis, alyuminiy va shunga o'xshash materiallar kiradi.

Plastiklikning xususiyati qoldiq deformatsiya hosil bo'lishidadir. Plastik materiallarni mexanik xossalarini o'rganish uchun uning GOST standarti tomonidan tayyorlangan namunalarni maxsus mashinalarda sinaymiz.

Cho'zilishning haqiqiy diagrammasi

Namunani maxsus mashinaga qo'yib cho'zuvchi kuch va absolyut uzayish orasidagi bog'lanish cho'zilishining haqiqiy diagrammasi deyiladi. Bu yerda:

1. OA – elastiklik zonasi.A nuqta Proportsionalik chegarasi. Bu kuchlanishga qadar kuchlanish deformatsiyaga to’g’ri proportsional ravishda ortib boradi. Bu chegarada, Guk qonunini tadbiq etish mumkin $\sigma = \varepsilon \cdot E$;



2. AB – oqish zonasi. Bu zonada qoldiq deformatsiya hosil bo’ladi. Kuch o’zgarmas bo’lib, absolyut uzayish ortadi, yani $\sigma_{ок} = \frac{P_б}{F_o}$ – kuch ortmasa ham deformatsiya o’sishi davom etadi;

3. BC – mustahkamlik zonasi. Bu zonada $\sigma_{мус} = P_c / F_o$ namuna bardosh bera oladigan eng katta shartli kuchlanish hosil bo’ladi;

4. CD – mahalliy oqish zonasi bo’lib, D – Vaqtincha qarshilik uzilish nuqtasi bo’yicha hosil bo’la boshlab, kuch kamayib uzayish ortib, kuchlanish eng katta qiymatga erishadi $\sigma_б = P_б / F_o$;

5. Materiallar qarshiligi fani bo’yicha yemirilish sababli kesimlarda kuchlanishlar eng katta qiymatga erishadi. Kuchning o’zgarmas kesim yuzaga nisbati normal kuchlanish va absolyut deformatsiyaning sterjen uzunligiga nisbati nisbiy deformatsiya orasidagi bog’lanish, shartli diagramma deyiladi;

6. Nisbiy qoldiqli uzayish:

$$\delta = \frac{\ell_k - \ell_0}{\ell_0} \bullet 100\%$$

ℓ_k - sterjen deformatsiyadan keyingi uzunligi.

ℓ_0 - sterjen uzunligi.

7. Nisbiy qoldiqli torayish:

$$\Psi = \frac{F_0 - F_b}{F_0} \bullet 100\%$$

F_0 - namunaning boshlang'ich kesim yuzasi.

P_b - bo'yinchaning kesim yuzasi.

Nazorat savollari

1. Cho'zilishning haqiqiy diagrammasini ayting?

2. Nisbiy qoldiqli uzayish deb nimaga aytiladi?

3. Nisbiy qoldiqli torayish deb nimaga aytiladi?

4. Oquvchanlik chegarasi va mustahkamlik chegarasi deb nimaga aytiladi?

5. Oqish va mahalliy oqish zonasi deb nimaga aytiladi?

6-Mavzu: Xususiy og'irlikni hisobga olish va mustahkamlikka hisoblash

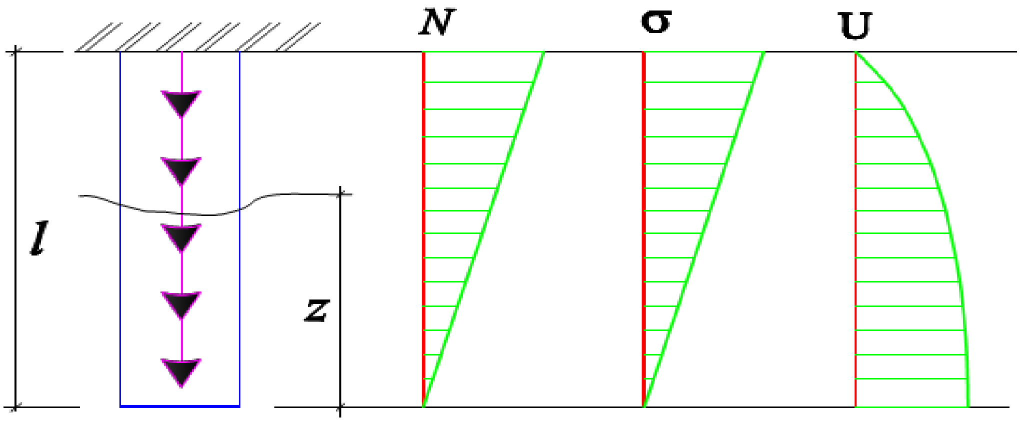
Reja:

1. Xususiy og'irlikni hisobga olish
2. Normal kuch, normal kuchlanish va ko'chishlar epyuralarini qurish
3. Plastik materiallar uchun mustahkamlik sharti
4. Mo'rt materiallar uchun mustahkamlik sharti

Tayanch so'z va iboralar: *Xususiy, mo'rt, plastik, mustahkamlik, normal, og'irlik, epyura, silindrik, tayanch va sterjen.*

Ba'zi konstruktsiya elementlari qurilish inshooti elementlari cho'zilish va siqilishga ishlayotganda xususiy og'irlikni hisobga olish kerak bo'ladi. Masalan: Ko'tarma kran trostlari, betondan yasalgan devorlar, beton ko'priklar. Uzunligi l kesim yuzasi F, materiali uchun xususiy og'irlikni j bo'lgan silindrik tayanch osilgan. Bu sterjen uchun normal kuch, kuchlanish va ko'chish epyuralarini ko'ramiz.

Ixtiyoriy kesimida normal kuch xususiy og'irlik koeffitsiyenti kesim yuzasi va uzunligi ko'paytmasiga teng: $N = \gamma \cdot F \cdot Z$ Bu kesimda normal kuchlanish normal kuchining kesish yuzasiga nisbati bilan o'lchanadi.

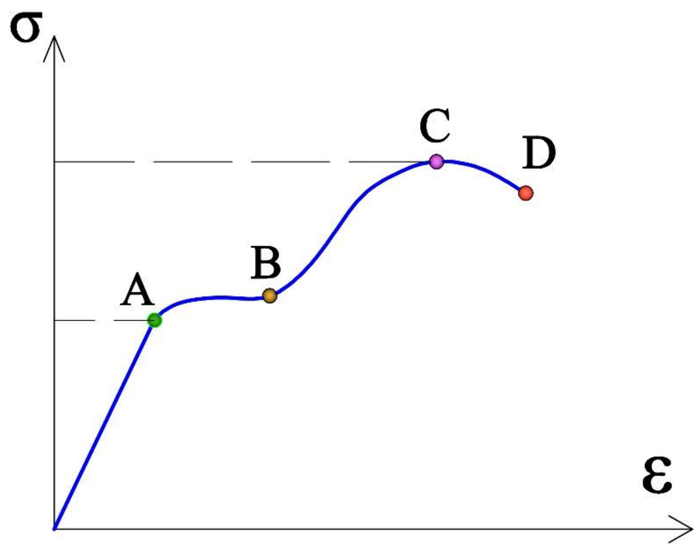


Ya'ni: $\sigma = \frac{N}{F} = \gamma \cdot Z$ kesim ko'chishlari Guk qonuniga asosan topiladi, ya'ni:

$$U = \int_z^{\ell} \frac{N \cdot d}{EF} = \frac{\gamma}{2F}\left(l^2 - z^2\right)$$

Barcha funksiyalarning sterjen o'qi bo'ylab o'zgarish grafigini ya'ni epyurasini quramiz. Xususiy og'irlik koeffitsiyenti γ-materialiga qarab jadvallardan oladi.

Mustahkamlikni hisoblash konstruksiya elementi kesmalarida hosil bo'ladigan eng katta kuchlanishlar ruxsat etilgan kuchlanishlardan ortmasligi shart. Cho'zilish va siqilish deformatsiyasida sterjen kesimlarida faqat normal kuchlanish hosil bo'ladi. $\sigma_{\max} \le [\sigma]$ ruxsat etilgan kuchlanish.



$$[\sigma] = \frac{\sigma_{o\kappa}}{n}$$

n – mustahkamlik uchun ehtiyotlik koeffitsiyenti. Bu koeffitsiyent konstruksiyasiga qarab belgilanadi.

σ - oquvchanlik chegarasidagi kuchlanish.

Plastik materiallar siqilishga nisbatan cho’zilishga bardoshi ancha katta bo’lib cho’zilishga ishlaydigan konstruksiyalarda ishlatiladi. Plastik materiallar yemirilganda qoldiq deformatsiya hosil bo’ladi. Plastik materiallarga po’lat, mis, alyuminiy misol bo’la oladi. Plastik materiallarida ruxsat etilgan kuchlanish oquvchanlik chegarasida olinadi.

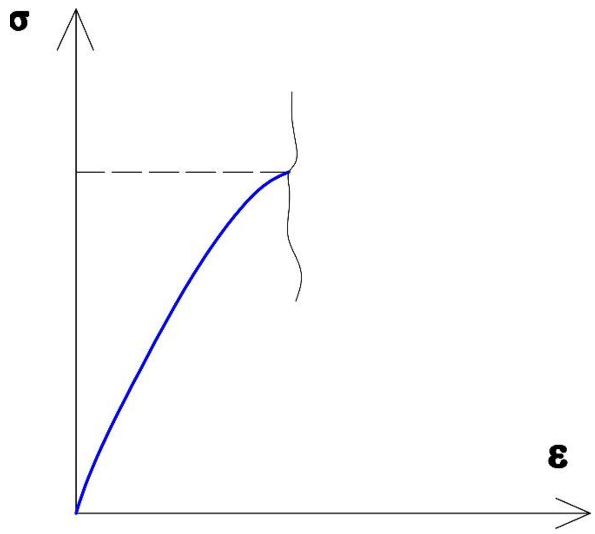
Mo’rt materiallarga cho’yan, shisha, plastmassa, beton va shunga o’xshash materiallar kiradi. Mo’rt materiallar yemirilganda qoldiq deformatsiya hosil bo’lmaydi. Mo’rt materiallar cho’zilishga nisbatan siqilishga bardosh ancha katta bo’lgaligi uchun siqilishga ishlaydigan konstruksiyalarda ishlatiladi.

Mo’rt materiallar uchun mustahkamlik shartlari quyidagicha:

$\sigma_{\max ч} \le \sigma_{\tau}$ - cho’zilish tolalari

$\sigma_{\max s} \le [\sigma_c]$ – siqilish tolalari.

Mo’rt materiallarda ruxsat etilgan kuchlanish mustahkamlik chegarasida olinadi.



$$[\sigma] = \frac{\sigma_e}{n}$$

σ_e – vaqtincha qarshilik nuqtasidagi kuchlanish

Cho’zilish va siqilish uchun mustahkamlik shartlarini qo’llash sxemasi.

1. Berilgan konstruksiya elementi materiali va qo’yilgan yuk ma’lum bo’lsa kesim o’lchamlarini aniqlaymiz.

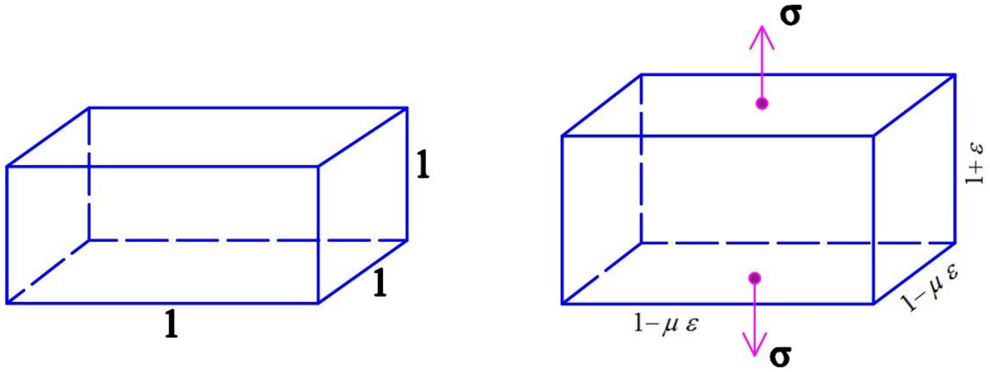
$$\sigma_{\max} = \frac{N}{F} \le [\sigma] \qquad F \ge N / [\sigma]$$

2. Berilgan sterjen materiali va kesim o’lchamlari berilgan bo’lsa sterjenga qo’yiladigan yukni aniqlaymiz.

$$N \le F \cdot [\sigma]$$

3.Sterjenga qo’yilgan yuk, sterjen kesim o’lchamlari ma’lum bo’lsa sterjen uchun material tanlaymiz. $[\sigma] = N / F$

Cho’zilish - siqilishda jism hajmining qanday o’zgarishini ko’ramiz. Buning uchun sterjendan deformatsiyagacha holatidan ikkita ko’ndalang va to’rtta bo’ylama tekisliklar yordamida tomonlari 1 (birlik) bo’lgan elementar kub ajratamiz (a). Deformatsiya natijasida elementar kub o’lchamlari o’zgaradi (b) Deformatsiyagacha hajm: $V_0=1\cdot 1\cdot 1=1$



a) b)

Deformatsiyadan keyingi hajm:

$V = (1+\varepsilon)(1-\mu\varepsilon)^2 = (1+\varepsilon)(1-2\mu\varepsilon+\mu^2\varepsilon^2) = (1-2\mu\varepsilon+\varepsilon-2\mu\varepsilon^2) = 1+\varepsilon(1-2\mu)$. Bu erda $\mu^2\varepsilon^2$ va $2\mu\varepsilon^2$ qiymatlar ikkinchi tartibli kichik miqdorlar sifatida e’tiborga olinmadi. Deformatsiya natijasida hajmning nisbiy o’zgarishi

$$\theta = (V-V_0)/V_0 = (1+\varepsilon(1-2\mu)-1)/1 = \varepsilon(1-2\mu).\ \ 0 \le \mu \le 0.5$$

bo’lganidan cho’zilish deformatsiyasi natijasida hajm kattalashadi va aksincha.

Agar qalinligi $\delta = 1,0\cdot 10^{-2}$ ì , mustahkamlik koeffitsiyenti n=3, mustahkamlik chegarasi $\sigma = 42\cdot 10^7\ H/ì^2$ bo’lsa, $P = 112\cdot 10^3 H$ kuch bilan cho’zilayotgan po’lat polosaning eni b topilsin.

Echish: Avvalo ruxsat etilgan kuchlanish $[\sigma]$ ni topamiz:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_b}{n} = \frac{42\cdot 10^7}{3} = 14\cdot 10^7\ H/ì^2$$

Polosaning ko’ndalang kesim yuzasini yuqoridagi formuladan foydalanib aniqlaymiz:

$$F \geq \frac{P}{[\sigma]} = \frac{112 \cdot 10^{3}}{14 \cdot 10^{7}} = 8 \cdot 10^{-4}\ м^{2}$$

Ikkinchi tomondan $F = b \cdot \delta$ bo’lgani uchun $b = \dfrac{F}{\delta} = \dfrac{8 \cdot 10^{-4}}{1 \bullet 10^{-2}} = 8 \cdot 10^{-2}\ м$ bo’ladi.

Nazorat savollari

1. Plastik materiallarida ruxsat etilgan kuchlanish nima?
2. Cho’zilish va siqilishda jism hajmining o’zgarishi qanday?
3. Cho’zilish va siqilish uchun mustahkamlik shartlarini yozing?
4. Qanday materiallar mo’rt materiallar deyiladi?
5. Deformatsiya natijasida kub o’lchamlarining o’zgarishini yozing?

7-Mavzu: Epyuralarni qurish

Reja:

1. Ichki kuchlar epyuralarini qurish
2. Cho’zilish va siqilishda ichki kuchlar epyuralarini qurish
3. Buralishda ichki kuchlar epyurasini qurish
4. Egilishda ichki kuchlar epyuralarini qurish

Tayanch so’z va iboralar: *Sterjen, ichki kuchlar, ko’ndalang, bo’ylama, epyura, cho’zilish, siqilish, buralish, egilish, tayanch reaksiyalari, uchastkalarga ajratish va muvozanat.*

Ichki kuchlar epyuralarini qurish

Sterjen ko’ndalang kesimda o’qi bo’ylab hosil bo’lgan bo’ylama kuchning o’zgarish qonunini ko’rsatuvchi grafik *bo’ylama kuch epyurasi* deb ataladi.Umumiy holda ichki kuchlar epyurasi deb sterjen o’qi bo’ylab ichki kuchlar o’zgarishini ifodalovchi grafikka aytiladi. Kesish usuliga asoslangan holda epyuralarni qurish quyidagicha bo’ladi:

1. Tayanch reaksiyalari aniqlanadi. Buning uchun hisob sxemasida tashqi kuchlar va tayanch reaksiya kuchlari ko’rsatilib, butun sistema uchun statikaning muvozanat tenglamalari tuziladi va ulardan noma’lum tayanch reaksiyalari topiladi.

2. Sterjen o'qi uchastkalarga ajratiladi. Ikkita xarakterli nuqta orasidagi masofaga uchastka deyiladi. Xarakterli (nuqta) sifatida kuch va momentlarning qo'yilish nuqtalari, yoyilgan kuchlarning boshi va oxiri, kuch intensivligining o'zgarish nuqtalari va sterjen o'qlarining burchaklarini o'zgarish joylari olinadi.

3. Har bir uchastkadan kesim o'tkazib, uchastka 2 ta qismga ajratiladi va ulardan biri tashlab yuboriladi. Sterjenning qoldirilgan qismi boshiga $y_n - z_n$ sanoq sistemasi o'tkaziladi (bu erda n − uchastka tartib raqami, z_n − sterjenning bo'ylama o'qi bilan mos keluvchi o'q). Mos ravishda o'tkazilgan kesim uchastka boshidan z_n masofada yotadi.

4. Sterjenning qoldirilgan qismi uchun muvozanat tenglamalaridan foydalanib, kesimdagi ichki kuchlar kattaliklarining ordinatasi z_n ning funksiyasi sifatida topiladi, ya'ni

$$M^{eg}_n = f_1(z_n); \; N_n = f_2(z_n); \quad M_n^{бур} = f_3(z_n); \; Q_n = f_4(z_n)$$

5. Sterjenning o'qi bo'ylab yuqoridagi funksiyalarning grafiklari chiziladi, bu grafiklar esa ichki kuchlarning epyurasi hisoblanadi. Epyuraning har bir ordinatasi (ichki kuchning kattaligi) shu ordinataga mos keluvchi sterjen ko'ndalang kesimidagi ichki kuchning miqdorini ko'rsatadi.

6. Qurilgan epyuralarning to'g'riligini tekshirib, ichki kuchlarning eng katta va eng kichik qiymatlarga to'g'ri keladigan sterjenning kesimlari aniqlanadi.

Shular asosida quyidagi xulosani aytish mumkin: uchastka deb sterjenning shunday qismiga aytiladiki, unda $M^{eg} = f_1(z)$, $M^{бур} = f_2(z)$, $N = f_3(z)$, $Q = f_4(z)$ funksiyalar uzluksiz va differensiallanuvchi bo'lishi kerak.

Cho'zilish va siqilishda ichki kuchlar epyuralarini qurish

Agar tashqi kuchlar ta'sirida sterjen ko'ndalang kesimida faqat bo'ylama ichki kuch N hosil bo'lsa, bu holda cho'zilish yoki siqilish deformatsiyasi paydo bo'lib, bu holat markaziy cho'zilish yoki siqilish deyiladi. Cho'zilish va siqilishda faqat N kuchining epyurasi quriladi.

Shartli ravishda cho'zilishga doir barcha kattaliklarni (+), siqilishga doir kattaliklarni esa (−) ishora bilan qabul qilamiz.

Buralishda ichki kuchlar epyurasini qurish

Agar tashqi kuchlar ta’sirida sterjen ko’ndalang kesim yuzasida ichki kuchlarning faqat bitta komponenti burovchi moment, ya’ni $M_z = M_{bur}$ hosil bo’lsa, u holda buralish deformatsiyasi sodir bo’ladi va bu hol sof buralish deyiladi. Buralishga ishlayotgan sterjenlar odatda vallar deyilib, ularning hisob sxemasini ikki asosiy tipga bo’lish mumkin – burovchi momentlar qo’yilgan konsol vallar va podshipnikli tayanchlarda turuvchi vallar.

Buralish hodisasi faqat tekis konstruksiyalarda emas fazoviy konstruksiya elementlarida ham hosil bo’ladi.

Buralishda ham ichki kuch (ya’ni val kesimlarida hosil bo’ladigan burovchi moment - M_{bur}) epyurasini qurish asosiy ishlardan biri hisoblanadi. Buralishda epyuralarni qurishning o’ziga xos tomoni shundaki, burovchi momentning (+) yoki

(−) ishora bilan olish formal ahamiyatga ega bo’lib, biror fizik asosga ega emas, shu sababli ularni ixtiyoriy olish mumkin. Burovchi moment epyurasini qurishda z_n o’qini doimo bir tomonga yo’naltirish zarur.

Egilishda ichki kuchlar epyuralarini qurishning umumiy qoidalari

Agar sterjen ko’ndalang kesimlarida tashqi kuchlar ta’siridan faqat ichki kuchlarning eguvchi momentlari M_x yoki M_y hosil bo’lsa, egilish deformatsiyasi vujudga keladi. Bu egilish x yoki y markaziy o’qlariga nisbatan sof egilish deyiladi.

Agar sterjen ko’ndalang kesimlarida eguvchi moment (M_x yoki M_y) bilan birga Q ko’ndalang kuch ham paydo bo’lsa, bu holda ko’ndalang egilish sodir bo’ladi.

Egilishga ishlayotgan sterjenlar odatda balkalar deb ataladi.

Sof egilish amalda kam uchraganligi sababli, egiluvchi elementlar uchun M_x va Q ichki kuchlarning epyuralarini qurish kerak bo’ladi.

Siniq yoki egri chiziqli balkalar uchun M_{eg} *(eguvchi moment), Q (ko’ndalang kuch), N (bo’ylama kuch)* dan iborat 3 ta fazodagi balkalar uchun esa M_{xeg}, M_{yeg}, Q, N dan iborat 4 ta ichki kuchlar epyurasini qurish lozim.

Balka egilishida hosil bo’ladigan deformatsiyalar xarakterini aniq tasavvur qilish uchun yumshoq elastik materialdan yasalgan balkaning yon yog’iga o’zaro tik to’g’ri chiziqlardan to’r yasaymiz va bu balkaning uchlariga eguvchi momentni qo’yib, uning deformatsiyasini tekshiramiz.

Agar bo’ylama chiziqlarni balkaning tolalari deb qarasak u holda, deformatsiyalanish natijasida balkaning yuqori tolalari cho’ziladi, pastki tolalar esa siqiladi. Tashqi eguvchi moment *M* yo’nalishining o’zgarishi bilan tolalarning deformatsiyalari ham o’zgaradi, ya’ni yuqoridagi tolalar siqiladi, pastdagi tolalar esa cho’ziladi.

Balka ko’ndalang kesimlarida bir vaqtning o’zida ham cho’zilish, ham siqilishning paydo bo’lishi egilishga xos xususiyatdir.

Eguvchi moment epyurasini balkaning cho’zilgan sohasidan boshlab qurishni kelishib olamiz. Ammo ba’zi mualliflar (A.V.Darkov, V.I.Feodosev) epyura qurishni siqilgan sohadan boshlab qurishni tavsiya etishadi.

Eslatib o’tamiz:

ixtiyoriy kesimdagi eguvchi moment M, balkaning qoldirilgan qismiga ta’sir etuvchi barcha kuchlardan ko’ndalang kesim markaziga nisbatan olingan momentlarining algebraik yig’indisiga teng;

ixtiyoriy kesimdagi ko’ndalang kuch Q, balkaning qoldirilgan qismiga ta’sir qilayotgan barcha tashqi kuchlardan balka ko’ndalang o’qiga nisbatan olingan proyeksiyalarning algebraik yig’indisiga teng.

M va *Q* larning ishoralari uchun quyidagi qoidani qabul qilamiz:

a) agar kesimni chap tomondagi barcha kuchlarning teng ta’sir etuvchi momenti soat strelkasi bo’yicha aylansa, eguvchi momentni musbat ishora bilan olamiz. Bu moment gorizontal balkani pastga qavariq holda egadi. Balkaning egilishi qarama - qarshi tomonga bo’lgan holda, kesimda manfiy ishorali eguvchi moment ta’sir etadi deyiladi

b) agar kesimdan chapdagi barcha kuchlarning teng ta’sir etuvchisi yuqoriga yo’nalgan bo’lsa, ko’ndalang kuch musbat ishora bilan olinadi. Teng ta’sir etuvchi pastga yo’nalgan bo’lsa, ko’ndalang kuch manfiy ishora bilan olinadi. Egilishga hisoblashning ba’zi bir masalalarida balkaning chap qismidan ko’ra, kamroq kuchlar ta’sir etayotgan o’ng qismini qoldirish qulayroq bo’ladi, chunki echim kamroq hisoblashlar orqali bajariladi.

Bu holda, ya’ni balkaning o’ng qismining muvozanatini ko’rayotganda eguvchi moment va ko’ndalang kuch uchun yuqorida qabul qilingan qoidaga amal qilish uchun ularning ishoralarini quyidagicha olish kerak:

a) eguvchi moment soat strelkasiga teskari yo’nalishda bo’lib, balkani pastga qavariq holda egsa eguvchi moment musbat ishora bilan olinadi;

b) ko’ndalang kuch musbat ishora bilan olinadi, agarda u pastga yo’nalgan bo’lsa.

Shunday qilib berilgan balkaning qaysi qismi ko’rilishidan qat’iy nazar, eguvchi moment va ko’ndalang kuchni bir xil ishorali qiymatlarini beruvchi qoidani qabul qildik.

Nazorat savollari

1. Sof egilishda qanday ichki kuchlarning epyuralarini qurish mumkin?

2. Egilishda va buralishda momentlarning ishoralari va yo’nalishi qanday bo’ladi?

3. Siniq yoki egri chiziqli balkalar uchun *eguvchi moment, ko’ndalang va bo’ylama kuchlarni ta’riflang?*

8-Mavzu: Cho’zilish va siqilishda mustahkamlikka va bikrlikka hisoblash. Statik noaniq masalalar.

Reja:

1. Cho’zilish va siqilishda mustahkamlik sharti
2. Ruxsat etilgan kuchlanish bo’yicha hisoblash
3. Statik noaniq masalalar
4. Statik noaniq masalalarni echish tartibi
5. Temperatura o’zgarishi va konstruksiyalarni yig’ishda yo’l qo’yilgan xatolar ta’sirida hosil bo’ladigan masalalar

Tayanch so'z va iboralar: *Temperatura, statik noaniq, cho'zilish, siqilish, mustahkamlik, ehtiyotlik, koeffitsiyent, chegaraviy, sterjen, katta, normal va kuchlanish.*

1. Cho'zilish va siqilishda sterjen kesimlaridan hosil bo'ladigan eng katta normal kuchlanishlar sterjen materiali uchun ruxsat etilgan kuchlanishdan ortmasligi shart.

$$\sigma_{\max} = \left| \frac{N_{\max}}{F} \right| \leq [\sigma]$$

$N_{\max} -$ sterjen kesimidagi eng katta normal kuchlanish.

F – sterjen kesim yuzasi.

$[\sigma] -$ materiali uchun ruxsat etilgan kuchlanish.

2. Cho'zilish va siqilishdagi mustahkamlikka hisoblash ruxsat etilgan kuchlanishlar bo'yicha olib boriladi. $\sigma_{\max} \leq [\sigma]$

Ruxsat etilgan kuchlanishlar bo'yicha hisoblash. Mustahkamlik shartiga asosan yoziladi.

$[\sigma] = \frac{\sigma_{o\varsigma}}{n}$ $\quad n -$ ehtiyotlik koeffitsiyenti.

3. Ruxsat etilgan kuchlar bo'yicha hisoblash.

$$P_{\max} \leq [P] \qquad [P] = \frac{P_{\tau e \tau}}{n}$$

$P_{\tau e \tau} \ -$ chegaraviy eng havfli kuch.

4. Faqat statika tenglamalaridan foydalanib hisoblab bo'lmaydigan masalalar statik noaniq masalalar deyiladi. Statik noaniq masalalarni quyidagicha 3 turga ajratish mumkin:

1. Ikki tomondan mahkamlangan 1 ta sterjen.
2. o'zaro parallel sterjenlar xususiy hollarda normal bo'lmagan sterjenlar
3. Bir tugun va uchrashuvchi sterjenlar.

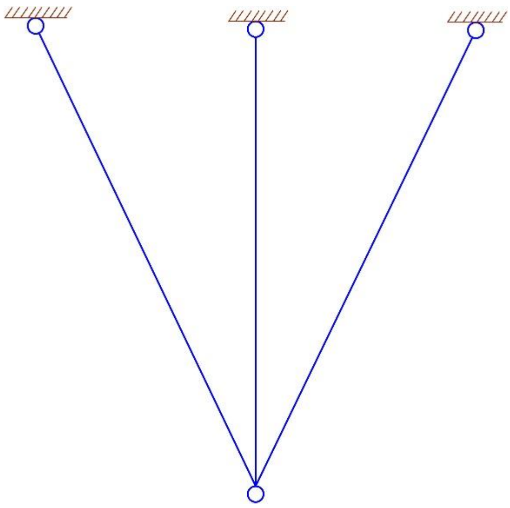
Statik noaniq masalalar quyidagi sabablarga ko'ra hosil bo'ladi:

1. Qo'yilgan tashqi kuchlar ta'siridan.
2. Temperatura o'zgarishi ta'siri.

3. Konstruksiyalarni yig'ishda yo'l qo'yilgan xatolar natijasida.

4. 1,2,3 larning kombinastiyasida

5. Statik noaniq masalalardan noma'lum kuchlar soni statikaning muvozanat tenglamalari sonidan ortiq bo'ladi. Bu ortiqcha noma'lumlarni aniqlash uchun qo'shimcha deformatsiya tenglamalari tuziladi. Statik noaniq masalalar quyidagi tartibda yechiladi.



1. Konstruksiyaga qo'yilgan barcha tashqi kuchlar belgilanadi.

2. Statikaning mumkin bo'lgan tenglamalari tuziladi (tekislikda 3 ta fazoda 6 ta).

3. Masalaning statik noaniqlik darajasi aniqlanadi. $n = S - c$

$n-$ statik noaniklik darajasi, $S -$ noma'lum kuchlar soni.

$c-$ statikaning muvozanat tenglamalari soni.

4. Qo'shimcha deformatsiya tenglamalarini tuzamiz. Qo'shimcha deformatsiya tenglamlari soni statikaning noaniqlik darajasiga teng.

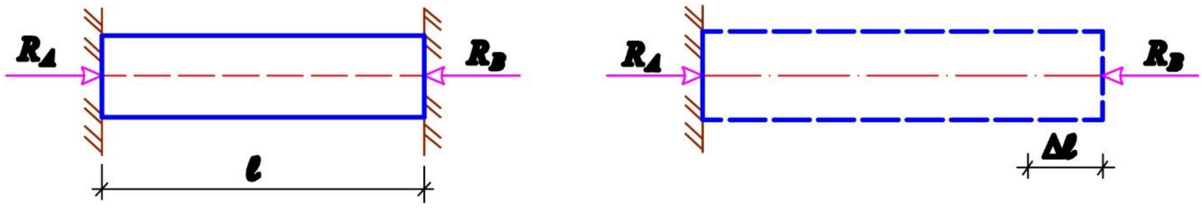
5. Qo'shimcha tenglamalar tarkibidagi ko'chishlarni zo'riqishlar bilan almashtiramiz.

$\Delta l = \dfrac{N \cdot l}{EF}$ Guk qonuniga asosan.

6. Hamma tenglamalarni birgalikda echamiz.

7. Temperatura ta'siridagi sterjenlarni hisoblash. Ikki tayanch bilan mahkamlangan sterjen uzunligi l, kesim yuzasi F, elastiklik moduli E, berilgan.

Bu sterjen Δt temperatura ta'sirida o'zgaradi. Sterjenning ko'ndalang kesimida hosil bo'ladigan kuchlanishlar aniqlansin.



1. $\Sigma Z = 0 \qquad R_A - R_B = 0$

2. $n = S - c$ statik noaniqlik darajasi 1 ga teng. $S = 2$, $c = 1$.

3. Qo'shimcha deformatsiya tenglamasi. $\Delta l_{RB} = \Delta l \Delta t^0$

4. $\Delta l_{RB} = \dfrac{Rb \cdot l}{EF}, \quad \Delta l \Delta t = \alpha \quad l \cdot \Delta t$

EF – bikrlik. α – chiziqning kengayish koeffitsiyenti.

$\dfrac{Rbl}{EF} = \alpha \cdot l \cdot \Delta t^0 \quad Rb = \alpha \cdot \Delta t^0 \cdot EF \quad \sigma = \dfrac{N}{F} = -\alpha \Delta t^0 \cdot E \;\; N = -Rb \quad Ra = Rb$ ga teng.

Nazorat savollari

1. Qo'shimcha deformatsiya tenglamalari qanday tuziladi?
2. Temperatura ta'siridagi sterjen holati qanday?
3. Cho'zilish va siqilishdagi mustahkamlikka hisoblash shartlari qanday?
4. Statikaning mumkin bo'lgan tenglamalarini yozing?

9-Mavzu: Tekis shaklning geometrik xarakteristikalari

Reja:

1. Tekis shaklaning statik momentlari
2. Tekis shaklning og'irlik markazi holatlari
3. Markaziy o'q
4. Tekis shaklning inertsiya momentlari
5. Qutbga nisbatan inertsiya momentlari
6. Markazdan qochma inertsiya momentlari
7. Oddiy shakllarning inertsiya momentlari

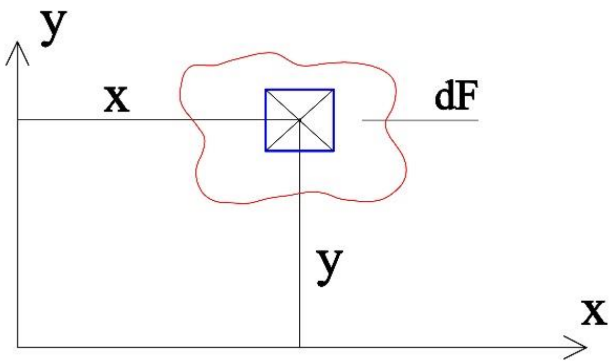
Tayanch so'z va iboralar: Tekis, kesim, yuzasi, statik, inertsiya, momenti, radiusi, qutb, markazdan qochirma, ekvatorial, bosh o'qlar, bosh markaziy o'qlar, birliklari, masofa va kvadrat.

Statik moment *– Tekis kesim yuzasidan ajratilgan elementar yuzacha bilan shu yuzachadan koordinata o'qigacha bo'lgan masofalar orasidagi ko'paytmalar yig'indisi.*

Ekvatorial yoki o'qlarga nisbatan inersiya momenti *– Kesim yuzasidan ajratilgan hamma elementar yuzachalarni ulardan o'qlargacha bo'lgan oraliqlarni kvadratiga ko'paytmalarining yig'indisi.*

Markazdan qochirma inersiya momenti – *Kesim yuzasidan ajratilgan barcha elementar yuzalarni koordinata o'qlarigacha bo'lgan oraliqlarga ko'paytmalarining yig'indisi.*

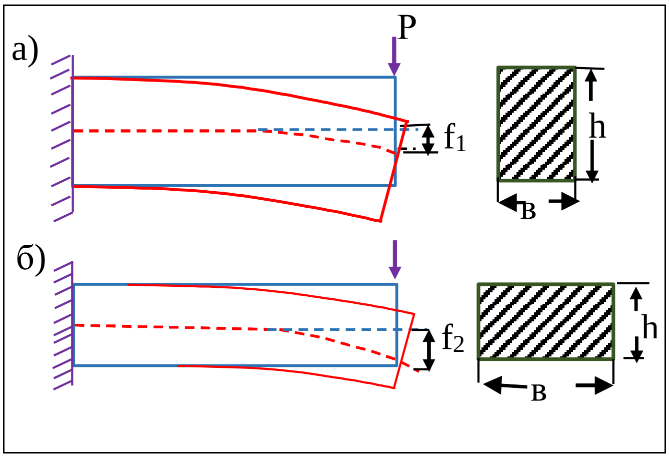
1. Tekis shakldan ajratilgan elementlar yuzachalarining o'qlargacha bo'lgan masofalarga ko'paytmalarining yig'indisi shu shaklning berilgan o'qlarga nisbatan statik momenti deyiladi.



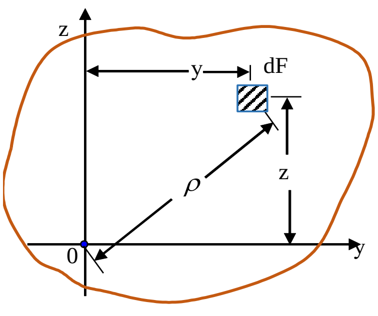
$$S_x = \int_F y df, \quad S_y = \int_F x df.$$

Statik moment birliklari m^3, sm^3, mm^3

Biz sterjenlarning cho'zilish (siqilish) va siljishdagi kuchlanish va deformatsiyalarini tekshirishda bilamizki, sterjenning ko'ndalang kesim yuzasi shu sterjen mustahkamligi va bikrligini xarakterlovchi miqdor bo'lib, sterjenning qarshiligi ko'ndalang kesim yuzasiga proportsional ekan. Lekin bruslarning egilishdagi mustahkamligi va bikrligi kesim yuzasiga emas, balki undan murakkabroq bo'lgan geometrik xarakteristikasiga bog'liqdir, chunki bu yerda ko'ndalang kesimning joylashuvi katta rol o'ynaydi. Masalan, to'g'ri to'rtburchak kesimli balkaning bir uchi qistirib mahkamlangan bo'lib, erkin uchiga to'plangan kuch qo'yilgan bo'lsin . Balkaning ikki holatini qaraymiz:1) balka ko'ndalang kesim eni b balandligi h dan kichik (a). 2) balka ko'ndalang kesim eni b balandligi h dan katta (b).Bundan ko'rinadiki, ko'ndalang kesim yuzasi bir xil bo'lishiga qaramasdan, balki uchidagi salqilik har xildir, ya'ni $f_1 < f_2$. Shunday qilib, ko'ndalang kesim yuzasi bir xil bo'lib, turlicha joylashtirilganda balka bir xil kuch ta'siriga turlicha qarshilik ko'rsatadi.



Demak, egilish, buralish va boshqa deformatsiyalanish holatlarida kesim yuzasining murakkab geometrik xarakteristikalaridan foydalanishga to'g'ri keladi. Bu geometrik xarakteristikalarga kesim yuzasining statik momentlari, inertsiya momentlari, inertsiya radiuslari, qarshilik momentlari va boshqalar kiradi. Shuni aytish kerakki, nazariy mexanikaning statika qismida tekis yuzaning og'irlik markazini topishda statik momentlar tushunchasini uchratgan edik.



II. Faraz qilaylik, tekis kesim yuzasi va shu tekis kesim yuzasida yotuvchi koordinata sistemasi berilgan bo'lsin. Bu tekis kesim yuzasidan elementar dF yuzacha ajratamiz. U vaqtda yuzachaning oy o'qigacha bo'lgan masofalar yig'indisiga tekis kesim yuzasining oy o'qiga nisbatan statik momenti deb ataladi.

$$S_y = \int_A z\, d\, F \, .$$

Xuddi shuningdek, $o\,z$ o'qiga nisbatan olingan statik momenti quyidagicha bo'ladi :

$$S_z = \int_A y\, dFA \, .$$

Bu geometrik xarakteristikalar uzunlikning uchinchi darajasi (odatda $см^3$) da o'lchanadi.

Nazariy mexanikadan ma'lumki, tekis kesim yuzasining og'irlik markazi koordinatalari quyidagicha topiladi :

$$y_c = \frac{\int_A z\, d\, F}{F} = \frac{S_y}{F}, \qquad z_c = \frac{\int_A y\, d\, F}{F} = \frac{S_z}{F}.$$

Shuning uchun

$$S_y = y_c\, F\,, \quad S_z = z_c\, F.$$

Bu ifodadan ko'rinib turibdiki, tekis kesim yuzasining og'irlik markazidan o'tgan o'qlarga nisbatan statik momentlar nolga teng bo'lar ekan. Bunday o'qlarga markaziy o'qlar deyiladi.

Agar tekis kesim yuzasi murakkab bo'lib, n ta oddiy yuzalardan iborat bo'lsa, statik momentlarini quyidagicha yozish mumkin $S_y = \int_A z\, d\, F = \sum_{i=1}^{n} S_y^i\,, \quad S_z = \int_A y\, d\, F = \sum_{i=1}^{n} S_z^i.$ bunda : S_y^i va S_z^i $-$ kesimning i bo'lagining mos ravishda y va z o'qlariga nisbatan statik momentlari.

Statik moment o'qlarning vaziyatiga qarab musbat, manfiy va nol bo'lishi mumkin.

Shunday qilib, tekis kesim yuzasining og'irlik markazining koordinatalari ma'lum bo'lsa, statik momentlarni, va aksincha, tekis kesim yuzalarining statik momentlari ma'lum bo'lsa, kesim og'irlik markazining koordinatalarini hisoblash mumkin.

Tekis kesim yuzasidan ajratilgan hamma elementar, yuzalar ularning o'qlar oraliqlari kvadratlariga ko'paytmalarining yig'indisi, shu kesim yuzasining o'qlarga nisbatan (ekvatorial) inerstiya momentlari deyiladi. Inerstiya momenti J harfi bilan belgilanib, indekslariga o'q ishorasi qo'yiladi.

Ta'rifga muvofiq :

$$J_y = \int_A z^2 dF \,, \qquad J_z = \int_A y^2 dF.$$

Kesim yuzasidan ajratilgan hamma elementar yuzalarning koordinata o'qlarigacha bo'lgan oraliqlariga ko'paytmalarining yig'indisi shu kesim yuzasining markazdan qochirma inertsiya momenti deyiladi.

$$J_{yz} = \int_A y\,z\,dF \,.$$

Kesim yuzasidan ajratilgan hamma elementar yuzalarning koordinata boshigacha bo'lgan oraliqlar kvadratlariga ko'paytmasining yig'indisi qutb (polyar) inertsiya momenti deyiladi.

$$J_\rho = \int_A \rho^2 dF \quad .$$

Pifagor teoremasiga asosan $\rho^2 = y^2 + z^2$

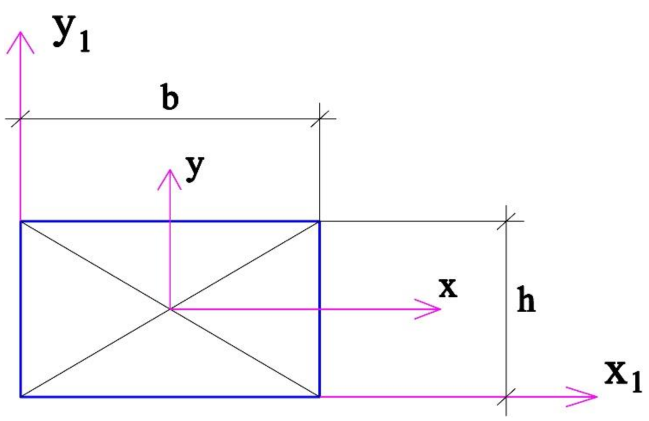
$$J_\rho = \int_A (y^2 + z^2) dF = \int_A y^2\, dF + \int_A z^2\, dF = J_z + J_y \,.$$

Demak, qutb inerstiya momenti bir –biriga tik o'qlarga nisbatan olingan inerstiya momentlarining yig'indisiga tengdir.

Kesim yuzasining inerstiya momentlari uzunlik o'lchovining to'rtinchi darajasi (odatda $см^4$) bilan o'lchanadi. O'qlarga nisbatan (ekvatorial) inertsiya momentlari va qutb inertsiya momenti doimo musbat miqdordir, markazdan qochirma inertsiya momenti esa o'qlarning vaziyatiga qarab musbat, manfiy va nol bo'lishi mumkin.

III. Bir necha eng ko'p uchraydigan kesim yuzalarining inertsiya momentlarini hisoblashni ko'rib chiqamiz.

1) To'g'ri to'rtbuchak yuzasining inertsiya momenti



To'g'ri to'rtbuchak yuzasining og'irlik markazidan o'tib, asosiga parallel bo'lgan y o'qiga nisbatan inertsiya momentini hisoblaymiz.

Ta'rifga asosan $J_y = \int_A z^2\, dF$ bunda $dA = b\,dz$ ga teng.

$$J_y = \int_{-\frac{h}{2}}^{+\frac{h}{2}} b\, z^2 dz = \frac{b\,h^3}{12} \quad , \qquad J_y = \frac{b\,h^3}{12}$$

Xuddi shuningdek, z o'qiga nisbatan inertsiya momenti

Demak, $$J_y = \frac{bh^3}{12} \quad , \qquad J_z = \frac{h\,b^3}{12}$$

Agar to'g'ri to'rtburchak yuzasi kvadrat yuzasidan iborat bo'lsa $(b = h = a)$

$$J_y = J_z = \frac{a^4}{12}.$$

To'g'ri to'rtburchak yuzasining asosidan o'tgan y_1 o'qiga nisbatan inertsiya momenti quyidagicha hisoblanadi :

$$J_{y_1} = \int_A z^2 dF = b\int_0^h z^2 dF = \frac{b\,h^3}{3} \ , \ J_{y_1} = \frac{b\,h^3}{3}$$

Xuddi shuningdek, z o'qiga nisbatan olingan inertsiya momenti

Demak, $$J_{y_1} = \frac{bh^3}{3} \quad , \qquad J_{z_1} = \frac{h\,b^3}{3}.$$

Kvadrat yuzasi uchun $J_{y_1} = J_{z_1} = \dfrac{a^4}{3}$ teng bo'ladi.

To'g'ri to'rtburchak yuzasining tomonlaridan o'tgan y_1 va z_1 o'qlariga nisbatan markazdan qochirma inertsiya momentini hisoblaymiz.

Buning uchun to'rtburchak yuzasidan $dA = dy_1\, dz_1$ elementar yuza ajratamiz. U vaqtda, ta'rifga asosan

$$J_{y_1 z_1} = \int_A y_1 z_1 dF = \int_0^b \int_0^h y_1 z_1 dy_1 dz_1 = \int_0^h z_1 dz_1 \int_0^b y_1 dy_1 =$$

$$= \int_0^h z_1 dz_1 \cdot \frac{b^2}{2} = \frac{b^2}{2} \int_0^h z_1 dz_1 = \frac{b^2 h^2}{4} \quad .$$

demak, $\quad J_{y_1 z_1} = \dfrac{b^2 h^2}{4} \quad .$

To'g'ri to'rtburchak yuzasining markaziy o'qlari y va z larga nisbatan markazdan qochirma inertsiya momenti nolga teng, chunki bu o'qlar uning simmetriya o'qiga mos tushadi.

2) Uchburchak yuzasining inertsiya momenti

Uchburchak yuzasining parallel o'qlari y (og'irlik markazidan), y_1 (asosidan) va y_2 (uchidan) o'tgan o'qlarga nisbatan inertsiya momentlarini hisoblaymiz. Uchburchak yuzasidan elementar yuza ajratamiz : $dF = b_z dz$ bunda b_z - yuzachaning eni, dz esa balandligi.

a) yuzaning markaziy y o'qiga nisbatan inertsiya momentini hisoblaymiz, bunda :

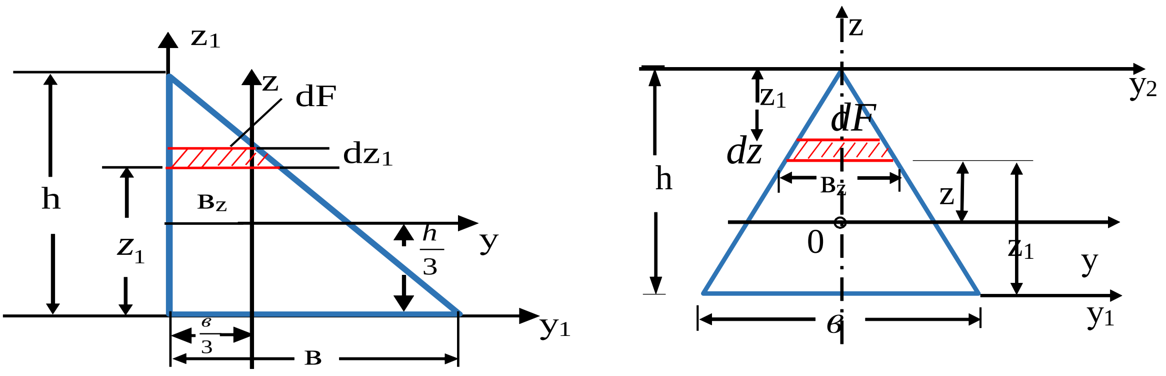
$$J_y = \int_{-\frac{h}{3}}^{\frac{2h}{3}} z^2 \cdot \frac{b}{h}(\frac{2}{3}h - z)dz = \frac{b}{h} \int_{-\frac{h}{3}}^{\frac{2h}{3}} (\frac{2}{3}h z^2 - z^3) d\,z = \frac{b h^3}{36} \,,$$

$$b_z = \frac{b}{h}(\frac{2}{3}h - z) \,, \qquad J_y = \frac{b h^3}{36} \;.$$

b) yuzaning asosidan o'tgan y_1 o'qiga nisbatan inertsiya momentini hisoblaymiz, bunda :

$$J_{y_1} = \int_0^h z_1^2 \cdot \frac{b}{h}(h - z_1)dz_1 = \frac{b}{h}\int_0^h (h z_1^2 - z_1^3)dz_1 = \frac{b h^3}{12},$$

$$b_z = \frac{b}{h}(h - z_1).$$



b) a)

v) yuzaning uchidan o'tib asosiga parallel bo'lgan y_2 o'qiga nisbatan inertsiya momentini hisoblaymiz, bunda :

$$J_{y_2} = -\int_{-h}^{0} z_2^2 \cdot \frac{b}{h} z_2 dz_2 = -\frac{b}{h}\int_{-h}^{0} z_2^3 dz_2 = \frac{bh^3}{4},$$

$$J_{y_2} = \frac{bh^3}{4}, \qquad b_z = -\frac{b}{h} z_2.$$

Demak,

$$J_y = \frac{bh^3}{36}, \quad J_{y_1} = \frac{bh^3}{12}, \quad J_{y_2} = \frac{bh^3}{4}.$$

Bo'lardan ko'rinadiki, markaziy o'qqa nisbatan olingan inertsiya momenti eng kichigidir.

Shuni aytish kerakki, teng yonli uchburchak uchun chiqarilgan bu formulalar teng yonli bo'lmagan uchburchak uchun ham to'g'ridir, chunki yuzacha eni b_z va z ning o'zgarish chegarasi ikkalasi uchun ham bir xildir.

Endi to'g'ri uchburchakning katetlaridan o'tvchi y_1 va z_1 o'qlarga nisbatan markazdan qochirma inertsiya momentini hisoblaymiz

Kesim yuzasidan elementar yuza $dF = b_z dz$ ajratamiz (b). Unda

$$b_z = \frac{b}{h}(h - z_1), \quad y_1 = \frac{b_z}{2} = \frac{b(h - z_1)}{2h}$$

Ta'rifga asosan :

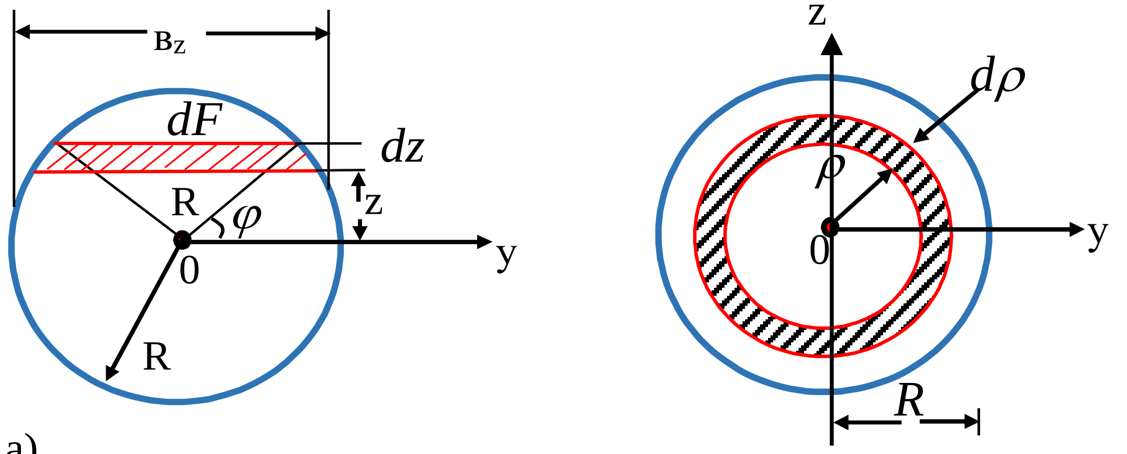
$$J_{y_1 z_1} = \int_A y_1 z_1 dF = \int_0^h z_1 \frac{b(h-z_1)}{2h} \cdot \frac{b(h-z_1)}{h} dz_1 =$$

$$= \frac{b^2}{2h^2} \int_0^h (h-z_1)^2 z_1 dz_1 = \frac{b^2 h^2}{24} .$$

Demak, $J_{y_1 z_1} = \dfrac{b^2 h^2}{24}$.

3. Doira yuzasining inertsiya momenti

Radiusi R ga teng bo'lgan doira yuzasining markazidan o'tgan ixtiyoriy y o'qqa nisbatan inertsiya momentini hisoblaymiz (a).



a) b)

Doira yuzasidan elementar yuzacha ajratamiz (b): $dF = b_z dz$ bunda : $b_z = 2R\cos\varphi$,

$$z = R\sin\varphi\,,\ dz = R\cos\varphi\, d\varphi\ ,\quad dF = 2R^2\cos^2\varphi\, d\varphi\ .$$

$$J_y = \int_A z^2 dF = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} (R\sin\phi)^2 2R^2\cos^2\phi\, d\phi =$$

$$= 2R^4 \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} \sin^2\phi\cos^2\phi\, d\phi = \ = 2R^4\left(\frac{\phi}{8} - \frac{\sin 4\phi}{32)}\right)\Big|_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} = \frac{\pi R^4}{4}.$$

Demak, $J_y = \dfrac{\pi R^4}{4}$ yoki $J_y = \dfrac{\pi D^4}{64}$ bo'lar ekan.

Doira yuzasining markazidan o'tuvchi har qanday o'qqa nisbatan inertsiya momentlari tengdir. Shuning uchun, $J_y = J_z = \dfrac{\pi R^4}{4} = \dfrac{\pi D^4}{64}$.

Qutb inertsiya momenti $J_\rho = 2J_y = 2J_z = \dfrac{\pi R^4}{2} = \dfrac{\pi D^4}{32}$ bo'ladi.

Umuman aytganda, doira yuzasi uchun avvalo qutb inertsiya momentini hisoblab, undan markaziy o'qlarga nisbatan inerstiya momentlarini yozish qulaydir.

Doira yuzasidan elementar xalqani konstentrik aylanalar bilan ajratsak (b) $dA = 2\pi\rho d\rho$ bo'ladi. $J_\rho = \int_0^R \rho^2 2\pi\rho d\rho = 2\pi \int_0^R \rho^3 d\rho = 2\pi \dfrac{R^4}{4} = \dfrac{\pi R^4}{2}$.

Demak, $J_\rho = \dfrac{\pi R^4}{2}$ yoki $J_\rho = \dfrac{\pi D^4}{32}$

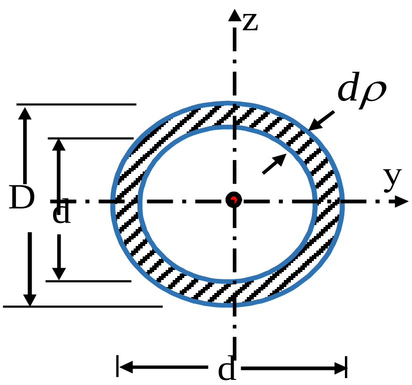
Doira yuzasining markaziy o'qlarga nisbatan inertsiya momentlari quyidagicha bo'ladi :

$$J_y = J_z = \frac{J_\rho}{2} = \frac{\pi R^4}{4} = \frac{\pi D^4}{64} .$$

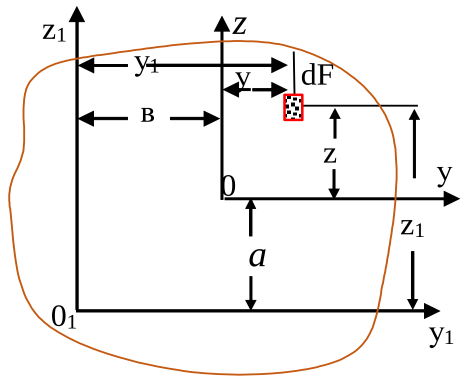
4. Halqa yuzasining inertsiya momenti

Halqa yuzasining inertsiya momentini tashqi va ichki doiralar yuzasining inertsiya momentlarining ayirmasidan topamiz (a).

Qutb inertsiya momenti $J_\rho = \dfrac{\pi R^4}{2} - \dfrac{\pi r^4}{2} = \dfrac{\pi R^4}{2}\left[1 - (\dfrac{r}{R})^4\right] = \dfrac{\pi D^4}{32}\left[1 - (\dfrac{d}{D})^4\right]$.



a)



b)

Markaziy o'qlarga nisbatan inertsiya momenti

$$J_y = J_z = \frac{\pi R^4}{4}\left[1-(\frac{r}{R})^4\right] = \frac{\pi D^4}{64}\left[1-(\frac{d}{D})^4\right].$$

IV. Faraz qilaylik, kesim yuzasining markaziy y va z o'qlariga nisbatan inertsiya momentlari hisoblangan bo'lsin. Bu o'qlarga parallel bo'lgan y_1 va z_1 o'qlarga nisbatan kesim yuzasining inertsiya momentlarini hisoblaymiz (b).

Koordinatalar orasidagi bog'lanishlar: $y_1 = y + b$, $z_1 = z + a$ bo'ladi.

U vaqtda :

$$J_{y_1} = \int_A z_1^2 dF = \int_A (z+a)^2 dF = \int_A z^2 dF + 2a\int_A z\,dF + a^2\int_A dF =$$
$$= J_y + 2a\,S_y + a^2 F.$$

$$J_{z_1} = \int_A y_1^2 dF = \int_A (y+b)^2 dF = \int_A y^2 dF + 2b\int_A y dF + b^2\int_A dF =$$
$$= J_z + 2b\,S_z + b^2 F.$$

$$J_{y_1 z_1} = \int_A y_1 z_1 dF = \int_A (y+b)(z+a)\,dF = \int_A yz dF + b^2\int_A z dF +$$
$$a^2\int_A y\,dF + ab\int_A dF = J_{yz} + bJ_y + aJ_z + abF.$$

Bu formulalardagi S_y va S_z lar y va z o'qlariga nisbatan olingan statik momentlar bo'lib, nolga tengdir, chunki y va z o'qlari markaziy o'qlardir. U vaqtda markaziy o'qlarga parallel bo'lgan o'qlarga nisbatan inertsiya momentlari quyidagicha bo'ladi :

$$J_{y_1} = J_y + a^2 F, \quad J_{z_1} = J_z + b^2 F, \quad J_{y_1 z_1} = J_{yz} + abF .$$

Bu formulalardan ko'pincha murakkab yuzaning inertsiya momentini hisoblashda foydalaniladi.

Yuqoridagi tenglamani birinchi va ikkinchisini bir – biriga qo'shsak, qutb inertsiya momenti uchun quyidagini olamiz :

$$J_{\rho_1} = J_\rho + (a^2 + b^2)\,A$$

Shunday qilib, quyidagi teoremani ta'riflash mumkin: tekis kesim yuzasining markaziy o'qlarga parallel yo'nalgan o'qlarga nisbatan inertsiya momentlari shu yuzadan markaziy o'qlarga nisbatan olingan inertsiya momentlari bilan o'qlar oralig'i kvadratining kesim yuzasiga ko'paytmasi yig'indisiga teng.

Markaziy o'qga nisbatan inertsiya momenti hisoblangan bo'lsa, har qanday unga parallel bo'lgan o'qqa nisbatan inertsiya momentini hisoblash mumkin, va aksincha, har qanday o'qqa nisbatan inertsiya momenti ma'lum bo'lsa, unga parallel bo'lgan o'qqa nisbatan inertsiya momentini hisoblash mumkin. Masalan, to'g'ri to'rtburchak yuzasining markaziy o'qlarga nisbatan inertsiya momenti $J_y = bh^3/12$, uning asosidan o'tgan y_1 o'qiga nisbatan inertsiya momenti quyidagicha bo'ladi.

$$J_{y_1} = J_y + a^2F = \frac{bh^3}{12} + (\frac{h}{2})^2 \cdot bh = \frac{bh^3}{3} \quad .$$

Xuddi shu natijani integrallash yo'li bilan ham olgan edik

Agar to'g'ri uchburchak yuzasining katetlaridan o'tgan o'qlarga nisbatan inertsiya momenti $J_{y_1z_1} = \frac{b^2h^2}{24}$, bo'lsa, markaziy o'qlarga nisbatan quyidagicha bo'ladi.

$$J_{yz} = J_{y_1z_1} - abF = \frac{b^2h^2}{24} - (-\frac{h}{3})(-\frac{b}{3}) \cdot \frac{bh}{2} = -\frac{b^2h^2}{72}, \text{ demak, } J_{yz} = -\frac{b^2h^2}{72} .$$

Agar markaziy o'qlarning birortasi (yoki ikkalasi ham) kesim yuziga simmetrik bo'lsa, uchinchisi quyidagicha bo'ladi : $J_{y_1z_1} = abF$, chunki $J_{yz} = 0$ dir.

*Shaklning o'qiga nisbatan qarshilik moment*ni shaklning shu o'qdan eng chekka nuqtasigacha bo'lgan masofaga nisbati bilan o'lchanadi.

X o'qiga nisbatan qarshilik momenti.

$$W_x = \frac{J_x}{y_{\max}} \qquad W_y = \frac{J_y}{x_{\max}}$$

qarshilik momentining birligi m^3, mm^3, sm^3 ishorasi musbat va manfiy bo'lishi mumkin.

Nazorat savollari

1. Qanday geometrik oddiy shakllarni bilasiz?

2. Inerstiya momenti deb nimaga aytiladi?

3. Inerstiya momentlarining turlarini tushuntiring?

4. Tekis kesim yuzasining o’qqa nisbatan statik momenti deb nimaga aytiladi va u qanday o’qlarga nisbatan nolga teng?

5. Tekis kesim yuzasining o’qqa nisbatan ekvatorial, qutb va markazdan qochirma inerstiya momentlari deb nimaga aytiladi va ularning ishoralari qanday bo’ladi?

6. Qanday o’qlarga bosh o’qlar deyiladi?

7.O’zaro tik ikki o’qqa nisbatan inertsiya momentlarining yig’indisi nimaga teng?

8. Tekis kesim yuzalarining inertsiya momentlari qanday o’qlarga nisbatan eng kichik va eng katta qiymatga ega bo’ladi?

9. To’g’ri to’rtburchak, uchburchak, doira va halqa yuzalarining markaziy o’qlarga nisbatan inertsiya momentlari qanday formula bilan topiladi?

10. Doira va halqa yuzalarining qutb inertsiya momentlari qanday formula bilan topiladi?

11. Tekis kesim yuzalarining markaziy o’qlarga parallel bo’lgan o’qlarga nisbatan inertsiya momentlari qanday formula bilan topiladi?

10-*Mavzu:* Kritik kuch va kritik kuchlanish haqida tushuncha

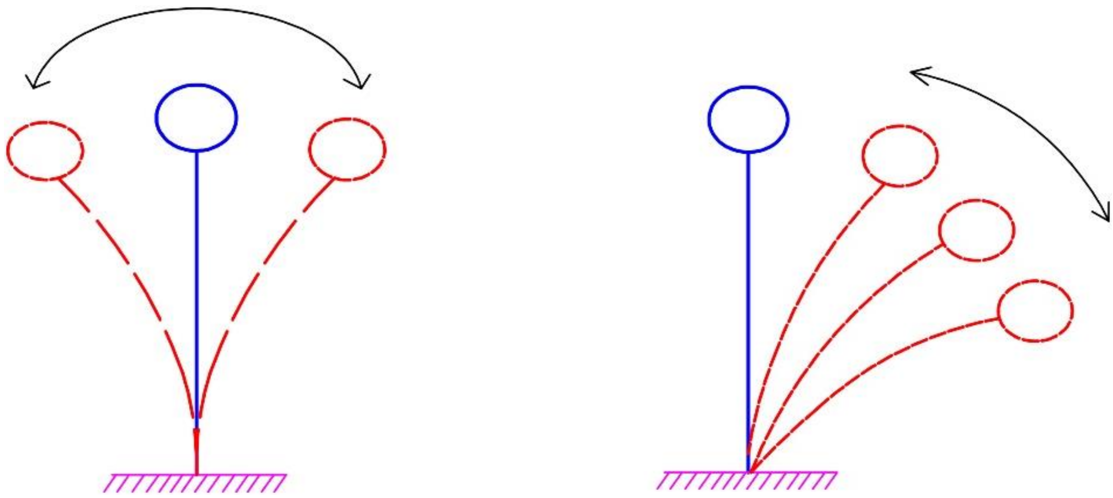
Reja:

1. Kritik kuch

2. Kritik kuchlanish

Tayanch so’z va iboralar: *Yuk, egiladi, holati, ustuvor, tebranma, harakat, gorizontal, sterjen, ustuvor va mahkamlangan.*

Siqilgan sterjen ustuvorligi tushunchasini ***R*** yuk ta’siridagi qistirib mahkamlangan egiluvchi sterjen misolida ko’ramiz. Agar ***R*** kuch uncha katta bo’lmasa sterjen qisqa muddatli gorizontal yuk ta’sirida egiladi va yuk olingach o’z o’qi atrofida tebranma harakat qilib, o’zining boshlang’ich holatiga qaytadi.



a) b)

Yuk kattaligi oshirilganda sterjen qisqa muddatli yukdan keyin o'zining boshlang'ich holatini saqlay olmay, egilgan holda qolishi yuz beradi. U ikkinchi marta muvozanat holatidan chiqarilganda yukni olingach, o'zining yangi egilgan o'qi atrofida tebranadi (b rasm).

Sistemaning sterjen va yukdan iborat birinchi holati ustuvor, ikkinchi holati ustuvor bo'lmagan holat deyiladi. Sterjen geometrik parametrlari o'zgarmas bo'lganda sistemaning ustuvor holatdan ustuvor bo'lmagan holatga o'tishi siquvchi kuch ***R*** kattaligiga bog'liq.

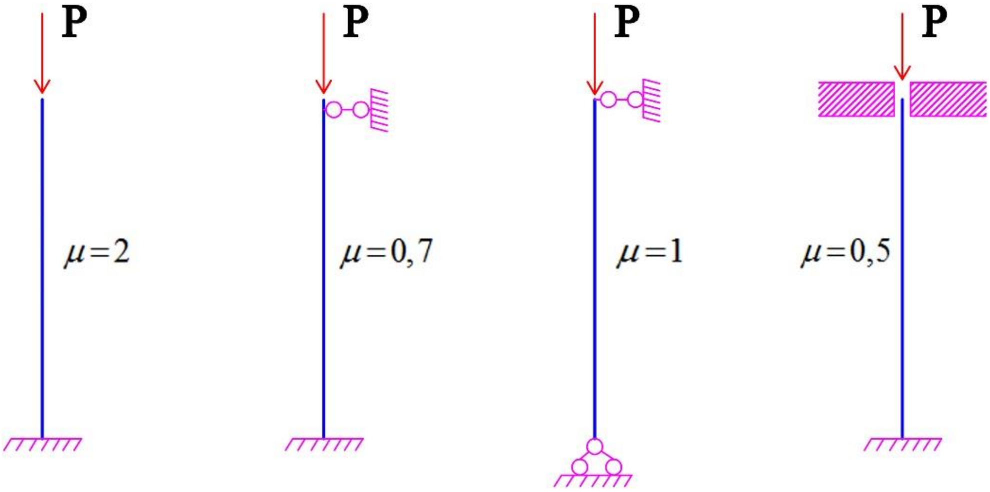
Sterjenni ustuvor holatdan ustuvor bo'lmagan holatga o'tkazuvchi eng kichik siquvchi kuchga $\boldsymbol{R_{kr}}$ kritik kuch, bu sterjenda hosil bo'luvchi kuchlanishlarga $\boldsymbol{\sigma_{kr}}$ kritik kuchlanish deyiladi.

Materialning kritik kuchlanishlarga yetishi juda xavflidir, chunki sterjen ustuvorligi yo'qolganda deformatsiyalar keskin oshib ketadi va bu hol konstruksiya buzilishiga olib kelishi mumkin.

Birinchi marta kritik kuch kattaligini Leonard Eyler aniqlagani uchun, ba'zan uni Eyler kuchi ham deb ataladi. Eyler formulasiga asosan kritik kuch kattaligi quyidagi bog'lanishdan topiladi:

$$P_{\kappa p} = \pi^2 EJ_{\min} / (\mu\ \ell)^2$$

Bu yerda J_{min}–ko’ndalang kesim bosh markaziy inertsiya momentlaridan biri (kichigi), ℓ – sterjen uzunligi, μ – sterjen uchlarini mahkamlash usuliga bog’liq o’lchamsiz koeffitsiyent (a rasm).



a) b) c) d)

Bikr mahkamlash sof holda amalda juda kam uchrashini aytish lozim. Masalan, yetarli uzunlikdagi metall sterjen, asosiy konstruksiyaga payvandlash yoki birikma orqali tutashtirilgan sistema – bikr mahkamlanganga misol, ammo uni ustuvorlikka tekshirishda sharnirli mahkamlangan deb olinadi. Bu ferma sterjenlariga ham taalluqli bo’lib, hisoblashlarda μ-1 ni qabul qiladi. $\mu\ell$ ko’paytma keltirilgan uzunlik deyiladi.

Kritik kuchga mos keluvchi, miqdori P_{kp}/F ga teng bo’lgan kuchlanish kritik kuchlanish deyiladi.

$$\sigma_{\kappa p} = P_{\kappa p} / F$$

Tajribalar tahlili shuni ko’rsatadiki, Eyler formulasi asosida hisoblangan natijalar sterjen geometrik parametrlari ma’lum diapazonida yaxshi mos tushadi. Bu parametrlarni umumiy baholash uchun sterjen egiluvchanligi λ kiritiladi.

$$\lambda = \frac{\mu \cdot \ell}{i_{\min}} \quad (**)$$

bu yerda $\mu \cdot \ell$ – sterjenning keltirilgan uzunligi, i_{min} – bosh markaziy inertsiya o’qlari biriga nisbatan ko’ndalang kesim inertsiya radiusi.

Kesim inerstiya radiusi quyidagi ifodadan topiladi:

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{J_{\min}}{F}}$$

λ egiluvchanlik o'lchamsiz kattalik bo'lib 0 dan 200 gacha bo'lgan qiymatlarni qabul qiladi. (**) ifodani λ ning λ≈100-200 qiymatlarida qo'llash mumkin. λ ning Eyler formulasini qo'llash mumkin bo'lgan quyi chegarasi materialga bog'liq. Xususan yog'och uchun 110 ga, cho'yan uchun 80 ga teng va hokazo.

Egiluvchanligi o'rtacha egiluvchanlikdan kichik bo'lgan sterjenlar uchun Peterburg temir yo'llar instituti professori F.S.Yasinskiy tomonidan $\boldsymbol{\sigma_{kr}}$ kritik kuchlanishni aniqlash imkonini beruvchi empirik bog'lanish taklif etildi:

$$\sigma_{kp} = a - b\lambda$$

bu erda *a,b* – sterjen materialiga bog'liq tajribada aniqlanuvchi, kuchlanish o'lchov birligidagi kattaliklar, masalan po'lat uchun $a=3100\ kgk/sm^2$, $b=11{,}4\ kgk/sm^2$ ga teng.

O'rtacha egiluvchanlik deb λ qiymati 40 – 100 gacha bo'lgan egiluvchanlikka aytiladi. $\lambda<40$ holda kritik kuchlanishni oquvchanlik chegarasiga teng deb olinadi.

Nazorat savollari

1. Siqilgan sterjen ustuvorligini yo'qotish hodisasini tushuntiring?
2. Kritik kuch va kritik kuchlanish deb nimaga aytiladi?
3. Sterjen egiluvchanligi deb nimaga aytiladi?
4. Kritik kuch qiymatini topish uchun Eyler formulasini yozing.

11-Mavzu: Ko'chishlarni Mor* usuli bilan aniqlash. Tekis shaklning egilishdagi ustuvorligi.

Reja:

1. Mor usuli va Mor integrali
2. Vereshchagin qoidasi
3. Vereshchagin usuli

Tayanch so'z va iboralar: *Epyuralar, konstruksiya, ko'chishlar, vertikal, birlik kuch, gorizontal, usuli, egilishdagi ustuvorligi, tashqi yuk, ichki va o'lchovsiz birlik moment.*

Ko'chishlar Mor usuli bilan quyidagicha aniqlanadi:

1. Tashqi yuk ta'siridagi ichki kuchlar epyurasi quriladi va har bir uchastka uchun $M^{r}=f_1(z_n)$, $M^{r}_{b}=f_2(z_n)$, $N^{p}=f_3(z_n)$, $Q^{p}=f_4(z_n)$ ifodalari tuziladi, bu yerda n-uchastka tartib raqami.

Epyuralar grafigini qurish umuman olganda shart emas, ammo uni qurilishi foydali ekanligini quyida keltiriladi.

Ayrim hollarda ushbu usul Maksvell - Mor usuli deb ham ataladi.

2. Konstruksiyaning ko'chish aniqlanayotgan nuqtasi R=1 (birlik kuch) o'lchamsiz kuch bilan yuklanadi. Kuch yo'nalishi aniqlanayotgan ko'chish yo'nalishi bilan ustma-ust tushadi, ya'ni vertikal ko'chish aniqlanayotganda birlik kuch vertikal, gorizontal ko'chishda esa gorizontal bo'ladi.

Kesim burilish burchagini aniqlash uchun sterjen bo'ylama o'qining kesim o'tgan nuqtasiga o'lchovsiz birlik moment yuklanadi.

3. R=1 (birlik kuch) ta'siridagi ichki kuchlar epyuralari har bir uchastka

uchun quriladi va $M^{1}_{eg}=f_1(z_n)$, $M^{1}_{b}=f_2(z_n)$, $N^{p}=f_3(z_n)$, $Q^{p}=f_4(z_n)$ munosabatlar tuziladi, bu yerda n- uchastka tartib raqami. Bu yerda uchastka chegaralari tashqi yuklama epyurasi va birlik kuch epyurasi uchun albatta bir xil bo'lishi shart.

4. Quyidagi munosabatlardan izlanayotgan chiziqli yoki burchakli ko'chish «Δ» aniqlanadi:

$$\Delta=\Sigma\int_0^{\ell} \frac{M^{P}_{эг}M^{1}_{эг}}{EJ}dz+\Sigma\int_0^{\ell} \frac{M^{P}_{б}M^{1}_{б}}{J_{б}G}dz+\Sigma\int_0^{\ell} \kappa\frac{Q^{p}Q^{1}}{GF}dz+\Sigma\int_0^{\ell} \frac{N^{p}N^{1}}{EF}dz$$

Ifodadagi $M^{p}_{б}, M^{p}_{эг}, Q^{p}, N^{p}$ - bog'lanishlar tashqi yuklama ta'siridagi ichki kuchlarning funksiyasi bo'lib, kesimning uchastkadagi «z» koordinatasiga bog'liq.

$M^{1}_{б}, M^{1}_{эг}, Q^{1}, N^{1}$ -lar esa birlik kuch ta'siri.

EJ, GJ$_b$, GF, EF- kattaliklar mos ravishda sterjenning egilish, buralish, siljish va cho'zilishdagi bikrliklari. Agar uchastkada sterjen bikrligi o'zgarmas bo'lsa, uni integral belgisidan tashqariga chiqarish mumkin.

ℓ-har bir uchastka bo'ylab alohida amalga oshirilib, natijalar qo'shilishini bildiradi.

κ- ko’ndalang kesim shakliga bog’liq koeffitsiyent bo’lib, u egilishda ko’ndalang kesim yuzasi bo’ylab urinma kuchlanishlar notekis taqsimlanishini hisobga oladi. To’g’ri to’rtburchakli kesim uchun κ = 1,2 doira uchun 1,1 va hokazo.

Biror ko’chishdagi musbat ishora ko’chish haqiqiy yo’nalishi birlik kuch yo’nalishi bilan bir xil, (-) ishora esa birlik kuch yo’nalishiga qarama-qarishi ekanligini anglatadi.

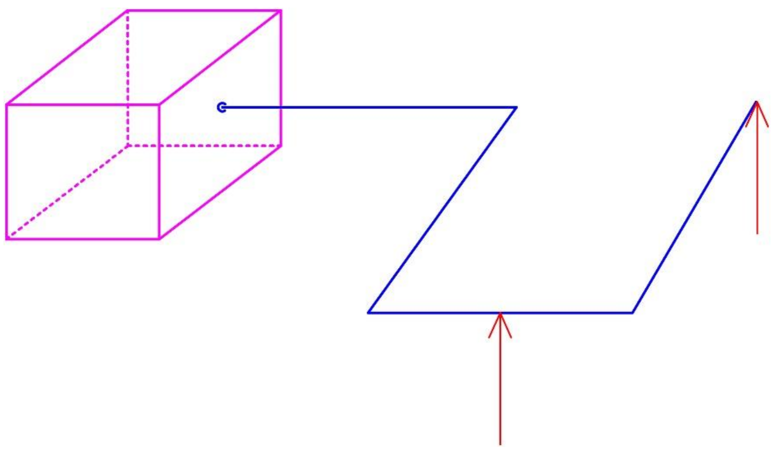
Odatda ko’chishlarni aniqlashda yuqoridagi ifodadagi hamma integrallar doimo ishlatilmaydi, masalan sterjen egilishida ko’ndalang kesimda eguvchi momentdan tashqari ko’ndalang va bo’ylama kuch hosil bo’lsada, faqat egilish ta’siri e’tiborga olinadi. Ko’chish quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$\Delta=\Sigma\int_0^{\ell} \frac{M_{эг}^{P}\cdot M_{эг}^{1}}{EJ}dz$$

Fazoviy konstruksiyalar egilishida ko’chishlarni aniqlashda egilish va buralish ta’sirlari hisobga olinadi, cho’ziluvchi yoki siqiluvchi sterjenlarda – faqat bo’ylama kuch **N** hisobga olinadi.

Mor integrali

Kostelyano teoremasida kuch qo’yishgan nuqtaning kuch yo’nalishi bo’yicha ko’chishlarni aniqlash mumkin. Amalda ixtiyoriy nuqtaning ixtiyoriy yo’nalishidagi kuchlarni aniqlash kerak bo’ladi. Bunday usullardan biri Mor integrali hisoblanadi. Bu usulda ko’chishni aniqlash kerak bo’lgan nuqtaga shu yo’nalish bo’yicha fiktiv kuch qo’yilib jisimning potensial energiyasi xisoblanadi., keyinchalik esa Kostilyano teoriyasiga asoslanib fiktiv kuch bo’yicha xususiy hosila olib (F=0) fiktiv kuch 0 ga tenglanadi.



Sistemadan A nuqtasining X o’qi bo’yicha fiktiv kuch qo’yib potensial energiyasini aniqlaymiz.

$$U=\int_0^e \frac{(M_{xp}+M_{\Phi}\Phi)^2 dz}{2EJ_x}+\int \frac{(M_{бp}+M_{бp}\Phi)^2 dz}{2GJ_\varsigma}+.........+K_x\int_0^e \frac{(Q_x+Q_\Phi\Phi)^2}{2GF}dz$$

A nuqtaning X yo’nalishi bo’yicha ko’chishni aniqlash uchun Kostilyano teoremasini qo’llaymiz.

$$\delta_A=\frac{\partial U}{\partial \Phi}\Big|_{\Phi=0}=\int_0^e \frac{M_{xp}\cdot M_{x\phi}}{EJ_x}dz+\int_0^e \frac{M_{бp}\cdot M_{бop}}{GJ_\varsigma}dz+......+K_x\int_0^e \frac{Q_{xp}\cdot Q_{x\phi}}{GF}dz$$

ushbu kelib chiqgan natija Mor integrali deyiladi.

Egri brusda nuqtalarning ko’chishlarini faqat Mor integrali yordamida aniqlay olamiz. Mor integralining kamchiligi integral hisoblarining ko’nikib ketishishida.

Vereshchagin qoidasi

Mor integralini nisbatan oson hisoblash imkonini beruvchi ushbu grafo-analitik usul bikrligi o’zgarmas va o’qi to’g’ri chiziqli sterjenlar ko’chishini aniqlashda qo’llaniladi. Sterjen o’qi to’g’ri chiziqli bo’ladi.

Birlik kuch epyurasi shaklini aniqlovchi tenglama quyidagi ko’rinishda bo’ladi:

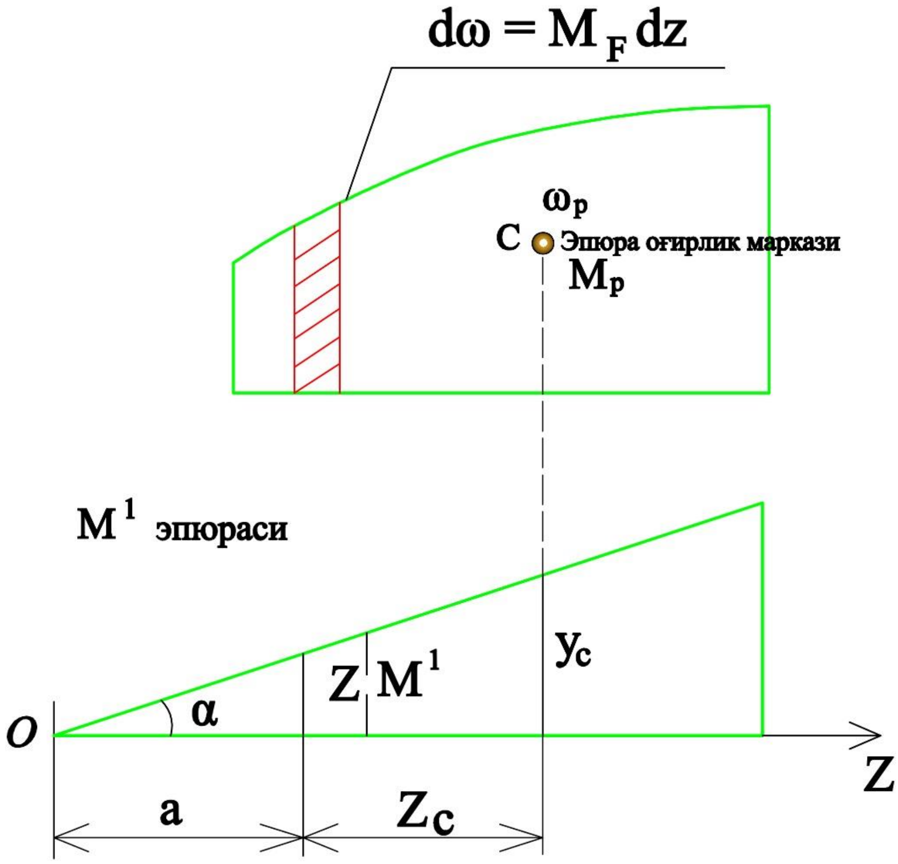
$M^1 = (z+ a) \,\mathrm{tg}\alpha$

M_R epyurasi egri chiziqli yoki to’g’ri chiziqli bo’lishi mumkin.

$M^1 = f(z)$ ifodani Mor integraliga qo’yib, quyidagini olamiz:

$$\frac{1}{EJ}\int_0^\ell M_P M^1\, dz=\frac{1}{EJ}tg\alpha\int_0^\ell (z+a)M_P\, dz$$

Bu erda $M_P\, dz$ ko’paytma M_R epyurasidagi ω yuza differensiali, ya’ni $M_P\, dz$ $= d\omega$, $\int_0^e (z+a)d\omega - M_P$ epyurasi yuzasining u o’qiga nisbatan statik momenti.



Ikkinchi tomondan statik moment kesim og'irlik markazidan o'qqacha bo'lgan masofani yuzaga ko'paytmasiga teng, ya'ni $\int (z+a)\,d\omega = \omega(z_c + a),$ bu erda z_c – M_P epyurasi og'irlik markazidan u_s o'qigacha bo'lgan masofa.

Shunday qilib $\int_0^\ell M_p M_1\, dz = (z_c + a)\,\omega tg\alpha$

$(z_c + a)$ $tg\alpha = u_S$, ya'ni M_R epyurasi og'irlik markazi ostidagi M^1 epyurasi ordinatasi. Demak

$$\int_0^\ell M_P M_1\, dz = \omega\, y_c$$

Bu erda ω - birinchi epyura yuzasi. u_s - birinchi epyura og'irlik markazi ostidagi ikkinchi epyura ordinatasi.

Bu qoida cho'zilish-siqilish va buralishdagi ko'chishlarni aniqlashda ham o'rinli

$$\int_0^\ell N^p N^1\, dz = \omega y_c; \qquad \int_0^\ell M_б^p M_б^1 dz = \varpi \cdot y_c$$

Mor integralini ushbu usulda ochishga odatda epyuralarni ko’paytirish (ba’zan biriktirish) deb ataladi. Ko’paytirilayotgan epyuralar ikkisi ham to’g’ri chiziqli bo’lganda, ixtiyoriysi yuzini hisoblash mumkin, epyuralardan biri egri chiziqli bo’lgan holda, albatta shu epyura yuzasi topiladi. Agar ikkala epyura ham o’qning bir tomonida joylashgan bo’lsa, ular ko’paytmasi musbat, ya’ni ko’chish yo’nalishi birlik kuch yo’nalishi bilan bir xil, agar turli tomonda bo’lsa, ko’paytirish natijasi manfiy bo’ladi.

Shunday qilib, Vereshchagin qoidasi yordamida Mor usulida ko’chishlarni aniqlash uchun quyidagilarni bajarish kerak:

1. Tashqi yuk ta’siridagi ichki kuchlar epyurasi quriladi.

2. Ko’chishi aniqlanayotgan nuqtaga yo’nalishi ko’chish bilan bir xil birlik

kuch qo’yilib, birlik kuch ta’siridagi ichki kuchlar epyurasi quriladi.

3. Har bir uchastka uchun epyuralar biri (ω) yuzi, epyura og’irlik markazi

holati aniqlanadi hamda birinchi epyura og’irlik markazi ostidagi ikkinchi epyura u_s ordinatasi topiladi.

4. Izlanayotgan ko’chish quyidagi ifodalardan aniqlanadi:

$\Delta = \Sigma \dfrac{\omega \cdot y}{EJ}$ Egilishda

$\Delta = \Sigma \dfrac{\omega \cdot y}{EF}$ cho’zilish va siqilishda

$\Delta = \Sigma \dfrac{\omega \cdot y}{J_к G}$ buralishda

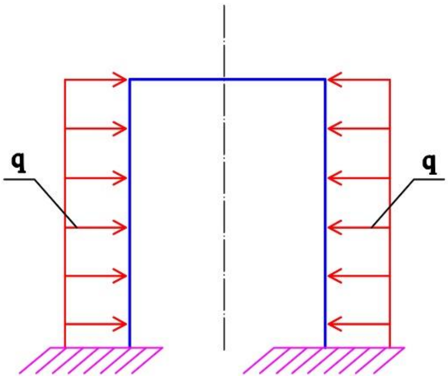
Bu yerdagi «Σ» belgisi epyuralarni ko’paytirish har bir uchastka bo’yicha alohida o’tkazilib, natija qo’shilishini bildiradi. Tashqi yuklama va birlik kuch epyuralari uchastkalar chegaralari bir xil bo’lishi lozim. Vereshchagin qoidasi asosida Mor integrali hisoblanadi.

Vereshchagin usuli kuchlanishlarni aniqlashda energetik usullarda Kostilyano teoremasi Mor integrali kamchiliklarni to’ldiruvchi usul Vereshchagin usulidir. Mor integralida hisoblarni kamaytirish maqsadida Nyuton Leybnets formulasiga asosan yuzalarni aniqlash geometrik usullarni qo’llaymiz.

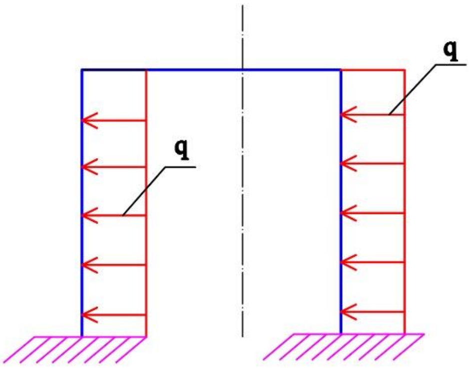
$$\delta = \sum_{i=1}^{n} \frac{\varpi_i \eta_i}{E_i I_{xi}}$$ – Vereshagen formulasi.Bu erda $\delta -$kuchish; $\varpi -$ tashki kuchlardan olingan momentlar yuzasi; $\eta -$birlik kuchdan olingan momentlar yuzasi; ϖ_i - yuzasi og'irlik markaziga mos keluvchi ordinata; $EI -$egilishdagi bikrlik.

Simmetrik va qiyshiq simmetrik sistemalarga kuch usulini qo'llanilishi.

Sistemalarning simmetriya o'qida bir tomonda yotgan nuqtalarning koordinatalari ikkinchi tomonda yotgan nuqta koordinatalariga mos kelsa va kuchlar yo'nalishi ustma-ust tushsa simmetrik sistemalar deyiladi. Sistemaning har ikkala tomonidagi nuqta koordinatalari simmetriya o'qiga qarama-qarshi bo'lsa qiyshiq simmetrik sistemalar deyiladi.



Simmetrik sistema



Qiyshiq simmetrik sistema.

Tekis shakl egilishi ustuvorligini yuqorida ko'rib o'tilgan ustuvorlikni yo'qolish hollaridan tashqari yana tekis shakl egilishidagi ustuvorlik yo'qolish holati ham mavjud. U amalda inertsiya bosh momentlari bir-biridan keskin farq qiluvchi, moment ta'sir tekisligi inertsiya momenti eng katta o'q bo'ylab o'tadigan balkalarda hosil bo'ladi.

Bunday balkalarga xarakterli misol sifatida balandligiga nisbatan kesim eni 5 - 10 marta kichik bo'lgan to'g'ri to'rtburchak kesimli, qo'shtavr prokat yoki birikmali (payvandlangan yoki parchinlangan) balkalarni keltirish mumkin. Oxirgilarda ba'zan eng katta bikrligi eng kichik bikrligidan 10-50 marta katta bo'ladi.

Bunday balkalarda tekis shakl egilishi ustuvorligini yo'qotishi uning siqilgan qismi – belbog'i va (vertikal listning) yarim devori yuk ma'lum bir qiymatga yetganda ustuvorligini yo'qotib bir tomonga ezilishdan iborat. Yuk qo'yilgan kesim oshishi natijasida odatda balka buziladi. Amalda balka ustuvorligini yo'qotishi uning yon bikrligi kamligi sababli ro'y beradi.

Tekis shaklning egilishdagi ustuvorligi balka ko'ndalang kesimi o'lchamlari (belbog' va devor)ga va balka uzunligiga bog'liq bo'ladi. Tekis ko'ndalang egilishdagi balkalar ustuvorligini saqlash uchun uning uzunligiga qo'shimcha tirgaklar qo'yish yoki balkalar o'rtasiga qo'shimcha bog'lanishlar qo'yiladi.

Tekis shakl egilishdagi ustuvorligi masalasiga plastinka va qo'shtavrli balkalarni hisoblash masalasi (plastinka yoki balka) o'zining egilishdagi tekis shaklini yo'qota boshlaydigan R_k kritik kuchni aniqlashdan iborat.

Nazorat savollari

1. Ko'chishlar Mor usuli bilan qanday aniqlanadi?
2. Mor integrali nimani aniqlaydi?
3. Vereshchagin usuli qanday usuldir?
4. Tekis shaklning egilishda ustuvorligi nima?

12-Mavzu: Tekis egilish deformatsiyasi

Reja:

1. Tekis ko'ndalang egilish
2. Eguvchi moment va uning ishoralari
3. Ko'ndalang kuch va ishoralari
4. Eguvchi moment ko'ndalang kuch va yoyilgan kuchlar orasidagi differensial bog'lanishlar
5. Ichki zo'riqish kuchlari epyuralari

Tayanch so'z va iboralar: *Tekis, egilish, eguvchi moment, ko'ndalang kuch, tekis, deformatsiya, ichki, zo'riqish, epyura, passiv, statika va muvozanat.*

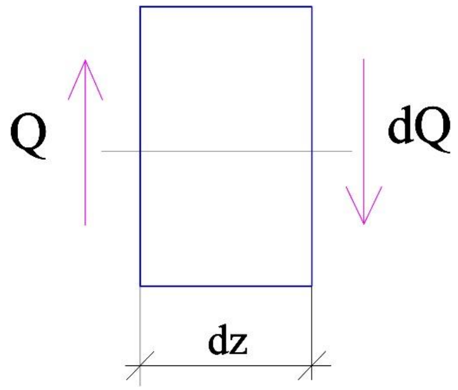
1. Brus kesimlarida eguvchi moment hosil bo'lgan deformatsiya egilish deyiladi. Hech bo'lmaganda bitta simmetriya o'qiga ega bo'lib tashqi kuchlar shu tekislikda yotsa tekis to'g'ri egilish deyiladi.

Agar tashqi kuchlar simmetriya o’qidan tashqarida bo’lsa, qiya egilish deyiladi.

2. Ixtiyoriy ko’ndalang kesimda eguvchi moment hayolan kesib qoldirilgan qismiga qo’yilgan barcha tashqi kuchlardan kesimga nisbatan olingan statik momentlarning algebraik yig’indisiga teng. Tashqi kuch ta’siridan to’sin o’qi botiq holatda egilsa musbat ishorada, qavariq holatda egilsa manfiy ishorada olinadi.

3. Ixtiyoriy kesimda ko’ndalang kuch Q hayolan kesib qoldirilgan qismga qo’yilgan barcha kuchlarning kesimda o’tkazilgan vertikal o’qqa proyeksiyalarning algebraik yig’indisiga teng. Agar kesim o’qi tashqi kuch ta’siridan soat strelkasi bo’yicha aylansa kesuvchi kuch musbat, qarama-qarshi yo’nalishida aylansa manfiy ishorada olinadi.

4. M, Q, q orasidagi defferensial bog’lanishlar.



$Q + dQ$
$M + dM$

5. Kesimda ajratilgan element uchun muvozanat tenglamalarini tuzamiz:

$$\sum y = 0; \quad qdz - dQ = 0$$

$$\sum M = 0; Q \cdot dz - dM = 0$$

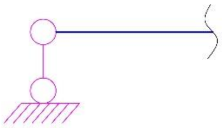
bu erda $$q = \frac{dQ}{dz}; \quad Q = \frac{dM}{dz}$$

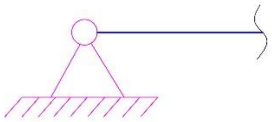
Differensial bog’lanishdan q kelib chiqadi:

$$\frac{d^2M}{dz^2} = \frac{dQ}{dz} = q$$

6. Tekis egilishdan eguvchi moment va ko’ndalang kuch hosil bo’lsa tekis ko’ndalang egilish deyiladi. Ko’ndalang egilish deformatsiyasida ichki zo’riqish kuchlari epyuralarni qurish uchun berilgan sistemadagi passiv tashqi kuchlarni

Statikaning muvozanat tenglamalaridan aniqlaymiz. Tekislikda quyidagi tayanch turlari mavjud.

1  - sharnirli qo'zg'aluvchi tayanch.

2  - sharnirli qo'zg'almas tayanch.

3  - qistirib mahkamlangan tayanch

Egilish deformatsiyasidan ichki zo'riqish kuchlarining epyuralarini qurish uchun quyidagi tartibga rioya qilamiz.

1) Statikaning muvozanat tenglamasidan tayanch reaksiya kuchlarini aniqlaymiz.

2) Ichki zo'riqish kuchlarining o'zgarishiga qarab uchastkalarga ajratamiz.

3) Har bir kesimdagi ichki zo'riqish kuchlarining analitik ifodasini topamiz.

4) Ichki zo'riqish kuchlarining balka o'qi bo'ylab o'zgarish grafigini epyurasini quramiz.

Nazorat savollari

1. Statikaning muvozanat tenglamasidan tayanch reaksiya kuchlarini aniqlang?
2. Ichki zo'riqish kuchlarini ayting?
3. Tekis ko'ndalang egilish deb nimaga aytiladi?
4. Qiya egilish deb nimaga aytiladi?

13 – Mavzu: Sof egilish. Egilishda mustahkamlikni hisoblash

Reja:

1. Sof egilish
2. Neytral qatlam va neytral o'q
3. Egilishda normal kuchlanish

4. Egilishda urinma kuchlanish
5. Plastik materiallar uchun egilishda mustahkamlik sharti
6. Mo’rt materiallar uchun egilishda mustahkamlik shartlari
7. Egilishda mustahkamlikni hisoblash

Tayanch so’z va iboralar: *Sof egilish, to’sin, ko’ndalang kesim, deformatsiya, tekislik, tolalari, cho’zilish, siqilish, siqiluvchi zona, neytral qatlam va o’q.*

1. To’sin ko’ndalang kesimlarida ichki zo’riqish kuchlaridan faqat eguvchi moment hosil bo’lsa, sof egilish deyiladi. $Q=0,\quad M=const.$ sof egilish sharti.

2. Sof egilishidan to’sinning ko’ndalang kesimlari deformatsiyadan keyin ham tekisligicha qoladi. Uni tashkil etuvchi tolalari oddiy cho’zilish yoki siqilishga ishlaydi. To’sin 2 zonaga ajratiladi. 1 cho’ziluvchi zona. 2 siqiluvchi zona.bu zonalar chegarasi neytral qatlam deyiladi. Neytral qatlam bilan ko’ndalang kesimning kesishish chizig’i Neytral o’q deyiladi. Neytral o’qda normal kuchlanish $\sigma=0$ ga teng.

Guk qonuniga asosan: $\sigma=E\cdot\varepsilon$; $\sigma=E\cdot\frac{Y}{\rho}$, *r*- egrilik radiusi. Muvozanat shartlariga ko’ra: $\frac{1}{\rho}=\frac{M}{EJ_x}$

bu yerda M —eguvchi moment; EJ_x — egilishdagi birlik.

Egilishdan ixtiyoriy nutasining kuchlanishi quyidagicha aniqlanadi.

$\sigma=\frac{M\cdot y}{J_x}$ bu yerda: *u* – aniqlash kerak bo’lgan nuqtaning ordinatasi.

J_x — x o’qiga nisbatan kesimning inertsiya momenti.

4. Ko’ndalang egilishdan normal kuchlanishlardan tashqari urinma kuchlanishlar hosil bo’ladi. Urinma kuchlanishlar ko’ndalang kuch Q hisobiga hosil bo’ladi.

$$\tau = \frac{Q_x \cdot S_x}{J_x \cdot b}$$

bu yerda Q_x – ko’ndalang kuch; S_x – ajratilgan kesimning markaziy o’qqa nisbatan statik momenti; J_x, x – o’qiga nisbatan inerstiya momenti; b – kesimning ko’ndalang o’lchami egilishda kesimlarda hosil bo’ladigan eng katta urinma kuchlanishlarning Juraviskiy formulasidan topiladi.

$$\tau_{\max} = \frac{Q_{\max} \cdot S_x}{J_x \cdot b}$$

5. Egilish deformatsiyasidan normal kuchlanishlar, urinma kuchlanishlarga qaraganda ancha ko’p hosil bo’lgaligi uchun ko’p hollarda mustahkamlik normal kuchlanishlar bo’yicha hisoblanadi.

Plastik materiallar uchun mustahkamlik sharti quyidagicha.

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} \cdot y_{\max}}{J_x} \le [\sigma] \quad \text{yoki} \quad \sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x} \le [\sigma]$$

J_x, x — o’qiga nisbatan kesimning inertsiya momenti; $y_{\max}$ – kesim o’qi bo’yicha eng chekka nuqtasigacha bo’lgan masofa.

$W_x = \dfrac{J_x}{y_{\max}}$, x – o’qiga nisbatan kesimning qarshilik momenti.

$[\sigma]$ — balki materiali uchun ruxsat etilgan kuchlanish.

6. Mo’rt materiallarning cho’zilishga nisbatan siqilishga chidamliligi katta bo’lganligi uchun mustahkamlik shartlari quyidagicha bo’ladi.

$(\sigma_{\max})_c = \dfrac{M_{\max} \cdot (y_{\max})_c}{J_x} \le [\sigma_c]$ siqilish tolalari uchun.

$(\sigma_{\max})_ч = \dfrac{M_{\max} \cdot (y_{\max})_ч}{J_x} \le [\sigma_ч]$ cho’zilish tolalari uchun.

$M_{\max}$ – xavfli kesimdagi eguvchi moment qiymati.

$\left(y_{махч}\right)_c$ – siqilish zonasidagi kesimning markaziy o'qdan eng chekka nuqtasigacha bo'lgan masofa.

$[\sigma]_c$ – siqilish zonasi uchun ruxsat etilgan normal kuchlanish.

$\left(y_{махч}\right)_ч$ – cho'zilish zonasidagi markaziy o'qdan eng chekka nuqtasigacha bo'lgan masofa $[\sigma]_ч$ – cho'zilish zonasi uchun ruxsat etilgan normal kuchlanish.

7. Egilishda mustahkamlikka hisoblash bo'yicha.

A) Ruxsat etilgan o'lchamni aniqlash.

B) Ruxsat etilgan chekkani aniqlash.

V) To'sin kesimlarida hosil bo'ladigan maksimal kuchlanishni aniqlash.

A) $W_x \ge \frac{M_{\max}}{[\sigma]}$ B) $M_{\max} \le W_x \cdot [\sigma]$

V) $\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x}$

Nazorat savollari

1 Sof egilish deganda nimani tushunasiz?

2. Neytral qatlam va neytral o'qni tushuntiring?

3. Egilishda normal kuchlanish bo'ladimi?

4. Egilishda urinma kuchlanishni tushuntiring?

5. Egilishda mustahkamlikni hisoblash deganda nimani tushunasiz?

14-Mavzu: Egilish deformatsiyani analitik usulda hisoblash

Reja:

1. Egilish deformatsiyasi
2. Salqilik va burchakli ko'chish orasidagi differensial bog'lanish
3. To'sin egilgan o'qining differensial tenglamasi
4. Integrallash o'zgarmaslari va ularni aniqlash. Chegaraviy shartlar
5. To'sin egilgan o'qining universal tenglamasi

Tayanch so'z va iboralar: *To'sin, ko'ndalang, salqilik, og'irlik, buralish burchagi, differensial, bog'lanish, egilishdagi bikrlik,* *qistartirilib mahkamlangan, uzunlik va kuch.*

1- 2- Cho'zilish va buralishga nisbatan egilishdagi deformatsiyaning xususiyati shundan iboratki, deformatsiyagacha to'g'ri chiziqdan iborat bo'lgan sterjen o'qi egiladi, nuqtalari esa o'q boshlang'ich holatiga tik yo'nalishda ko'chadi, ko'ndalang kesim esa biror burchakka buriladi. Deformastiyalangan sterjenning bo'ylama o'qi elastik chiziq deyiladi. Egilishda balka o'qi uzunligi o'zgarmaydi, chunki *u* neytral qatlamda joylashadi, hamda bu qatlamdagi normal kuchlanishlar nolga teng bo'ladi.

Balka o'qi egilishiga faqat salqilik emas, balki o'q nuqtalarining gorizontal bo'ylab siljishi ham sababchi bo'ladi. Siljishlar, nafaqat balka uzunligi, salqilikka nisbatan ham juda kichik bo'lgani uchun hisoblashlarda ular e'tiborga olinmaydi.

Agar deformatsiya vaqtida o'qqa tegishli nuqtalar yuqoriga siljisa balka salqiligini (o'q salqiligi) musbat deb olamiz. Buralish burchagi φ ni musbat deymiz, agar deformatsiyada ko'ndalang kesimlar soat strelkasi yo'nalishiga qarshi burilsa. Balka salqiligi uzunlik o'lchovi birliklarida (*sm*, *mm*, va hokazo), ko'ndalang kesim burilish burchagi esa radianlarda o'lchanadi. Juravskiy differensial bog'lanishlari bilan solishtirib, o'zgarmas ko'ndalang kesimli sterjen uchun bir qator differensial bog'lanishlar olamiz

$$\phi=\frac{dy}{dz}, \quad M=EJ_x\frac{d^2y}{dz^2}, \quad Q=EJ_x\frac{d^3y}{dz^3}, \quad q=EJ_x\frac{d^4y}{dz^4} \qquad (*)$$

Ushbu tenglamalardan shunday xulosa chiqarish mumkin: agar egilishdagi balkaga moment ta'sir qilsa, elastiklik chizig'i ikkinchi tartibli egri chiziq, bir nuqtada ta'sir etuvchi ($q = 0$, $Q = const$) kuch ta'sir etsa, uchinchi tartibli chiziq, tekis taqsimlangan kuch ($q = const$) ta'sir etsa, to'rtinchi tartibli egri chiziqdan iborat bo'lar ekan.

Sterjen elastiklik chizig'i koordinatalari, ya'ni $y=f_1(z),\ \varphi=f_2(z)$ bog'lanishlarni topish uchun balka o'qi asosiy differensial tenglamalarini (*) integrallash kerak M_x - ichki kuchlar eguvchi momenti *z* funksiyasi bo'ladi.

(egilishdagi bikrligi $EJ = const$ bo'lgan sterjenlar uchun) integrallash natijasida $\frac{dy}{dz}=\int M_x(z)\,dz+C$ yana bir marta integrallasak,

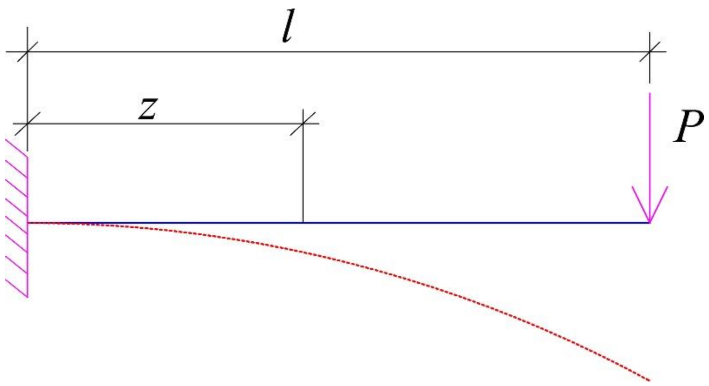
$$y=\int\left(\int M_x(z)\,dz\right)+Cz+D$$

bu erda S va D - integral o'zgarmaslari $\frac{dy}{dz}=\varphi$, $\frac{d^2y}{dz^2}=\frac{M}{EJ_X}$ ekanligini hisobga olib egiluvchi sterjen salqiligi va burilish burchagi tenglamasini olamiz

$$\left.\begin{aligned} \phi &= \frac{1}{EJ}\left[\int M_x(z)\,dz + C\right] \\ y &= \frac{1}{EJ}\left[\int dz \int M_x(z)\,dz + Cz + D\right] \end{aligned}\right\}$$

Masalalarni amalda yechishda *S* va *D* integral o'zgarmaslari sterjen mahkamlash shartidan aniqlanadi.

O'q nuqtalarining ko'chishi salqilik deb ataladi va *«u»* yoki Δ bilan belgilanadi, deformatsiyalanmagan o'q bilan deformatsiyalangan o'qqa o'tkazilgan urinma orasidagi burchakka burilish burchagi deyiladi va φ yoki θ orqali belgilanadi,. Deformatsiya natijasida to'sinning ko'ndalang kesimi qandaydir burchakka buriladi. Bu burchak, buralish burchagi deyiladi va tetta θ harfi bilan belgilanadi.



$$tg\theta = \frac{Y}{Z}$$

To'sin uzunligiga nisbatan burilish burchagi ancha kichik bo'lganligi sababli $tg\theta \approx \theta$ deb olamiz.

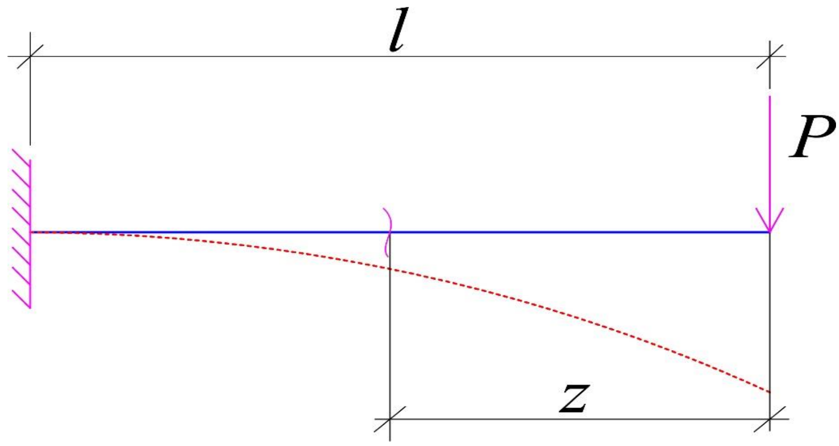
Salqilik bilan burilish burchagi orasidagi differensial bog'lanish.

3. $y = y(z)$ salqilik tenglamasini tuzish uchun to'sin deformatsiyasini tashqi kuch bilan quyidagicha bog'laymiz.

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EJ_x} \qquad\qquad \frac{1}{\rho} = \pm\frac{y^{II}}{\sqrt{\left[1+\left(y^{II}\right)\right]^3}}$$

$y^1 = \theta$ juda kichik 0 ga yaqinligi uchun $\frac{1}{\rho} = y^{II}$ shunga teng bo'ladi $y^{II} = \frac{M}{EJ_x}$

To'sin egilgan o'qining differensial tenglamasi. Bu erda M - eguvchi moment; $EJ_x -$ egilishdagi bikrlik.



Bir uchi qistirilib mahkamlangan ℓ uzunlikdagi to'sinning erkin uchiga R kuch qo'yilgan.

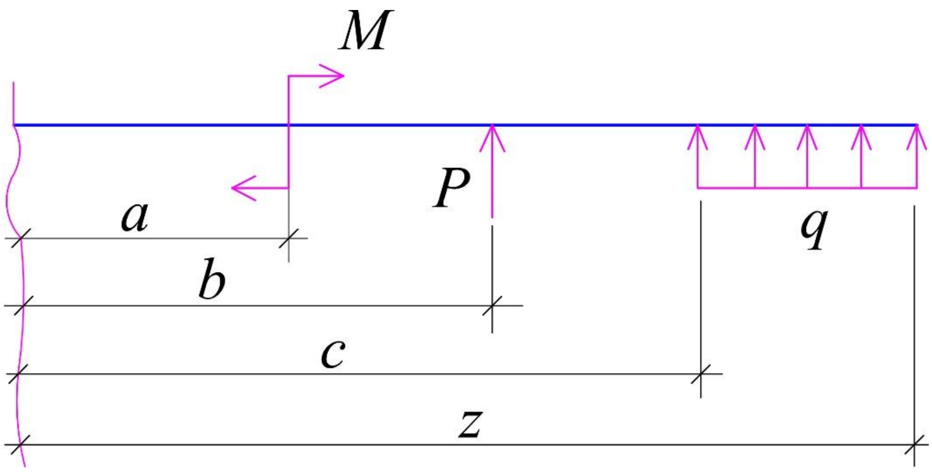
R kuch qo'yilgan nuqtaning salqiligi va burilish burchagi aniqlansin. Ixtiyoriy Z kesim uchun eguvchi moment quyidagicha bo'ladi. $M = P \cdot z$ to'sin egilgan o'qning differensial teoremasiga qo'yamiz. $y^{II} = -\frac{P \cdot z}{EJ_x}$ Z bo'yicha bir marta integral o'zgarmaslari bo'lib, chegaraviy shartdan foydalanib topiladi. Chegaraviy shartlar.

$$z = 0 \text{ da } y^I = 0, \quad \frac{p\ell^2}{2EJ_x} + c = 0, \quad c = \frac{P\ell^2}{2EJ_x}.$$

$$z = \ell \text{ da } y^I = 0, \quad -\frac{Pl^3}{6EJ_x} + \frac{Pl^2}{2EJ_x} \cdot l + D = 0, \; D = -\frac{P\ell^3}{3EJ_x}.$$

To'sin egilgan o'qining universal tenglamasi ko'p uchastkali to'sinlarga deformatsiya tenglamasi har bir uchastkasi uchun qo'llangan holda keltirib chiqarilgan universal tenglamadan foydalanamiz.

To'singa ta'sir etuvchi barcha kuchlarni musbat yo'nalishda qaraymiz.



$$EJ_x y = EJ_x y_0 + EJ_x \theta_0 z + \sum M\frac{(z-a)^2}{2} + \sum \frac{P(z-b)^3}{6} + \sum q\frac{(z-c)^4}{24}$$

0 – boshlang’ich nuqta.

a, b, c – koordinata boshidan kuch qo’yilgan nuqtalargacha bo’lgan masofalar.

$y_0, \theta_0 -$ boshlang’ich nuqtaning salqiligi va burilish burchagi bo’lib chegaraviy shartlardan foydalanib topiladi.

Nazorat savollari

1. Salqilik tenglamasi qanday tuziladi?
2. To’sin egilgan o’qining differensial tenglamasini yozing?
3. Buralish burchagi deb nimaga aytiladi?
4. Boshlang’ich nuqtaning salqiligi deb nimaga aytiladi?

15-Mavzu. Qiya kesimlardagi kuchlanishlar. Tekis kuchlanganlik holati. Mor usuli

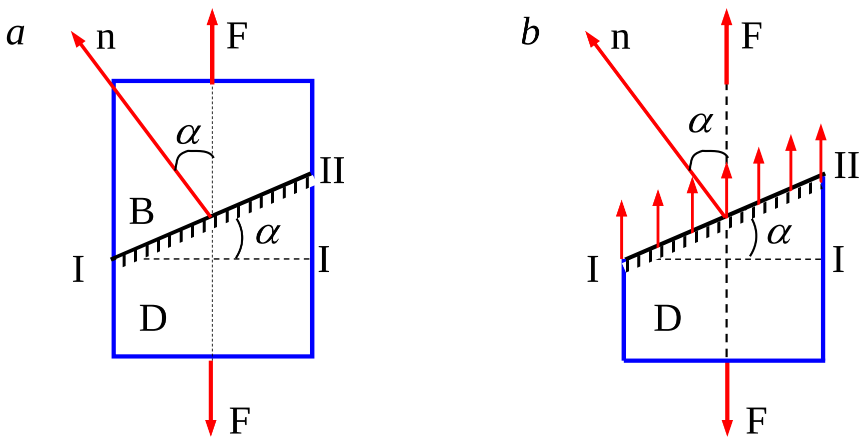
Reja:

1. Cho’zilgan - siqilgan sterjenlar
2. Sterjenning ko’ndalang kesim yuzi
3. Qiya tekislikda kuchlanishlar

Tayanch so’z va iboralar: *Cho’zilgan, siqilgan, sterjenlar, ko’ndalang, kesim, yuzi, qiya, tekislik, kuchlanish, taqsimlangan, tolalari va formula.*

Cho’zilgan yoki siqilgan sterjen materialining tashqi kuchlar ta’siriga yetarlicha qarshilik ko’rsatishini bilish uchun uning faqat ko’ndalang kesimlaridagi normal kuchlanishlarni aniqlashgina kifoya qilmaydi, balki sterjenning turli qiya kesimlaridagi kuchlanishlarni ham topish zarur bo'ladi.

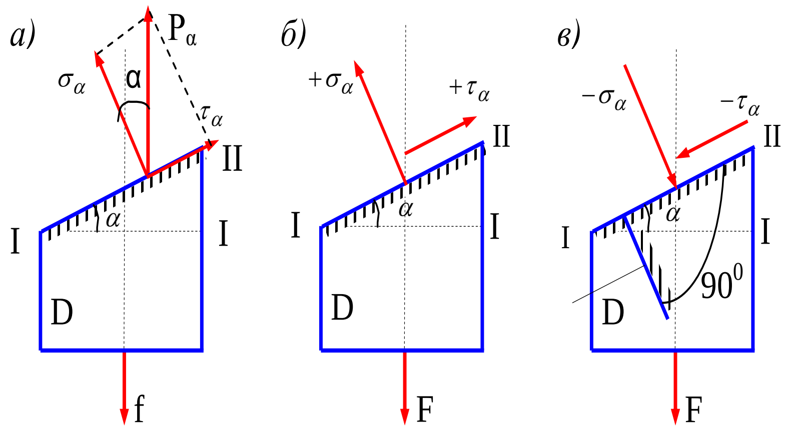
Cho'zilgan sterjenning ko'ndalang I-I kesimi bilan α burchak hosil qiluvchi I-II qiya tekislik yordamida kesib ikki qismga ajratamiz. (a). Pastki D qismini olib qolib (b), uning muvozanatini tekshirish natijasida I-II qiya kesimida hosil bo'ladigan kuchlanishlarni aniqlaymiz. Qiya kesimning tashqi 0n normali sterjen o'qi bilan ham α burchak hosil qiladi. Agar burchak sterjen o'qiga nisbatan soat strelkasi yurishiga teskari yo'nalsa, bunday yo'nalishni musbat deb hisoblaymiz. Sterjenning qoldirilgan D qismining I-II tekislikka tik o'tkazilgan 0n tik chizig'i shu kesimning normali deyiladi. Sterjenning I-I ko'ndalang kesim yuzini A, I-II qiya kesim yuzini esa A_α bilan belgilaymiz.



Sterjenning tashlab yuborilgan B qismining qolgan D qismiga ta'sirini p_α kuchlanish orqali belgilaymiz (b), qoldirilgan qism muvozanatda bo'lishi uchun bu kuchlanish F kuchga paralel yo'nalgan bo'lishi kerak.

U I-II qiya yuzaga tik yo'nalmagan bo'ladi, uning miqdori ham ko'ndalang kesim yuzining kuchlanishidan boshqacharoq bo'ladi. Bu kuchlanish qiya kesim yuzi bo'yicha tekis taqsimlangani uchun (chunki sterjenning tolalari bir xilda cho'ziladi) uning qiymati quyidagi formuladan topiladi:

$$p_\alpha = \frac{F}{A_\alpha}.$$



Ammo $A_\alpha = A/\cos\alpha$ ekanligini e'tiborga olib kuchlanishni quyidagicha ifodalaymiz:

$$p_\alpha = \frac{F}{A_0}\cos\alpha = \sigma\cos\alpha\,.$$

bunda $\sigma = F / A$ ko'ndalang kesimning normal kuchlanishi.

α burchak o'zgarganda to'la kuchlanish p_α ning miqdori ham o'zgaradi. α burchakning har qanday qiymatida ham kuchlanishlar faqat normal va urinma bo'lishi uchun p_α kuchlanishini qiya yuzaga tik va unga parallel tuzuvchilarga ajratamiz (a).

Shunday qilib, I-II tekislikdagi biror nuqtaga ta'sir qiluvchi to'la kuchlanish p_α bir-biriga tik bo'lgan normal σ_α va urinma τ_α kuchlanishlarga ajratish mumkin:

$$\sigma_\alpha = p_\alpha \cos_\alpha = \sigma\cos^2\alpha, \quad \tau_\alpha = p_\alpha \sin\alpha = \sigma\sin\alpha\cos\alpha = \frac{1}{2}\sigma\sin 2\alpha.$$

Agar tashqi normalni urinma kuchlanish yo'nalishiga tomon qaratish uchun uni soat strelkasi yurishiga qarab burishga to'g'ri kelsa, urinma kuchlanishning qiymati musbat, aks holda esa manfiy deb hisoblanadi (b,d).

Qaralayotgan yuzaga $\alpha_1 = 90^0 + \alpha$ perpendikulyar bo'lgan yuzada urinma va normal kuchlanishlar quyidagiga teng bo'ladi:

$$\sigma'_\alpha = \sigma\cos^2\left(90^0 + \alpha\right) = \sin^2\alpha, \quad \tau'_\alpha = \frac{1}{2}\sigma\sin 2\left(90^0 + \alpha\right) = -\frac{1}{2}\sigma\sin 2\alpha.$$

Yuqoridagi formulalardan quyidagi xulosalar kelib chiqadi:

1) $\alpha = 0^0$ bo'lsa $\cos\alpha = 1$ bo'lib normal kuchlanish eng katta qiymatga erishadi $\sigma_\alpha = \sigma_{\max} = \sigma$;

2) $\alpha = \pm 45^0$ bo'lsa $\sin 2\alpha = \pm 1$ bo'lib urinma kuchlanish eng katta qiymatga erishadi $\tau_\alpha = \tau_{45^0} = \tau_{\max} = \frac{1}{2}\sigma$;

3) $\alpha = 90^0$ bo'lsa urinma va normal kuchlanishlar $\tau_\alpha = \tau_{90^0} = 0$, $\sigma_\alpha = \sigma_{90^0} = 0$ nolga teng bo'ladi;

4) o'zaro perpendikulyar yuzalarda normal kuchlanish turli qiymatlarga ega bo'lib ularning yig'indisi o'zgarmas miqdor:

$$\sigma_\alpha + \sigma'_\alpha = \sigma\cos^2\alpha + \sigma\sin^2\alpha = \sigma.$$

5) o'zaro perpendikulyar yuzalarda urinma kuchlanish qiymatlar teng bo'lib ular qarama-qarshi yo'nalgan:

$$\tau_\alpha = -\tau'_\alpha$$

bu formula urinma kuchlanishlarning qarama-qarshilik qonuni deb ataladi.

Nazorat savollari

1.Qiya yuzalarda urinma kuchlanish haqida gapirib bering?

2.Qiya yuzalarda normal kuchlanish haqida gapirib bering?

3.Urinma kuchlanishlarning qarama-qarshilik qonuni deb nimaga aytiladi?

16-Mavzu: Elastik jism nuqtasining kuchlanish holati

Reja:

1. Nuqtaning kuchlanish holati
2. Kuchlanish komponentlari
3. Urinma kuchlanishlarning juftlik qonuni
4. Ixtiyoriy holatdagi yuzada kuchlanishlarni aniqlash
5. Kuchlanishlar tenzori
6. Bosh yuzachalar va bosh kuchlanishlar
7. Invariantlar

Tayanch so'z va iboralar: *Kuchlanganlik, invariant, chiziqli, holati, bir o'qli, elastik, jism, ixtiyoriy, qiyalik, hajmiy, juftlik va qonun.*

1.2. Nuqtaning kuchlanish holati deb shu nuqta orqali o'tgan barcha yuzalarda paydo bo'ladigan kuchlanishlar to'plamiga aytiladi.Boshqacha aytganda, sterjen kesimlarida hosil bo'ladigan kuchlanishlarning miqdori va turi kesimning tashqi yuklamaga nisbatan joylashishiga bog'liq bo'lib, nuqtadan o'tuvchi kesimlardagi barcha normal va urinma kuchlanishlar birgalikda nuqtaning kuchlanish holatini ifodalaydi. Kuchlanish holatini tekshirish uchun ko'rilayotgan nuqta atrofidan 6 ta kesim o'tkazib to'g'ri burchakli elementar parallelepiped ajratamiz. Parallelepipedning barcha qirralari *A* nuqtadan o'tgani uchun, uning o'lchamlari kichraytirilsa u shu nuqtaga intiladi. Bu holda kesishuvchi tekisliklardagi kuchlanishlarni, tekshirilayotgan nuqtaga ta'sir qilayotgan kuchlanishlar deb qarash mumkin. Kesishuvchi yuzachalarda hosil bo'layotgan to'la kuchlanishni 3 ta tashkil etuvchilarga ya'ni – bittasi yuzachaga normal bo'lgan-normal kuchlanishga, ikkitasini esa kesim tekisligida yotuvchi urinma kuchlanishlarga ajratish mumkin. Normal kuchlanishlarni mos *x, y, z* o'qlari bo'yicha σ_x, σ_y, σ_z *h*arflari bilan belgilaymiz. Urinma kuchlanishlarni ikkita indeksli (τ) harfi bilan belgilaymiz. Birinchi indeks yuzachaning qaysi o'qqa perpendikulyarligini ko'rsatsa, ikkinchisi τ vektor yo'nalishini ko'rsatadi. Agar ko'rilayotgan nuqta atrofidan shunday parallelepiped ajratish mumkin bo'lsaki, uning barcha qirralarida kuchlanishlar mavjud bo'lsa, bunday kuchlanish holati hajmiy yoki fazoviy kuchlanish holati deyiladi. Agar ajratilgan parallelepipedning ikkita qarama-qarshi qirralari kuchlanishdan holi bo'lsa, bunday kuchlanish holati tekis, to'rtta qarama-qarshi qirralari kuchlanishdan holi bo'lsa chiziqli kuchlanish holati deb ataladi. Masalan: suvning gidrostatik bosimi ostidagi jismda fazoviy kuchlanish holati hosil bo'ladi. Materiallar qarshiligida hajmiy yoki fazoviy kuchlanish holati deyarli amalda ko'rilmaganligi uchun, tekis kuchlanish holatini tekshiramiz. Chiziqli kuchlanish holat esa tekis kuchlanish holatining xususiy holidan kelib chiqadi. Tekis kuchlanish holatida kuchlanishlarni quyidagicha, faqat bitta indeks orqali ham belgilash mumkin, ya'ni $\tau_y = \tau_{zy}, \quad \tau_z = \tau_{yz}$

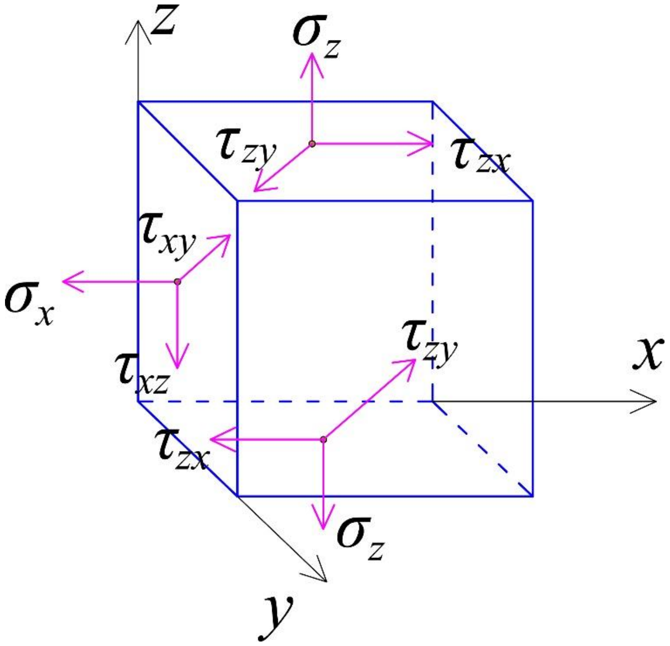
Kuchlanganlik holati odatda uch xil bo'ladi:

1.Agar $\sigma_1 \neq 0$, $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ bo'lsa bunday kuchlanganlik holati chiziqli yoki bir o'qli kuchlanganlik holati deyiladi.

2. $\sigma_1 \neq 0$, $\sigma_2 \neq 0$, $\sigma_3 = 0$ bo'lsa tekis yoki ikki o'qli kuchlanganlik holati deb yuritiladi.

3. Agar $\sigma_1 \neq 0$, $\sigma_2 \neq 0$, $\sigma_3 \neq 0$ bo'lsa hajmiy yoki uch o'qli kuchlanganlik holati deb yuritiladi.

Elastik jism nuqtasining kuchlanish holatini aniqlash uchun shu nuqta atrofida elementar parallelepiped ajratamiz.



$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ – normal kuchlanishlar.

$\tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yx}, \tau_{yz}, \tau_{zx}, \tau_{zy}$ - urinma kuchlanishlari. Bu normal va urinma kuchlanishlar komponentlari deyiladi.

3. Muvozanat tenglamalar tuzamiz.

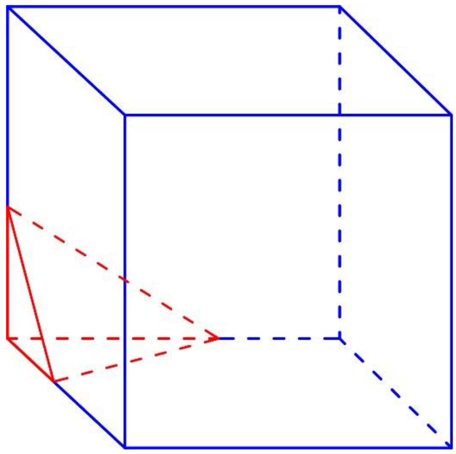
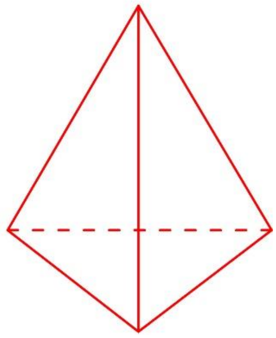
$$\sum X = 0, \quad \sum Y = 0, \quad \sum Z = 0$$

Bu tenglamalardan urinma kuchlanishlarning juftlik qonuni kelib chiqadi.

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

Urinma kuchlanishlar qiymati jihatidan o'zaro teng, yo'nalishi qarama-qarshi bo'ladi.

4. Ixtiyoriy qiyaliklardagi kuchlanish

ΔBCD yuzasi F

ΔACD yuzasi F_x

ΔABC yuzasi F_y

ΔABD yuzasi F_z

$$F_x = Fl, \qquad F_y = F \cdot m, \qquad F_z = F \cdot n.$$

$$l = \cos\left(X^\wedge \vartheta\right),\ m = \cos\left(x^\wedge \vartheta\right),\ n = \cos\left(z^\wedge \vartheta\right).$$

$l, m, n -$ yo’naltiruvchi kosinuslar. Muvozanat tenglamalarini tuzamiz

$$\sum X = 0, \quad x = \sigma_x F_x + \tau_{xy} \cdot F_y + \tau_{xz} \cdot F_z,$$
$$\sum Y = 0, \quad y = \tau_{yx} F_x + \sigma_y F_y + \tau_{yz} \cdot F_z,$$
$$\sum Z = 0, \quad z = \tau_{zx} F_x + \tau_{zy} F_y + \tau_z \cdot F_2.$$

$$\begin{cases} x = \sigma_{x\ell} + \tau_{xy} \cdot m + \tau_{xz} \cdot n \\ y = \tau_{yx} \cdot l + \sigma_y \cdot m + \tau_{yz} \cdot n \\ z = \tau_{zx} l + \tau_{zy} m + \sigma_z \cdot n \end{cases}$$

ixtiyoriy qiyalikdagi kuchlanishlar.

Bu tenglamalarning uchinchi tartibli matritsasi kuchlanishlar tenzori deyiladi.

$$T = \begin{pmatrix} \sigma_x . \tau_{xy} . \tau_{xz} \\ \tau_{yx} . \sigma_y . \tau_{yz} \\ \tau_{zx} . \tau_{zy} . \sigma_z \end{pmatrix}$$

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{xz} \tau_{yz} -$ kuchlanish komponentlari deyiladi.

6. Bosh yuzalar va bosh kuchlanishlarda ixtiyoriy qiyalikdagi urinma kuchlanishlar 0 ga teng bo’lib, normal kuchlanishlar ekstremal bo’lsa, bunday yuza bosh yuza deyiladi. Bosh yuza normali bosh o’q bo’ladi. Ekstremal kuchlanishlar bosh o’qlar bo’yicha yo’nalgan bo’lib, qiymati quyidagicha aniqlanadi.

$$X = \sigma \cdot l, \quad Y = \sigma \cdot m, \quad Z = \sigma \cdot n.$$

X, Y, Z larni ixtiyoriy qiyalikda hisobga olsak quyidagicha hisoblanadi.

$$\sigma \cdot l = \sigma_x \cdot l + \tau_{xy} m + \tau_{xz} \cdot n$$
$$\sigma \cdot m = \tau_{yx} \cdot l + \tau_y \cdot m + \tau_{yz} n$$
$$\sigma \cdot n = \tau_{zx} \cdot l + \tau_{zy} \cdot m + \sigma_x \cdot n$$

$$(\sigma_x - \sigma) l + \tau_{xy} \cdot m + \tau_{xz} \cdot n = 0$$
$$\tau_{yz} l + (\sigma_y - \sigma) m + \tau_{yz} \cdot n = 0$$
$$\tau_{zx} \cdot l + \tau_{zy} m + (\sigma_z - \sigma) n = 0$$

Bu erda $\sigma -$ bosh kuchlanishlar.

Bosh kuchlanishlarni aniqlash uchun 3-tartibli determinantni 0 ga tenglaymiz.

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

bu determinantdan kubik tenglama kelib chiqadi.

$$\sigma^3 - J_1 \sigma^2 + J_2 \sigma - J_3 = 0, \ \sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3.$$

Bosh kuchlanishlar uchun quyidagi munosabat o’rinlidir.

Bu erda $J_1, J_2, J_3 -$kuchlanishning invariantlari deyiladi.

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

$$J_2 = \sigma_x{}^2 + \sigma_y{}^2 + \sigma_z{}^2 - \tau_{xy} \ - \tau_{xz}{}^2 - \tau_{yz}{}^2, \ J_3 = \begin{vmatrix} \sigma_x \tau_{xy} \tau_{xz} \\ \tau_{yx} \sigma_y \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \tau_{zy} \sigma_z \end{vmatrix}$$

Nazorat savollari

1. Nuqtaning kuchlanish holati deb nimaga aytiladi?
2. Chiziqli (bir o’qli) kuchlanganlik holati deb nimaga aytiladi?
3. Tekis (ikki o’qli) kuchlanganlik holati deb nimaga aytiladi?
4. Hajmiy (uch o’qli) kuchlanganlik holati deb nimaga aytiladi?

17-Mavzu: Tekis kuchlanish holati

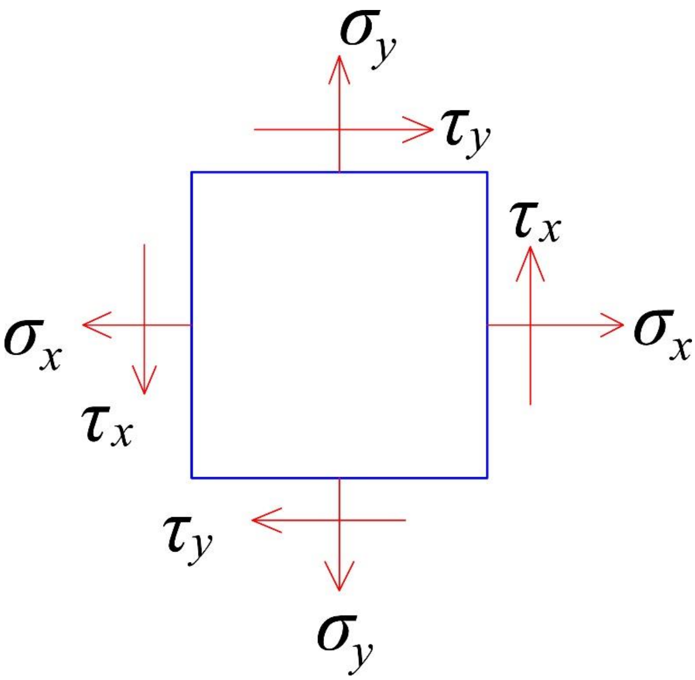
Reja:

1. Tekis kuchlanish holati
2. Tekis kuchlanish holati uchun qiya yuzadagi kuchlanishlar
3. Bosh yuzalar va ularning holati
4. Bosh kuchlanishlar
5. Ekstremal urinma kuchlanishlari
6. Mor doirasi

Tayanch so'z va iboralar: *Tekis, kuchlanish, holati, urinma, ifoda, ekstremal, bosh, yuzalar va qiya.*

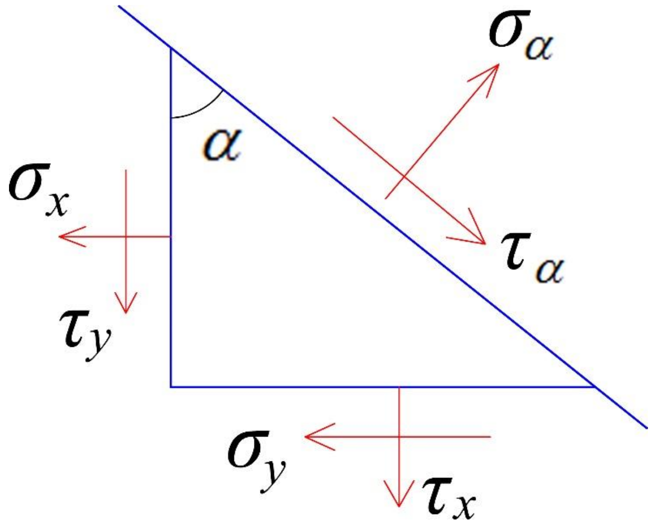
1. Nuqtaning kuchlanish holatida biror o'q bo'ylab kuchlanishlar 0 ga teng bo'lsa tekis kuchlanish holati $\tau_z = \tau_{zx} = \tau_{zy} = 0$ bo'ladi.

2. Tekis kuchlanish holatida α burchak ostidagi yuzachada quyidagi kuchlanishlar hosil bo'ladi.



$$\sigma_\alpha = \sigma_x \cos^2\alpha + \sigma_y \sin^2\alpha + \tau_{xy} \sin^2\alpha,$$

$$\tau_\alpha = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2x - \tau_{xy} \cos 2\alpha.$$



3. Tekis kuchlanish holatida shunday ixtiyoriy yuzacha mavjudki urinma kuchlanishlar 0 ga tengki, bu yuzada normal kuchlanishlar esa ekstremal qiymatga erishadi.

$$\tau_\alpha = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\sin 2\ \alpha_o - \tau_{xy}\cos 2\alpha_o = 0/:\cos 2\alpha,$$

$$tg\,2\alpha_o = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y}.$$

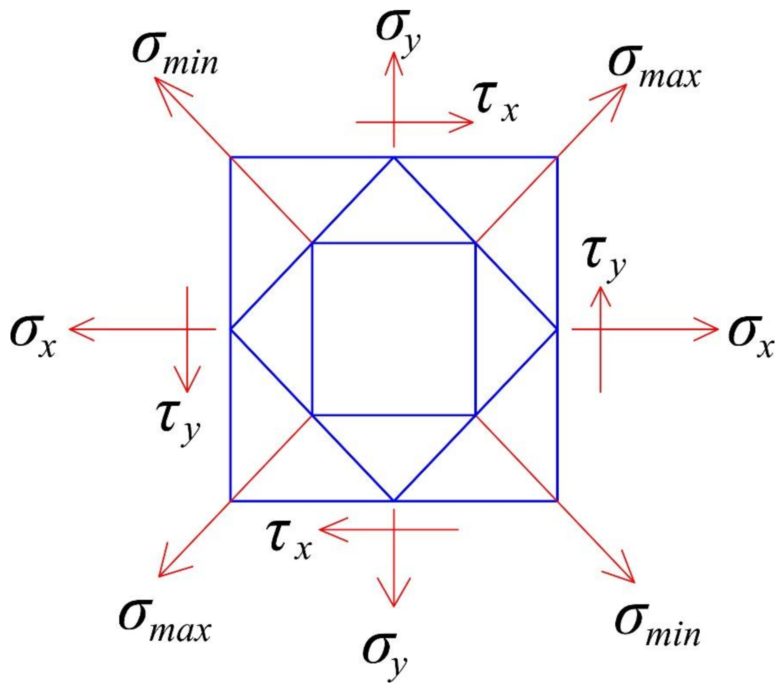
Urinma kuchlanishlar 0 ga teng bo’lgan yuzacha bosh yuzacha deyiladi. Yuqorida keltirib chiqarilgan ifoda bosh yuzacha holatini aniqlaydi.

4. Bosh yuzachalardagi kuchlanishlar bosh kuchlanishlar deyiladi va quyidagicha ifodalanadi.

$$\tau_{\frac{\max}{\min}} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \frac{1}{2}\sqrt{\left(\sigma_x - \sigma_y\right)^2 + 4\tau_{xy}{}^2}\,.$$

5. Bosh yuzachalarga 45^0 burchak ostidagi yuzachalarda ekstremal urinma kuchlanishlar hosil bo’ladi va quyidagicha aniqlanadi.

$$\tau_{\frac{\max}{\min}} = \pm\frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \qquad \sigma_{\max}, \sigma_{\min} \quad \text{bosh kuchlanishlar.}$$



$\alpha_o > 0$ soat strelkasi bo'ylab.

$\alpha_o < 0$ soat strelkasiga qarama-qarshi.

6. Tekis kuchlanish holatida ixtiyoriy qiyalikdagi kuchlanishlar bosh yuza va bosh kuchlanishlar, ekstremal urinma kuchlanishlar gradus usulida mor doirasi yordamida aniqlanadi.

Ixtiyoriy qiya yuzalikdagi normal va urinma kuchlanishlar ifodalarini o'rin almashtirib va darajasiga ko'tarib qo'shamiz.

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

$$R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau^2{}_{xy}}\ , \quad a^2 + b^2 = R^2.$$

$\left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}; 0\right) -$ doira markazining koordinatalari.

Nazorat savollari

1. Bosh kuchlanishlar deb nimaga aytiladi?
2. Normal kuchlanishlar, qachon ekstremal qiymatga erishadi?
3. Ekstremal urinma kuchlanishlar qanday aniqlanadi?

18-Mavzu: Umumlashgan Guk qonuni

Reja:

1. Umumlashgan Guk qonuni
2. Absolyut hajmiy deformatsiya
3. Nisbiy hajmiy deformatsiya
4. Deformatsiyaning potensial energiyasi va uning tashkil etuvchilari

5.Solishtirma potensial energiya

Tayanch so'z va iboralar: *Cho'zilish, siqilish, chiziqli, kuchlanish, holati, fazoviy, Guk qonuni, nisbiy, deformatsiya, proportsional va normal kuchlanish.*

1. Cho'zilish va siqilishda Guk qonuni bo'yicha kuchlanish nisbiy deformatsiyaga to'g'ri proportsional edi. $\sigma = \varepsilon \cdot E$ Bu ifoda Guk qonunining *chiziqli kuchlanish holati* uchun o'rinli. *Fazoviy kuchlanish holati* uchun Guk qonuni quyidagicha ifodalanadi.

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}\left(\sigma_x - \mu\left(\sigma_y + \sigma_z\right)\right), \ \varepsilon_y = \frac{1}{E}\left(\sigma_y - \mu\left(\sigma_x + \sigma_z\right)\right), \ \varepsilon_z = \frac{1}{E}\left(\sigma_z - \mu\left(\sigma_z + \sigma_y\right)\right)$$

Bu yerda

$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z - X, Y, Z$ o'qlari bo'yicha nisbiy deformatsiyalar.

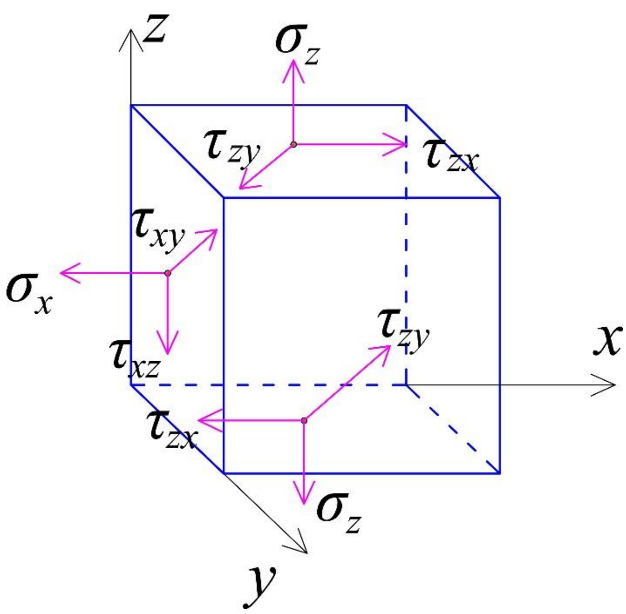
$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z - X, Y, Z$ o'qlari bo'yicha normal kuchlanishlar. $\mu -$Puasson koeffitsiyenti.

Yuqorida yozilgan ifoda umumlashgan Guk qonuni deyiladi. Bosh kuchlanish holati uchun umumlashgan Guk qonuni quyidagicha ifodalanadi.

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E}\left(\sigma_1 - \mu\left(\sigma_2 + \sigma_3\right)\right), \ \varepsilon_2 = \frac{1}{E}\left(\sigma_2 - \mu\left(\sigma_1 + \sigma_3\right)\right), \varepsilon_3 = \frac{1}{E}\left(\sigma_3 - \mu\left(\sigma_1 + \sigma_2\right)\right).$$

bu yerda $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$- bosh o'qlar bo'yicha nisbiy deformatsiya, $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ — bosh kuchlanishlar. $\mu -$Puasson koeffitsiyenti.

2. Kuchlanish holatida element parallelepipedning deformatsiyagacha bo'lgan o'lchamlarini d_x, d_y, d_z deb belgilaymiz.



$d\,x+\Delta dx,\ d\,y+\Delta dy,\ dz+\Delta dz$ – parallelepipedni deformatsiyadan keyingi o'lchamlari.

Boshlang'ich hajmi V_o keyingi hajmi V_1 bo'lsa hajmi absolyut deformatsiya quyidagicha topiladi. $\Delta V = V_1 - V_o$

3. Nisbiy hajmiy deformatsiya $\varepsilon = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z$ quyidagicha aniqlanadi. Bosh kuchlanish holati uchun nisbiy hajmiy deformatsiya $\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3$ hisoblanadi.

4. Jism deformatsiyalanganda nuqtalar o'rni o'zgarib ko'chadi. Ko'chish natijasida holati tufayli ish bajaradi. Bajarilgan ish potensial energiya hisoblanadi.

$$U = \frac{1}{2}\left(\sigma_x \cdot \varepsilon_x + \sigma_y \cdot \varepsilon_y + \sigma_z \cdot \varepsilon_z + \tau_{xy}\gamma_{xy} + \tau_{xz}\gamma_{xz} + \tau_{yz}\gamma_{yz}\right)$$

Bu yerda $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ – chiziqli nisbiy deformatsiyalar.

$\gamma_{xy}, \gamma_{xz}, \gamma_{yz}$ – burchakli nisbiy deformatsiyalar.

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$ – kuchlanish komponentlari.

To'liq potensial energiya ikki qismdan iborat.

$$U = U_v + U_{шакл}$$

bu yerda U_V – hajm o'zgarishdagi solishtirma potensial energiya. $U_{шакл}$ – shakl o'zgarishdagi solishtirma potensial energiya.

5. Deformatsiyalanayotgan jism potensial energiyasi solishtirma potensial energiyasi deyiladi.

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

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

Nazorat savollari

1. To’liq potensial energiya deb nimaga aytiladi?
2. Solishtirma potensial energiya deb nimaga aytiladi?
3. Nisbiy hajmiy deformatsiya qanday aniqlanadi?
4. Fazoviy kuchlanish holati uchun Guk qonuni qanday aniqlanadi?

19-Mavzu: Bosh kuchlanishlar, ekstremal urinma kuchlanishlar va oktaedrik kuchlanishlar

Reja:

1.Kuchlanishlarni belgilash va ularning ishoralari

2.To'la kuchlanishni

3. Jism nuqtasidagi kuchlanganlik holati, bosh kuchlanishlar

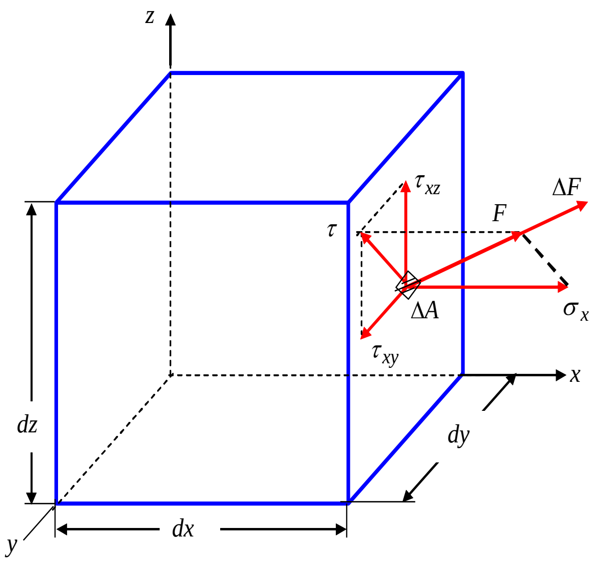
4. Hajmiy kuchlanganlik holati

5. Kuchlanish tenzorini

6. Qiya yuzadagi kuchlanishlar

Tayanch so'z va iboralar: *Kuchlanish, elastik, hajmiy, ichki zo'riqishlar, intensivlik, kuchlanganlik, parallelepiped, cho'zuvchi va normal.*

Elastik jism tashqi kuchlar ta'siridan deformatsiyalanadi va unda ichki zo'riqishlar hosil bo'ladi. Ichki zo'riqish, zo'riqish kuchlari intensivligining yuza birligidagi miqdoriga kuchlanish deb ataladi. Tashqi kuch ta'sirida bo'lgan jismning biror $M(x, y, z)$ nuqtasi kuchlanganlik holatini tekshirish uchun, shu nuqta atrofida tomonlari dx, dy, dz bo'lgan juda kichik elementar parallelepiped ajratib olamiz.



Agar elementar ΔA yuzaga ta'sir qilayotgan ichki kuchni ΔF bilan belgilasak, to'la kuchlanish quyidagi formuladan topiladi.

$$F = \lim_{\Delta A \to 0} \frac{\Delta F}{\Delta A}.$$

Ularning ishoralari quyidagicha $\sigma -$ cho'zuvchi musbat, siquvchi manfiy, $\tau -$ ishorasi musbat agar uning yo'nalishi koordinata o'qlari yo'nalishiga mos tushsa. Demak, shaklda ko'rsatilgan kuchlanishlar ishoralari musbat hisoblanadi. Ajratilgan element muvozanat shartidan: $\sum M_z = 0$ Z – o’qiga parallel va uni kesib o’tuvchi kuchlar bu tenglamada qatnashmaydi, ya’ni,

$$\tau_{yx} \cdot dx \cdot dz \cdot dy - \tau_{xy} \cdot dy \cdot dz \cdot dx = 0$$

bundan $\tau_{yx} = \tau_{xy}$ hosil bo’ladi. Xudi shunga o’xshash boshqa o’qlarga ham $\sum M_x = 0, \sum M_y = 0$ tenglamalar tuzib quyidagiga ega bo’lamiz

$\tau_{yx} = \tau_{xy}$, $\tau_{xz} = \tau_{zx}$, $\tau_{yz} = \tau_{zy}$. umumiy holdagi urinma kuchlanishlarning juftlik qonuni deb yuritiladi.

Demak: o’zaro perpendikulyar yuzalarda urinma kuchlanishlar qiymati teng yo’nalishlari qarama - qarshidir. Bu kuchlanishlar elementi har - xil tomonlarga burishga harakat qiladi. Ixtiyoriy nuqtadagi kuchlanish komponentlari to’qqiztadan oltitaga keladi: σ_x, σ_y, σ_z, σ_{xy}, σ_{yz}, σ_{zx}.

Agar biz element qirralari holatini o’zgartirsak bu kuchlanishlar ham o’zgaradi. Bunda biz yuzalar holatini shunday o’zgartiraylikki urinma kuchlanishlar $\tau = 0$ bo’lsin. Bunday yuzalar bosh yuzalar deb yuritiladi. Bu yuzalarda ta’sir etayotgan normal kuchlanishlar bosh kuchlanishlar deb ataladi. Ma’lumki har bir ixtiyoriy nuqtadan o’zaro perpendikulyar 3 ta o’qlar o’tkazish mumkin, bunga asosan 3 ta perpendikulyar yuzalar mavjud u holda jism har bir nuqtasida 3 ta bosh kuchlanishlar ta’sir etadi, va ular ham o’zaro bir - biriga perpendikulyar bo’ladi. Bu o’qlar bosh o’qlar deb yuritiladi. Bu kuchlanishlarni shartli ravishda σ_1, σ_2 va σ_3,-lar bilan belgilaymiz, bunda kuchlanishlarni shunday joylashtirish lozim bo’lsinki quyidagi tengsizlik bajarilsin. $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$.

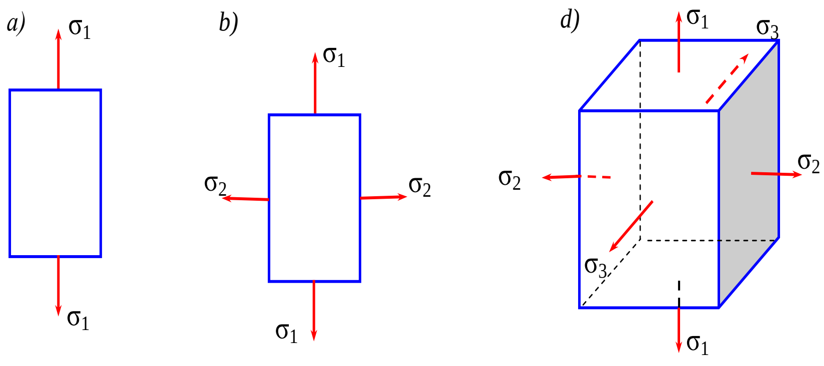
Bu to’la kuchlanishni normal σ_y va urinma τ kuchlanishlarga, o’z navbatida esa, urinma kuchlanishni ham o’qlar bo’yicha tashkil etuvchilarga τ_{xz}, τ_{xy} ajratish mumkin.Xuddi shuningdek, parallelepipedning boshqa tomonlaridagi to’la kuchlanishlarni ham normal σ_x, σ_y, σ_z va urinma τ_{yz}, τ_{yx} kuchlanishlarga ajratish mumkin. Urinma kuchlanishlar ikki indeks bilan belgilanadi, masalan, τ_{xz} urinma kuchlanishning birinchi indeksi kuchlanish qaysi yuzada yotishini, ikkinchi indeksi esa kuchlanish qaysi o’qqa parallel yo’nalganligini (τ_{xy} - x o’qiga normal yuzadagi u o’qiga parallel kuchlanish) ko’rsatadi.Normal kuchlanish musbat deb hisoblanadi, agar u cho’zuvchi bo’lsa.Agar yuza normali, koordinata o’qining musbat yo’nalishi bo’yicha yo’nalgan bo’lsa, musbat urinma kuchlanishlar qolgan ikki koordinata o’qlarining musbat yo’nalishi bo’yicha yo’naladi.Agar yuza normali koordinata o’qining manfiy yo’nalishi bo’yicha yo’nalgan bo’lsa, musbat urinma kuchlanishlar ikki koordinata o’qlarining manfiy yo’nalishi bo’yicha yo’naladi.

Jism nuqtasidagi kuchlanganlik holati, bosh kuchlanishlar

Konstruksiya elementlarining mustahkamligini ta’minlashda faqat ko’ndalang kesim yuzalaridagi kuchlanishlarni o’rganish yetarli emas, balki konstruksiya elementlarini birorta nuqtasidan o’tuvchi turli tekisliklardagi eng katta kuchlanishlarni va ularda hosil bo’lgan yuzalar holatini bilish maqsadga muvofiq bo’ladi. Bu masalani hal qilish uchun konstruksiya elementlarining biror nuqtasidan o’tuvchi qiya yuzaning qiyalik burchagi miqdorining o’zgarishi bilan kuchlanish miqdorining o’zgarish qonunini tadqiq qilamiz.

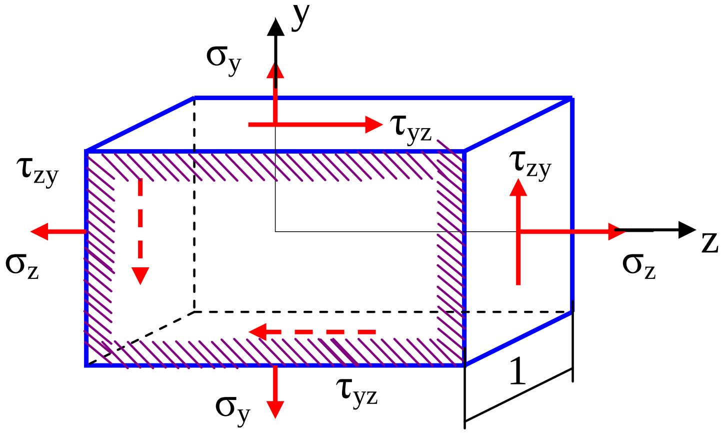
Biror nuqtaning kuchlanganlik holati deb- shu nuqtadan o’tuvchi barcha yuzalarda hosil bo’ladigan kuchlanishlar to’plamiga aytiladi.

Tashqi kuchlar ta’sirida bo’lgan konstruksiya elementi ixtiyoriy nuqtasi atrofida fikran birorta elementar parallelepiped ajratib olamiz. Ajratib olingan elementar parallelepiped juda ham kichik bo’lganligi sababli barcha nuqtalarida hosil bo’lgan kuchlanishlar qaralayotgan "M" nuqtadagi kuchlanishlarga teng deb hisoblasak bo’ladi. Demak, parallelepiped tomonlari va ixtiyoriy kesimidagi kuchlanishlarni teng taralgan deb qarash mumkin.



(a)-chizmadagi kuchlanganlik holati konstruksiya elementlarining chiziqli cho’zilish (siqilish) holatini tasvirlab, u sterjenlarning oddiy cho’zilishi yoki siqilishiga mos keladi. (b)-chizmadagi kuchlanganlik holati konstruksiya elementlarining tekis kuchlanish $\sigma_1 > \sigma_2$ holatini tasvirlaydi.(d)-chizmadagi kuchlanganlik holati konstruksiya elementlarining hajmiy kuchlanish

$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ holatini tasvirlaydi.Tekis kuchlanganlik holati amaliyotda juda ham ko'p uchraydi, bunga misol qilib plastinkalarni keltirish mumkin.Tekis kuchlanganlik holatidagi konstruksiya elementidan birorta elementar parallelepiped ajratib olamiz va umumiy holda uning tashqi tomoniga ta'sir qilayotgan kuchlanishlarni ko'rsatamiz.Cho'zuvchi normal kuchlanishni musbat, siquvchi kuchlanishni manfiy ishorali deb qabul qilamiz. Agar qaralayotgan yuzachaning tashqi normali va shu yuzachadagi urinma kuchlanish yo'nalishi o'zlariga mos keluvchi koordinata o'qlari yo'nalishi bilan ustma-ust tushsa, urinma kuchlanishlar ishorasini musbat deb qabul qilamiz.

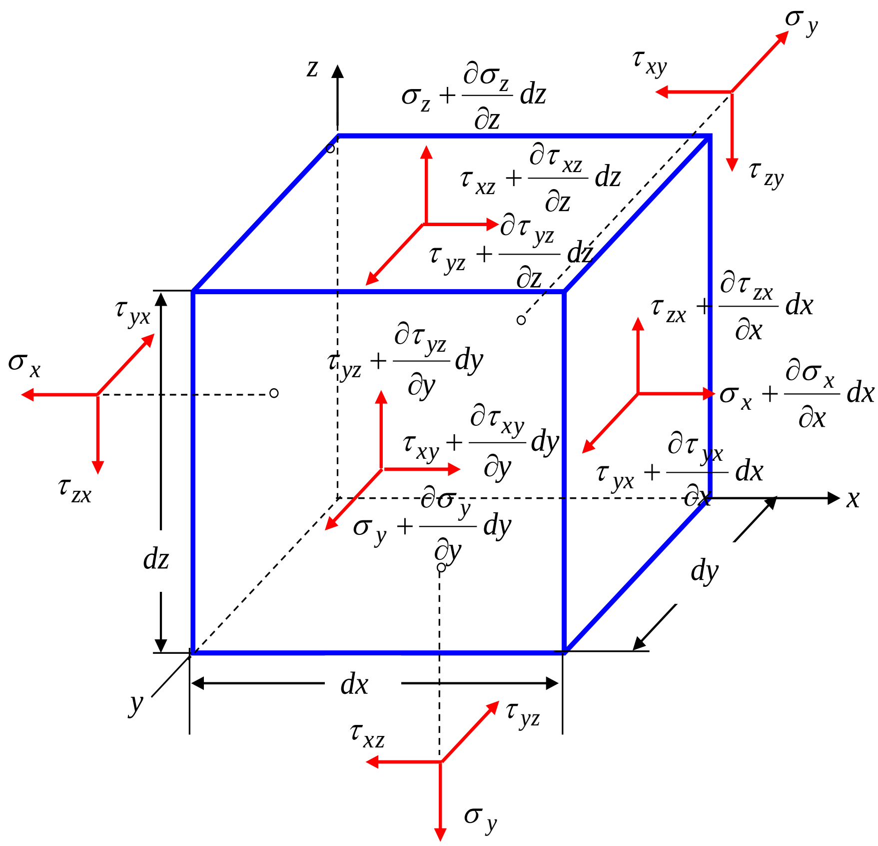


Hajmiy kuchlanganlik holatida konstruksiya elementlaridan ajratib olingan elementning tomonlariga $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ kuchlanishlar ta'sir etadi. *Bosh yuzalar* deb- urinma kuchlanishlari nolga teng bo'lgan yuzalarga aytiladi *Bosh kuchlanishlar* deb – bosh yuzalarga ta'sir etayotgan kuchlanishlarga aytiladi.

Umuman jismning ixtiyoriy nuqtasidan uchta o'zaro perpendikulyar tik tekislik o'tkazish mumkin. Jismning ixtiyoriy biror nuqtasidagi kuchlanish holati, shu nuqtadan o'tuvchi o'zaro perpendikulyar bo'lgan uchta tekislikda berilgan to'qqizta kuchlanish $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}, \tau_{yx}, \tau_{zy}, \tau_{xz}$ komponentlari orqali ifodalanadi.

Bu kuchlanish komponentlaridan kuchlanish tenzori deb ataluvchi quyidagi matritsani tuzish mumkin.

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



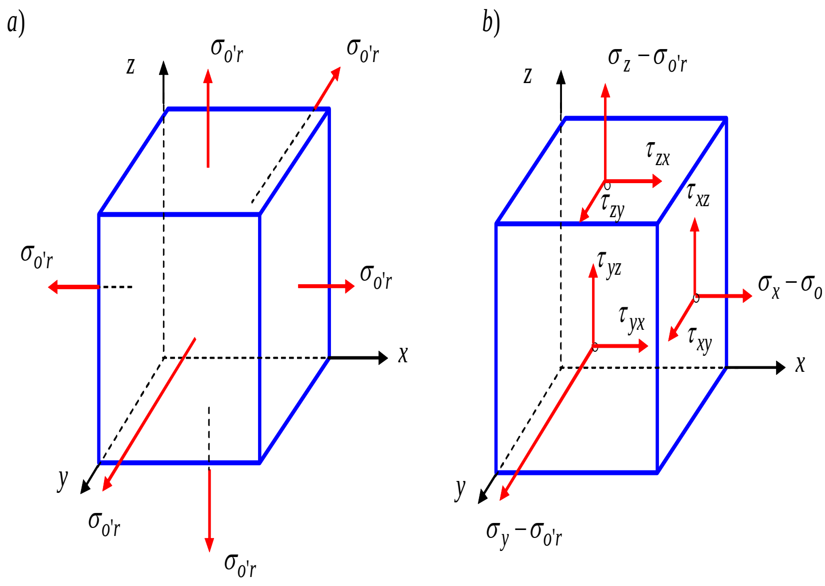
Kuchlanishlar tenzorini shar tenzor va deviatorga ajratish mumkin.

$$T_\sigma = T_\sigma^{ш} + D_\sigma$$

$$T_\sigma = \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \sigma_{o'r} & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{o'r} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{o'r} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \sigma_x - \sigma_{o'r} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y - \sigma_{o'r} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z - \sigma_{o'r} \end{vmatrix}$$

$$\sigma_{o'r} = \frac{\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z}{3} .$$

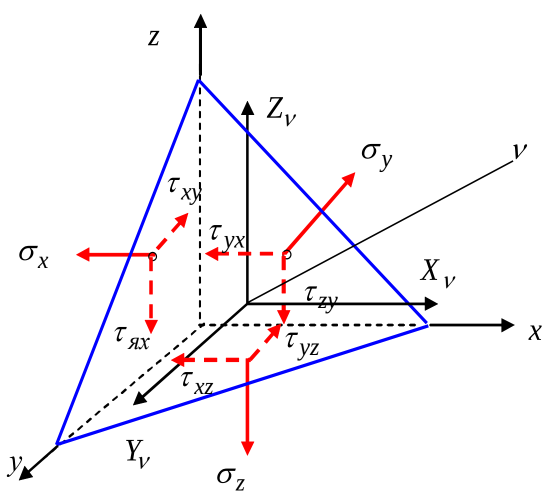
Kuchlanishlarning shar tenzori ta'siri natijasida jismning hajmi o'zgaradi. Kuchlanish deviator natijasida esa jismning shakli o'zgaradi (b).



Tashqi normali v bo'lgan ixtiyoriy qiya og'ma yuzadagi to'la kuchlanishlarning koordinata (x, y, z) o'qlaridagi proeksiyalari quyidagi formuladan aniqlanadi.

$$X_v = \sigma_x l + \tau_{xy} m + \tau_{xz} n,$$
$$Y_v = \tau_{yx} l + \sigma_y m + \tau_{yz} n,$$
$$Z_v = \tau_{zx} l + \tau_{zy} m + \sigma_z n.$$

bunda $l = \cos(x, v), m = \cos(y, v), n = \cos(z, v)$ og'ma yuza normali v ning yo'naltiruvchi kosinuslaridir.



Qiya yuzalardagi kuchlanishlar quyidagi formulalar yordamida aniqlanadi:

Qiya yuzadagi to'la kuchlanish $P_v = \sqrt{X_v^2 + Y_v^2 + Z_v^2}$.

Normal kuchlanish $\sigma_v = X_v l + Y_v m + Z_v n.$

Urinma kuchlanish $\tau_v = \sqrt{P_v^2 - \sigma_v^2}$.

O’zaro perpendikulyar bo’lgan uchta bosh yuzaga nisbatan bir xil burchak hosil qilib o’tgan yuza $l = m = n = \frac{1}{\sqrt{3}}$ oktaedrik yuza deb ataladi. Bu yuzadagi kuchlanishlar quyidagi formulalar yordamida aniqlanadi:

To’la kuchlanish

$$P_v^2 = \frac{1}{3}\left(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2\right).$$

Oktaedrik normal kuchlanish

$$\sigma_{okt} = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3); \ \sigma_{okt} = \frac{1}{3}\left(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z\right).$$

Oktaedrik urinma kuchlanish

$$\tau_{okt} = \frac{1}{3}\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2};$$

$$\tau_{okt} = \frac{1}{3}\sqrt{\left(\sigma_x - \sigma_y\right)^2 + \left(\sigma_y - \sigma_z\right)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6\left(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2\right)}.$$

Normal kuchlanish intensivligi oktaedrik urinma kuchlanish orqali quyidagicha ifodalanadi.

$$\sigma_i = \frac{3}{\sqrt{2}}\tau_{okt} = \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{\left(\sigma_x - \sigma_y\right)^2 + \left(\sigma_y - \sigma_z\right)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6\left(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2\right)}$$

Oktaedrik yuzalardagi urinma kuchlanish bosh urinma kuchlanishlar orqali quyidagicha yoziladi:

$$\tau_{okt} = \frac{2}{3}\sqrt{\tau_{12}^2 + \tau_{23}^2 + \tau_{31}^2}.$$

$$\tau_{12} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}, \ \tau_{23} = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2}, \ \tau_{31} = \frac{\sigma_3 - \sigma_1}{2}.$$

Jismning berilgan nuqtasidagi maksimal va minimal urinma kuchlanishlar quyidagi formulalardan aniqlanadi:

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}, \ \tau_{\min} = -\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}.$$

Bosh normal kuchlanishlar quyidagi kubik tenglamaning haqiqiy echimlaridir.

$$\sigma^3 - J_{1\sigma}\sigma^2 + J_{2\sigma}\sigma - J_{3\sigma} = 0,$$
$$J_{1\sigma} = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z,$$
$$J_{2\sigma} = \sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_z\sigma_x - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{zx}^2,$$
$$J_{3\sigma} = \sigma_x\sigma_y\sigma_z + 2\tau_{xy}^2\tau_{yz}^2\tau_{zx}^2 - \sigma_x\tau_{yz}^2 - \sigma_y\tau_{zx}^2 - \sigma_z\tau_{xy}^2.$$

Kuchlanish tenzorining birinchi, ikkinchi va uchinchi invariantlari deyiladi.

Xuddi shuningdek kuchlanishlarning shar tenzori va deviatorining invariantlarini ham quyidagicha yozish mumkin:

$$J_{1D\sigma} = 0,$$
$$J_{2D\sigma} = \frac{1}{6}\left[\left(\sigma_x - \sigma_y\right)^2 + \left(\sigma_y - \sigma_z\right)^2 + \left(\sigma_z - \sigma_x\right)^2 + 6\left(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2\right)\right],$$
$$J_{3D\sigma} = \begin{vmatrix} \sigma_x - \sigma_{o'r} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y - \sigma_{o'r} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z - \sigma_{o'r} \end{vmatrix}.$$

Kub tenglamani yechishning ikki usulini ko’rib chiqamiz.

1.Tenglamaning o’ng tomonini ko’phadga ajratish usuli. Agar tenglamaning o’ng tomonini quyidagicha ko’paytuvchilarga ajratish mumkin bo’lsa:

$$(\sigma_v - \sigma_1)(\sigma_v - \sigma_2)(\sigma_v - \sigma_3) = 0$$

unda bu tenglamaning ildizlari juda oson topiladi, ya’ni

$$\sigma_v = \sigma_1,\ \sigma_v = \sigma_2,\ \sigma_v = \sigma_3$$

2. Kub tenglamani trigonometrik usulda echish.

Tenglamaga $\sigma = Y + J_{1\sigma}/3$ almashtirish kiritib, uni quyidagicha yozish mumkin:

$$Y^3 + PY + q = 0, \quad P = J_{2\sigma} - \frac{J_{1\sigma}^2}{3}, \quad q = -\frac{2}{27}J_{1\sigma}^3 + \frac{1}{3}J_{1\sigma}J_{2\sigma} - J_{3\sigma}.$$

Agar diskriminant manfiy, ya’ni $\Delta = P^3 + q^2 < 0$ bo’lsa kub tenglamaning uchala haqiqiy ildizi ham mavjuddir. Ular quyidagi formulalardan aniqlanadi:

$$Y_1 = -2\tau\cos\frac{\phi}{3},\ Y_2 = 2\tau\cos\left(60^0 - \frac{\phi}{3}\right),\ Y_3 = 2\tau\cos\left(60^0 + \frac{\phi}{3}\right).$$

$$\cos\phi = \frac{q}{2\tau^3}, \quad \tau = \pm 0{,}5774\sqrt{|P|}.$$

τ ning ishorasi q ning ishorasi bilan bir xil olinadi.

Kub tenglama yechimlarining to'g'riligi quyidagi formula yordamida tekshiriladi.

$$Y_1 + Y_2 + Y_3 = 0.$$

Bosh kuchlanishlar

$$\sigma' = Y_1 + \frac{J_{1\sigma}}{3}, \quad \sigma'' = Y_2 + \frac{J_{1\sigma}}{3}, \quad \sigma''' = Y_3 + \frac{J_{1\sigma}}{3}.$$

formuladan topiladi.

Aniqlangan kuchlanishlarni tegishlicha bosh kuchlanishlar $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ bilan belgilaymiz.

Kub tenglama ildizlarining ya'ni bosh kuchlanishlarning to'g'riligi quyidagi tenglamalar yordamida tekshiriladi.

$$\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3,$$
$$\sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_z\sigma_x - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{zx}^2 = \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1,$$
$$\sigma_x\sigma_y\sigma_z + 2\tau_{xy}\tau_{yz}\tau_{zx} - \sigma_x\tau_{yz}^2 - \sigma_y\tau_{zx}^2 - \sigma_z\tau_{xy}^2 = \sigma_1\sigma_2\sigma_3.$$

Bosh yuzalarning holati $l_i, m_i, n_i \left(i = 1,2,3\right)$ yo'naltiruvchi kosinuslar bilan aniqlanadi, yo'naltiruvchi kosinuslar quyidagi tenglamalar sistemasi

$$\left(\sigma_x - \sigma_i\right)l_i + \tau_{xy}m_i + \tau_{xz}n_i = 0;$$
$$\tau_{yx}l_i + \left(\sigma_y - \sigma_i\right)m_i + \tau_{yz}n_i = 0;$$
$$\tau_{zx}l_i + \tau_{zy}m_i + \left(\sigma_z - \sigma_i\right)n_i = 0,$$

va $l^2 + m^2 + n^2 = 1-$ shartdan aniqlanadi.

Yo'naltiruvchi kosinuslar qiymatlarining to'g'riligi, bosh kuchlanishlar vektorlarining ortogonalligidan foydalanib tekshiriladi, ya'ni

$$l_1l_2 + m_1m_2 + n_1n_2 = 0,$$
$$l_2l_3 + m_2m_3 + n_2n_3 = 0,$$
$$l_3l_1 + m_3m_1 + n_3n_1 = 0.$$

Agar bosh tekisliklardan biri ma'lum bo'lsa, bosh kuchlanishlarni topish uchun quyidagi formuladan foydalaniladi

$$\sigma_{12} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \frac{1}{2}\sqrt{\left(\sigma_x - \sigma_y\right)^2 + 4\tau_{xy}}; \;\; \sigma_3 = \sigma_z .$$

Bosh o'qlarning holati

$$tg2\alpha_0 = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y},$$

formuladan aniqlanadi. Bu formuladan $\alpha_1 = \alpha_0$ va $\alpha_2 = \alpha_0 + 90^0$ ikkita burchak topiladi, ya'ni birinchi va ikkinchi bosh o'qlarning holati aniqlanadi.

Dekart koordinatalar sistemasida elastik jism muvozanatining differensial tenglamasini elementar parallelepipedning muvozanat holatidan keltirib chiqariladi, ya'ni unga ta'sir qilayotgan barcha kuchlarning koordinata o'qlaridagi proyektsiyalari yig'indisini nolga tenglashtirib quyidagi tenglamalar sistemasini hosil qilamiz

$$\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + X = 0 \left(\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right),$$

$$\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + Y = 0 \left(\rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \right),$$

$$\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + Z = 0 \left(\rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \right).$$

Bunda x, y, z hajmiy kuchlarning koordinata o'qlari bo'yicha proyektsiyalari.

Parallelepipedga ta'sir qilayotgan barcha kuchlardan x, y, z o'qlarga nisbatan olingan momentlar yig'indisini nolga tenglashtirib, undan quyidagilarni hosil qilamiz:

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

Bu tenglik urinma kuchlanishlarning juftlik qonuni deyiladi. O'zaro perpendikulyar bo'lgan bir nuqtadan chiquvchi tekisliklarda urinma kulanishlar miqdor jihatidan o'zaro teng, yo'nalish jihatidan esa qarama-qarshidir.

Elastik jismning chegara yoki sirt sharti quyidagicha yoziladi.

$$X_\nu = \sigma_x l + \tau_{xy} m + \tau_{xz} n,$$
$$Y_\nu = \tau_{yx} l + \sigma_y m + \tau_{yz} n,$$
$$Z_\nu = \tau_{zx} l + \tau_{zy} m + \sigma_z n.$$

Nazorat savollari

1. Kuchlanish tenzorining birinchi, ikkinchi va uchinchi invariantlari deb nimaga aytiladi?

2. Normal kuchlanish intensivligi oktaedrik urinma kuchlanish orqali qanday ifodalanadi?

3. Oktaedrik normal kuchlanish deb nimaga aytiladi?

4. Elastik jismning chegara yoki sirt sharti qanday yoziladi?

5. Urinma kuchlanishlarning juftlik qonuni qanday yoziladi?

20-Mavzu:Bosh deformatsiyalar, nuqtadagi kuchlanganlik va deformatsiyalangan holatlarning o'xshashligi

Reja:

1. Elastik jismlarning ko'chishi
2. Chiziqli va burchakli deformatsiya
3. Koshi formulalari
4. Sen-Venanning deformatsiya uzluksizlik sharti
5. Bosh deformatsiyalar
6. Yo'naltiruvchi kosinuslar
7. Oktaedrik yuzalardagi deformatsiyalar
8. Siljish deformatsiyalari

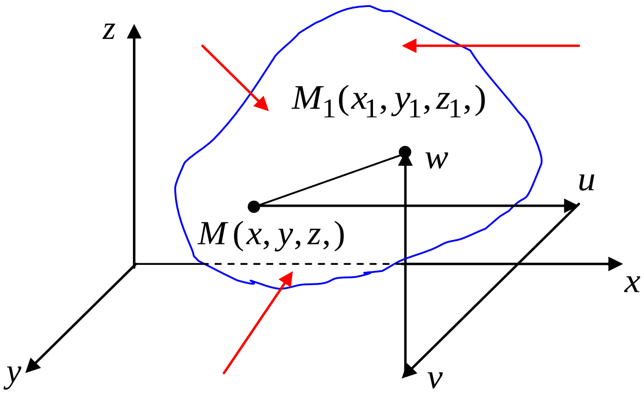
Tayanch so'z va iboralar: *Chiziqli, burchak, deformatsiya, komponent, elastik, jism, ko'chishi, Dekart, koordinata, differensial, bog'lanish, yo'naltiruvchi va kosinuslar.*

Elastik jismlarning ko'chishini ikki guruhga bo'lish mumkin:

1. Jismning deformatsiyalanmay butunlay ko'chishi, bunda jism shakliga va zarralarining bir-biriga nisbatan joylashgan holati o'zgarmaydi.

2. Jismning ma'lum bo'lagining ko'chishi, bunda jism deformatsiyalanib, uning zarralari bir-biriga nisbatan o'z holatini o'zgartiradi.

Birinchi hol ko'chish absolyut qattiq jismlarning ko'chishi bilan bog'liq bo'lib nazariy mexanika kursida o'rganiladi. Deformatsiyalanuvchi qattiq jism nazariyasida tashqi fizik kuch ta'siri natijasidan jism deformatsiyasi, ya'ni biror $M(x,y,z)$ nuqtaning $M_1(x_1,y_1,z_1)$ holatiga ko'chishini o'rganadi va bu ko'chishni koordinata o'qlaridagi proyektsiyalari $u=u(x,y,z)$, $v=v(x,y,z)$, $w=w(x,y,z)$ kabi ifodalanadi. Jism ixtiyoriy nuqtalarining ko'chish qiymatlari har xil bo'lishi, jismning deformatsiyalanishiga olib keladi. Jism deformatsiyalanganda ikki xil: chiziqli va burchak deformatsiyalar hosil bo'ladi. Chiziqli va burchak deformatsiya komponentlari tegishlicha $\varepsilon_x,\ \varepsilon_y,\ \varepsilon_z,\ \gamma_{xy},\ \gamma_{yz},\ \gamma_{zx},\gamma_{yx},\ \gamma_{zy},\ \gamma_{xz}$ bilan belgilanadi.



Dekart koordinata sistemasida deformatsiya komponentlari bilan ko'chish komponentlari orasida quyidagi differensial bog'lanishlar mavjud:

$$\varepsilon_x=\frac{\partial u}{\partial x},\qquad \varepsilon_y=\frac{\partial v}{\partial y},\qquad \varepsilon_z=\frac{\partial w}{\partial z},$$

$$\gamma_{xy}=\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x},\quad \gamma_{yz}=\frac{\partial v}{\partial z}+\frac{\partial w}{\partial y},\quad \gamma_{zx}=\frac{\partial w}{\partial x}+\frac{\partial u}{\partial z}.$$

Bu formulalarga Koshi formulalari deb ataladi.

Slindrik xor koordinata sistemasida Koshi formulalari quyidagicha ifodaladi.

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \qquad \gamma_{x\theta} = \frac{1}{r}\cdot\frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{\partial v}{\partial x},$$
$$\varepsilon_\theta = \frac{1}{r}\cdot\frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{w}{r}, \qquad \gamma_{\theta r} = \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{v}{r} + \frac{1}{r}\cdot\frac{\partial w}{\partial \theta},$$
$$\varepsilon_r = \frac{\partial w}{\partial r}, \qquad \gamma_{rx} = \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial r}.$$

Deformatsiya komponentlari, Sen-Venanning deformatsiya uzluksizligi shartini qanoatlantiradi.

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y}\\
&\frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{yz}}{\partial y \partial z}\\
&\frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial z^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{zx}}{\partial z \partial x}\\
&\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y} + \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} - \frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x}\right) = 2\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y \partial z}\\
&\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial z} + \frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} - \frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y}\right) = 2\frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x \partial z}\\
&\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y} - \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z}\right) = 2\frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial x \partial y}
\end{aligned}\right\}.$$

Kuchlanishlar nazariyasi va deformatsiya nazariyasi orasidagi o’xshashlikdan foydalanib, deformatsiya nazariyasida kerakli bo’ladigan barcha formulalarni, kuchlanishlar nazariyasidagi kabi ifodalash mumkin.

Bosh deformatsiyalar quyidagi tenglamadan aniqlanadi.

$$\varepsilon^3 - J_{1\varepsilon}\varepsilon^2 + J_{2\varepsilon}\varepsilon - J_{3\varepsilon} = 0.$$
$$J_{1\varepsilon} = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z,$$
$$J_{2\varepsilon} = \varepsilon_x\varepsilon_y + \varepsilon_y\varepsilon_z + \varepsilon_z\varepsilon_x - \frac{1}{4}\left(\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2\right),$$
$$J_{3\varepsilon} = \varepsilon_x\varepsilon_y\varepsilon_z + \frac{1}{4}\gamma_{xy}\gamma_{yz}\gamma_{zx} - \frac{1}{4}\left(\varepsilon_x\gamma_{yz}^2 + \varepsilon_y\gamma_{zx}^2 + \varepsilon_z\gamma_{.xy}^2\right).$$

Agar kubik tenglamaga $\varepsilon = Y + \frac{J_{1\varepsilon}}{3}$ ni qo’ysak, u quyidagi ko’rinishda yoziladi

$$Y^3 + PY + q = 0.$$

$$P = J_{2\varepsilon} - \frac{J_{1\varepsilon}^2}{3}, \qquad q = -\frac{2}{27}J_{1\varepsilon}^3 + \frac{1}{3}J_{1\varepsilon}J_{2\varepsilon} - J_{3\varepsilon}.$$

Agar diskriminant $\Delta = P^3 + q^2 < 0$ manfiy bo'lsa, kubik tenglamaning uchala haqiqiy ildizlari ham mavjuddir. Ular quyidagi formulalardan aniqlanadi:

$$Y_1 = -r\cos\frac{\phi}{3}, \quad Y_2 = 2r\cos\left(60^0 - \frac{\phi}{3}\right), \quad Y_3 = 2r\cos\left(60^0 + \frac{\phi}{3}\right),$$

$$\cos\phi = \frac{q}{2r^3}, \qquad r = \pm 0{,}51774\sqrt{|P|}.$$

Bunda r ishorasi q ning ishorasi bilan bir xil olinadi.

Kubik tenglama ildizlarining to'g'ri topilganligi quyidagi tenglama yordamida tekshiriladi:

$$Y_1 + Y_2 + Y_3 = 0.$$

Bosh deformatsiyalarni topamiz

$$\varepsilon' = Y_1 + \frac{J_{1\varepsilon}}{3}; \qquad \varepsilon'' = Y_2 + \frac{J_{1\varepsilon}}{3}; \qquad \varepsilon''' = Y_3 + \frac{J_{1\varepsilon}}{3}.$$

Aniqlangan deformatsiyalar tegishlicha bosh deformatsiyalar $\varepsilon_1 > \varepsilon_2 > \varepsilon_3$ bilan belgilanadi. Kubik tenglama ildizlarining to'g'riligi quyidagi formulalardan tekshiriladi:

$$\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3,$$

$$\varepsilon_x\varepsilon_y + \varepsilon_y\varepsilon_z + \varepsilon_z\varepsilon_x - \frac{1}{4}\left(\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2\right) = \varepsilon_1\varepsilon_2 + \varepsilon_2\varepsilon_3 + \varepsilon_3\varepsilon_1,$$

$$\varepsilon_x\varepsilon_y\varepsilon_z + \frac{1}{4}\left(\gamma_{xy}\gamma_{yz}\gamma_{zx}\right) - \frac{1}{4}\left(\varepsilon_x\gamma_{yz}^2 + \varepsilon_y\gamma_{zx}^2 + \varepsilon_z\gamma_{xy}^2\right) = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3.$$

Bosh yuzalarning holati $l_i, m_i, n_i \left(i > 1{,}2{,}3\right)$ yo'naltiruvchi kosinuslar bilan aniqlanadi. Yo'naltiruvchi kosinuslar quyidagi tenglamalar sistemasi

$$\left(\varepsilon_x - \varepsilon_i\right)l_i + \frac{1}{2}\gamma_{xy}m_i + \frac{1}{2}\gamma_{xz}n_i = 0, \quad \frac{1}{2}\gamma_{yx}l_i + \left(\varepsilon_y - \varepsilon_i\right)m_i + \frac{1}{2}\gamma_{yz}n_i = 0,$$

$$\frac{1}{2}\gamma_{zx}l_i + \frac{1}{2}\gamma_{zy}m_i + \left(\varepsilon_z - \varepsilon_i\right)n_i = 0.$$

$l_i^2 + m_i^2 + n_i^2 = 1$ shartdan topiladi.

Yo'naltiruvchi kosinuslar l_i, m_i, n_i qiymatlarining to'g'ri topilganligi, ularning ortogonalligidan foydalanib tekshiriladi:

$$l_1 l_2 + m_1 m_2 + n_1 n_2 = 0, \quad l_2 l_3 + m_2 m_3 + n_2 n_3 = 0, \quad l_3 l_1 + m_3 m_1 + n_3 n_1 = 0.$$

Ixtiyoriy v yo'nalishidagi nisbiy cho'zilish deformatsiyasi, deformatsiya komponentlari orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$\varepsilon_v = \varepsilon_x l^2 + \varepsilon_y m^2 + \varepsilon_z n^2 + \gamma_{xy} lm + \gamma_{yz} mn + \gamma_{zx} nl.$$

Hajmiy deformatsiya, deformatsiya komponentlari orqali quyidagicha ifodalanadi: $\theta = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z$.

Oktaedrik yuzalardagi deformatsiyalar va siljish deformatsiyalari

$$\varepsilon_{okt} = \frac{1}{3}\left(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3\right),$$

$$\gamma_{okt} = \frac{2}{3}\sqrt{\left(\varepsilon_1 - \varepsilon_2\right)^2 + \left(\varepsilon_2 - \varepsilon_3\right)^2 + \left(\varepsilon_3 - \varepsilon_1\right)^2}.$$

Deformatsiya intensivligi

$\varepsilon_i = \frac{2}{3\sqrt{2}}\sqrt{\left(\varepsilon_x - \varepsilon_y\right)^2 + \left(\varepsilon_y - \varepsilon_z\right)^2 + \left(\varepsilon_z - \varepsilon_x\right)^2 + \frac{2}{3}\left(\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2\right)}$ formuladan topiladi.

Agar bosh tekisliklardan biri ma'lum bo'lsa, bosh deformatsiyalar quyidagi formuladan topiladi.

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} \pm \frac{1}{2}\sqrt{\left(\varepsilon_x - \varepsilon_y\right)^2 + \gamma_{xy}^2}, \qquad \varepsilon_3 = \varepsilon_z.$$

Birinchi ikki bosh o'qning holati quyidagi formuladan topiladi.

$$tg 2\alpha_0 = \frac{\gamma_{xy}}{\varepsilon_x - \varepsilon_y}.$$

Bu formuladan $\alpha_1 + \alpha_0$ va $\alpha_2 = \alpha_0 + 90^0$ ikkita burchak aniqlanadi. Bosh nisbiy deformatsiyalar $\varepsilon_1 > \varepsilon_2 > \varepsilon_3$ deb qabul qilinadi.

Elastik jismga ta'sir etayotgan kuchlanishlar va jismda hosil bo'ladigan deformatsiyalar orasida quyidagi bog'lanishlar mavjud

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}\left[\sigma_x - \nu\left(\sigma_y + \sigma_z\right)\right], \qquad \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G},$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E}\left[\sigma_y - \nu\left(\sigma_x + \sigma_z\right)\right], \qquad \gamma_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G}, \quad G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E}\left[\sigma_z - \nu\left(\sigma_x + \sigma_y\right)\right], \qquad \gamma_{zx} = \frac{\tau_{zx}}{G}.$$

Bu munosabatlarga umumlashgan Guk qonuni deyiladi. Umumlashgan Guk qonuni fizik qonun bo’lib, u kuchlanish komponentlari bilan deformatsiya komponentlari orasidagi bog’lanishni ifodalaydi.

Nazorat savollari

1.Bosh kuchlanishlar deb qanday kuchlanishlarga aytiladi?

2.Bosh yuzalar deb nimaga aytiladi?

3.Bosh kuchlanishlarni belgilash qoidasini tushuntiring?

4.Qanday kuchlanganlik holatlarini bilasiz?

5.Chiziqli kuchlanish holatida qiya kesimdagi to’la, normal va urinma kuchlanishlar qanday aniqlanadi?

21-Mavzu. Cho’zilish va siqilishda sterjenlarning ko’n-dalang deformatsiyalari. Deformatsiyaning potensial energiyasi

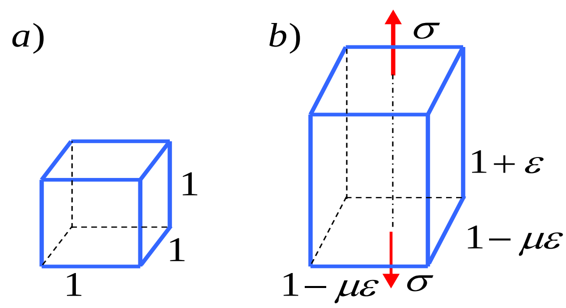
Reja:

1. Sterjenning ko‘ndalang deformatsiyasi
2. Absolyut ko‘ndalang deformatsiya
3. Cho’zilish va siqilishda sterjenning ko’ndalang deformatsiyasi
4. Deformatsiyaning potensial energiyasi

Tayanch so‘z va iboralar: *Absolyut, ko‘ndalang, deformatsiya, siqilish, sterjen, nisbiy, bo‘ylama va proporsional.*

Sterjen bo‘ylama deformatsiyalanganda, uning ko‘ndalang kesim o‘lchamlarining o‘zgarishi ro‘y beradi. Cho‘zuvchi kuch ta’sir etsa, sterjen uzunligi ortadi ko‘ndalang kesim o‘lchamlari qisqaradi. Siqilishda teskarisi ro‘y beradi, ya’ni uzunligi qisqaradi ko‘ndalang kesim o‘lchamlari esa ortadi. Cho‘zilish va siqilishda sterjen ko‘ndalang kesim o‘lchamlarining o‘zgarishi *ko‘ndalang deformatsiya* deb ataladi. Sterjenning dastlabki ko‘ndalang kesim o‘lchamlarini a va b bilan belgilaymiz. Bu o‘lchamlardan biri a tomonining deformatsiyasini qaraymiz, sterjen cho‘zilganda ko‘ndalang a o‘lcham Δa qisqaradi, bunga *absolyut ko‘ndalang deformatsiya* deyiladi, ya’ni $\Delta a = a - a_1$. Absolyut ko‘ndalang deformatsiyaning dastlabki o‘lchamga nisbati $\varepsilon^! = \Delta a / a$ – *nisbiy ko‘ndalang deformatsiya* deb ataladi. Nisbiy ko‘ndalang deformatsiya tegishli nisbiy bo‘ylama deformatsiyaga to‘g‘ri proporsional va ishorasi bo‘yicha teskari: $\varepsilon^! = -\mu\varepsilon$ – bu erda μ *ko‘ndalang deformatsiya koeffitsienti* bo‘lib, materialning mexanik xarakteristikalaridan birini ifodalaydi, bu koeffitsient kattaligi birinchi bo‘lib matematik yo‘l bilan fransuz matematigi Puasson tomonidan aniqlangan. Bu koeffitsient nisbiy ko‘ndalang deformatsiyaning nisbiy bo‘ylama deformatsiyaga nisbatining absolyut qiymatiga teng bo‘lgan o‘zgarmas miqdordir. $\mu = \varepsilon' / \varepsilon$.

Ko‘ndalang deformatsiya koeffitsienti miqdori qanday chegarada o‘zgarishini aniqlaymiz. Buning uchun sterjenning dastlabki holatidan tomonlari uzunliklari 1 birlikka teng bo‘lgan elementar kubni fikran ajratib olamiz. Sterjen cho‘zilganda qaralayotgan kub o‘lchamlari o‘zgaradi, ya’ni vertikal yo‘nalishdagi uzunligi ε nisbiy cho‘zilish miqdoriga ortadi, ko‘ndalang kesimning qolgan har bir o‘lchami $\varepsilon^! = -\mu\varepsilon$ nisbiy siqilish miqdoriga kamayadi. Natijada kubning balandligi $1+\varepsilon$ asos tomonlari $1-\mu\varepsilon$ teng bo‘lgan qiymatlarga erishadi.



Kubning dastlabki hajmi $V = 1$ birlikka teng, deformatsiyadan keyin esa kubning hajmi $V^! = (1+\varepsilon)(1-\mu\varepsilon)^2$ ga teng bo‘ladi. Bu ifodadagi hadlarni ko‘paytirib ikkinchi tartibli kichik hadlarni e’tiborga olmasak kub hajmining nisbiy o‘zgarish quyidagiga teng:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{V^{1} - V}{V} = \frac{1+\varepsilon(1-2\mu)-1}{1} = \varepsilon(1-2\mu) \text{ yoki } \frac{\Delta V}{V} = \frac{\sigma}{E}(1-2\mu).$$

Sterjen cho‘zilganda uning hajmi o‘zgarmasligini e’tiborga olib yuqoridagi tenglikdan: $(1-2\mu) \geq 0$, $2\mu \leq 1$, $\mu \leq 0{,}5$.

Demak bundan ko‘rinadiki, Puasson koeffitsienti nazariy jihatdan 0 dan $0{,}5$ gacha o‘zgarardi. Turli materiallar uchun Puasson koeffitsienti va elastiklik moduli qiymatlari tajriba yo‘li bilan aniqlanadi.

Elastik defomastiyaning potenstial energiyasi

Tashqi kuchlar ko’chishlar jarayonida ish bajaradilar. Bunda ularning potenstial energiyasi kamayib, energiyaning saqlanish qonuniga ko’ra, deformatsiyaning potenstial energiyasiga aylanadi. Tashqi kuch potenstial energiyasining kamaygan miqdorining qiymati deformatsiya jarayonida tashqi kuchning bajargan ishiga tengligidan, deformatsiya potenstial energiyasini aniqlash masalasi tashqi kuchning bajargan ishini hisoblash masalasiga keltiriladi, ya’ni *U=A.*

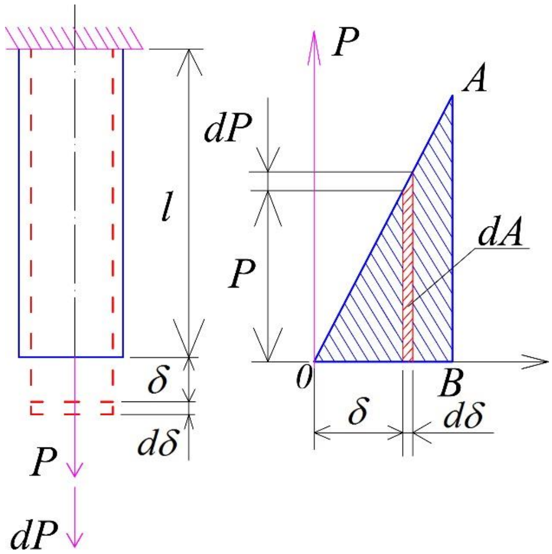
Tashqi kuchlar ta’sirida hosil bo’lgan elastik (qayishqoq) deformatsiya natijasida materialda to’planadigan energiya deformatsiyaning potenstial energiyasi deyiladi. Sterjendan tashqi kuch olinganida uning ta’sirida sterjenning o’lchamlari va shakli qayta tiklanadi. Binobarin, deformatsiyalanuvchi elastik jism energiya manbai bo’lgan «akkumulyatorga» aylanadi (masalan, patefon va mexanik soatlarning prujinasi). Statik o’zgaruvchi kuch ta’sirida ishni aniqlash lozimligidan R-δ grafigidan foydalanish qulay. Deformatsiyalash jarayonining biron lahzasida kuch qiymati R, sterjen pastki kesimining mos ko’chishi $\delta = \Delta l = \frac{Pl}{EF}$ bo’lsin. Keyingi cheksiz kichik lahzada kuch qiymati dR orttirma oladi, ko’rilayotgan kesim bunga mos ravishda

dδo’shimchaga ko’chadi. Bunda tashqi kuch bajargan elementar ish

$dA=(R+dR)d\delta=Rd\delta+dR\cdot d\delta$

Ikkinchi tartibli cheksiz kichik qiymatni tashlab yuborsak, $dA = Pd\delta = P\dfrac{dP \cdot l}{EF}$

tenglamaning ikkala tomonini R bo'yicha integrallasak $A = \dfrac{P^2 l}{2EF} = \dfrac{P\delta}{2}$.



Ushbu ifoda cho'zilishi diagramasidagi *OAV* uchburchak qismining yuzasidan iborat bo'lib, quyidagi Klapeyron teoremasi ko'rinishida ta'riflanadi.

Chiziqli deformatsiyalanuvchi sistemaga statik qo'yilgan kuchning bajargan ishi kuch oxirgi qiymatining tegishli ko'chishning oxirgi qiymatiga ko'paytmasining yarmiga teng:

$A=0,5\ R\delta$ Teoremani deformatsiyaning barcha turlari uchun qo'llash mumkin. U=A ni ekanligini nazarda tutsak,

$$U = \frac{N^2 l}{2EF} = \frac{(\Delta l)^2 EF}{2l} = \frac{\sigma^2 Fl}{2E}.$$

Sterjenning hajm birligiga to'gri kelgan potenstial energiya solishtirma potenstial energiya deyiladi:

$$u = \frac{U}{V} = \frac{\sigma^2}{2E} = \frac{\sigma\varepsilon}{2}.$$

Deformatsiyaning potenstial energiyasi qanchalik kattaroq bo'lsa, yoki uni xarakterlovchi cho'zilish diagrammasining yuzasi qanchalik kattaroq bo'lsa, sterjen materiali shunchalik plastikroq, zarb ta'sirga shunchalik chidamliroqdir.

Nazorat savollar

1.Cho’zilish va siqilishda sterjen ko’ndalang kesimlarida qanday kuchlanish hosil bo’ladi?

2.Cho’zilish va siqilishdagi kuchlanishning qiymati ko’ndalang kesimning qanday geometrik xarakteristikalariga bog’liq?

3.Cho’zilish va siqilishda ko’ndalang kesim o’lchamlari qanday aniqlanadi?

4.Cho’zilish va siqilishda sterjenning yuk ko’tarish qobiliyati qanday topiladi?

5.Cho’zilish va siqilishda absolyut va nisbiy bo’ylama deformatsiya qanday aniqlanadi?

6.Cho’zilish va siqilishdagi absolyut va nisbiy ko’ndalang deformatsiya qanday aniqlanadi?

22-Mavzu: Mavzu: Deformatsiya komponentlarining kuchlanish komponentlari orqali ifodasi

Reja:

1.R. Guk qonuni

2. Anizotrop jismlar uchun deformatsiya va kuchlanish

3.Anizotrop materiallar uchun R. Guk qonuni

4. Ortotrop jismlar uchun umumlashgan Guk qonuni

5. Ortotrop jismlar uchun umumlashgan Guk qonuni

6. Puasson koeffitsienti va elastiklik modullari

7. Guk qonunining teskari ifodasi

Tayanch so‘z va iboralar: *Elastik, deformatsiya, kuchlanish, proportsional, anizotrop, tekislik, simmetrik, teskari, jism, ortotrop, koeffitsient, chiziqli, nisbiy va bo’ylama.*

Kuchlanishlar nazariyasi bilan deformatsiya nazariyasini birgalikda qarash uchun kuchlanish komponentalari bilan deformatsiya komponentalari orasida bog’lanishlarni, ya’ni R.Guk qonunini bilish lozim.R.Guk qonuni fizik qonun bo’lib ko’pgina qurilma materiallari kuchlanishlar nazariyasi bilan deformatsiya orasida chiziqli bog’lanishni ifodalaydi. Qurilma materiallari uchun R. Guk qonuni kuchlanish ma’lum chegaradan oshmasa qo’llash mumkin. Bu chegaraga proportsionallik chegarasi deb ataladi.

Klassik elastik nazariya asosan R. Guk qonuniga tayanadi va jism materiali bir jinsli deb qaraydi, lekin ko’pgina hollar turli yo’nalishlar bo’yicha turli xil xususiyatlarga ega bo’ladi. Bunday jimslarga anizotrop jismlar deb ataladi.

Umuman olganda anizotrop jismlar uchun deformatsiya komponentalari bilan kuchlanish komponentalari orasidagi bog’lanishlar quyidagicha ifodalanadi:

$$\left.\begin{aligned}
\varepsilon_x &= a_{11}\sigma_x + a_{12}\sigma_y + a_{13}\sigma_z + a_{14}\tau_{xy} + a_{15}\tau_{yz} + a_{16}\tau_{zx},\\
\varepsilon_y &= a_{21}\sigma_x + a_{22}\sigma_y + a_{23}\sigma_z + a_{24}\tau_{xy} + a_{25}\tau_{yz} + a_{26}\tau_{zx},\\
\varepsilon_z &= a_{31}\sigma_x + a_{32}\sigma_y + a_{33}\sigma_z + a_{34}\tau_{xy} + a_{35}\tau_{yz} + a_{36}\tau_{zx},\\
\gamma_{xy} &= a_{41}\sigma_x + a_{42}\sigma_y + a_{43}\sigma_z + a_{44}\tau_{xy} + a_{45}\tau_{yz} + a_{46}\tau_{zx},\\
\gamma_{yz} &= a_{51}\sigma_x + a_{52}\sigma_y + a_{53}\sigma_z + a_{54}\tau_{xy} + a_{55}\tau_{yz} + a_{56}\tau_{zx},\\
\gamma_{zx} &= a_{61}\sigma_x + a_{62}\sigma_y + a_{63}\sigma_z + a_{64}\tau_{xy} + a_{65}\tau_{yz} + a_{66}\tau_{zx}.
\end{aligned}\right\}$$

sistemada a_{mn} jismning elastiklik xususiyatini xarakterlovchi koeffitsientlardir.

Bu koeffitsienlarning qiymati qancha katta bo’lsa deformatsiya komponentlari ham shuncha katta bo’ladi, kuchlanish o’zgarmas bo’lgan qiymatda ham. Umumiy holda anizotrop materiallar uchun R. Guk qonunining matritsa ko’rinishi quyidagicha ifodalanadi:

$$\begin{vmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \\ \gamma_{xy} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & a_{26} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} & a_{36} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} & a_{46} \\ a_{51} & a_{21} & a_{53} & a_{54} & a_{55} & a_{56} \\ a_{61} & a_{62} & a_{63} & a_{64} & a_{65} & a_{66} \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \\ \tau_{xy} \end{vmatrix}$$

Bu matrista simmetrik bo’lgani uchun $a_{mn} = a_{nm}$ jismning elastiklik xususiyatini xarakterlovchi 36 koeffitsientlardan 21 tasi noma’lum koeffitsientlardir.

Agar jismning elastiklik xususiyatlari o’zaro perpendikulyar bo’lgan uchta tekisliklar bo’yicha simmetrik bo’lsa, bunday jismga ortotrop jismlar deyiladi.

Ortotrop jismlar uchun umumlashgan Guk qonunidagi 21 ta koeffitsientdan to'qqiztasi qoladi. Ortotrop jismlarda chiziqli nisbiy bo'ylama $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ deformatsiyalar faqat normal $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ kuchlanishlarga bog'liq bo'lib, urinma $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ kuchlanishlarga bog'liq bo'lmaydi. Unda nisbiy burchak deformatsiyalar $\gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}$ faqat urinma $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ kuchlanishlarga bog'liq bo'ladi.

Ortotrop jismlar uchun umumlashgan Guk qonuni bir-biriga bog'liq bo'lmagan ikki guruhga ajraladi:

$$\left.\begin{aligned}\varepsilon_x &= a_{11}\sigma_x + a_{12}\sigma_y + a_{13}\sigma_z,\\ \varepsilon_y &= a_{21}\sigma_x + a_{22}\sigma_y + a_{23}\sigma_z,\\ \varepsilon_z &= a_{31}\sigma_x + a_{32}\sigma_y + a_{33}\sigma_z.\end{aligned}\right\}. \qquad \left.\begin{aligned}\gamma_{xy} &= a_{44}\tau_{xy},\\ \gamma_{yz} &= a_{55}\tau_{yz},\\ \gamma_{zx} &= a_{66}\tau_{zx}.\end{aligned}\right\}$$

Ortotrop jismlar uchun umumlashgan Guk qonuni matrista ko'rinishida quyidagicha ifodalanadilar:

$$\begin{vmatrix}\varepsilon_x\\ \varepsilon_y\\ \varepsilon_z\end{vmatrix} = \begin{vmatrix}a_{11} & a_{12} & a_{13}\\ a_{21} & a_{22} & a_{23}\\ a_{31} & a_{32} & a_{33}\end{vmatrix} * \begin{vmatrix}\sigma_x\\ \sigma_y\\ \sigma_z\end{vmatrix} \quad \begin{vmatrix}\gamma_{yz}\\ \gamma_{zx}\\ \gamma_{xy}\end{vmatrix} = \begin{vmatrix}a_{44} & 0 & 0\\ 30 & a_{55} & 0\\ 0 & 0 & a_{66}\end{vmatrix} * \begin{vmatrix}\tau_{yz}\\ \tau_{zx}\\ \tau_{xy}\end{vmatrix}$$

Ortotrop jismlar uchun umumlashgan Guk qonunidagi elastiklik koeffitsientlari quyidagicha bo'ladi:

$$\begin{aligned}&a_{11} = 1/E_1, \quad a_{12} = 1/E_2, \quad a_{13} = 1/E_3,\\ &a_{12} = a_{21} = -\mu_{21}/E_2 = -\mu_{12}/E_1,\\ &a_{13} = a_{31} = -\mu_{31}/E_3 = -\mu_{13}/E_1,\\ &a_{23} = a_{32} = -\mu_{32}/E_3 = -\mu_{23}/E_2,\\ &a_{44} = 1/G_{23}, \quad a_{55} = 1/G_{132}, \quad a_{66} = 1/G_{12}.\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}&a_{11} = 1/E_1, \quad a_{12} = 1/E_2, \quad a_{13} = 1/E_3,\\ &a_{12} = a_{21} = -\mu_{21}/E_2 = -\mu_{12}/E_1,\\ &a_{13} = a_{31} = -\mu_{31}/E_3 = -\mu_{13}/E_1,\\ &a_{23} = a_{32} = -\mu_{32}/E_3 = -\mu_{23}/E_2,\\ &a_{44} = 1/G_{23}, \quad a_{55} = 1/G_{132}, \quad a_{66} = 1/G_{12}.\end{aligned}$$

Bunda $E_1, E_{2,} E_3$ elastiklik modullar mos ravishda x, y, z koordinata o'qlari bo'yicha; μ_{12}, μ_{21}, μ_{13}, μ_{31}, μ_{23}, μ_{32} Puasson koeffitsientlari. Masalan μ_{12} koeffitsienti normal σ_x kuchlanishdan y o'qi bo'yicha hosil bo'lgan nisbiy ko'ndalang deformatsiya miqdorini, μ_{21} normal σ_y kuchlanishdan x o'qi bo'yicha hosil bo'lgan nisbiy ko'ndalang deformatsiya miqdorini ifodalaydi. Matristadagi koeffitsientlar simmetrik bo'lgani uchun Puasson koeffitsienti bilan elastiklik modullari orasida bog'lanish quyidagicha:

$$\mu_{ij} E_j = \mu_{ji.} E_i.$$

Bu koeffitsientlarni e'tiborga olsak, ortotrop jismlar uchun umumlashgan Guk qonuni quyidagicha bo'ladi;

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E_1}\sigma_x - \mu_{21}\frac{1}{E_2}\sigma_y - \mu_{31}\frac{1}{E_3}\sigma_z,$$

$$\varepsilon_y = -\mu_{12}\frac{1}{E_1}\sigma_x + \frac{1}{E_2}\sigma_y - \mu_{32}\frac{1}{E_3}\sigma_z,$$

$$\varepsilon_z = -\mu_{13}\frac{1}{E_1}\sigma_x - \mu_{23}\frac{1}{E_2}\sigma_y + \frac{1}{E_3}\sigma_z,$$

$$\gamma_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G_{23}}, \qquad \gamma_{zx} = \frac{\tau_{zx}}{G_{31}}, \qquad \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G_{12}}.$$

Agar jismning materiali izotrop bo'lsa, unda koeffitsientlar soni uchta bo'ladi.

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}.$$

Izotrop jismlar uchun umumlashgan Guk qonuni quyidagigacha ifodalanadi:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}\sigma_x - \mu\frac{1}{E}\sigma_y - \mu\frac{1}{E}\sigma_z,$$

$$\varepsilon_y = -\mu\frac{1}{E}\sigma_x + \frac{1}{E}\sigma_y - \mu\frac{1}{E}\sigma_z,$$

$$\varepsilon_z = -\mu\frac{1}{E}\sigma_x - \mu\frac{1}{E}\sigma_y + \frac{1}{E}\sigma_z,$$

$$\gamma_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G}, \qquad \gamma_{zx} = \frac{\tau_{zx}}{G}, \qquad \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}.$$

Guk qonunining teskari ifodasi

Deformatsiyalanuvchan qattiq jismlar nazariyasi masalalarini echishda kuchlanish komponentalari bilan deformatsiya komponentalari orasida bog'lanishni bilish lozim. Kuchlanish komponentalarini deformatsiya komponentalari orqali ifodalash uchun quyidagi amallar bajariladi. Izotrop jismlar uchun umumlashgan Guk qonunining birinchi uchtasini har ikkala tomonlarini hadlab qo'shamiz, natijada

$$\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = \frac{(1-2\mu)\sigma_x}{E} + \frac{(1-2\mu)\sigma_y}{E} + \frac{(1-2\mu)\sigma_z}{E}$$

tenglik hosil bo'ladi:

$$\theta = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z, \qquad S_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z.$$

yuqoridagi tenglamani quyidagi ko'rinishda ifodalash mumkin bo'ladi:

$$\theta = \frac{1-2\mu}{E} S_1, \quad S_1 = \frac{E}{1-2\mu}\theta, \quad S_1 = 3K\theta.$$

Bu ifodadagi hajmiy kengayish moduli quyidagiga teng bo'ladi:

$$K = \frac{E}{3(1-2\mu)}.$$

Umumlashgan Guk qonunining birinchi ifodasi o'ng tomonidagi qavs ichiga $\mu\sigma_x$ ni ham qo'shib ham ayirsak quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}\left[\sigma_x + \mu\sigma_x - \mu\sigma_x - \mu(\sigma_y + \sigma_z)\right] \quad \varepsilon_x = \frac{1}{E}\left[(1+\mu)\sigma_x - \mu S_1\right].$$

Yuqorida keltirilgan ifodani e'tiborga olib nisbiy bo'ylama deformatsiyani quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}\left[(1+\mu)\sigma_x - \frac{E\mu}{1-2\mu}\theta\right].$$

Bundan normal kuchlanishni aniqlash mumkin, ya'ni

$$\sigma_x = \frac{E\mu}{(1+\mu)(1-2\mu)}\theta + \frac{E}{(1+\mu)}\varepsilon_x.$$

Bu ifodaga quyidagi belgilashlarni kiritamiz:

$$\lambda = \frac{E\mu}{(1+\mu)(1-2\mu)}, \qquad \mu = \frac{E}{2(1+\mu)}.$$

Unda umumlashgan R.Guk qonunining qolganlari ustida ham yuqoridagi amallarni bajarib Guk qonuni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\left.\begin{aligned} \sigma_x &= \lambda\theta + 2\mu\varepsilon_x, \ \tau_{xy} = \mu\gamma_{xy}, \\ \sigma_y &= \lambda\theta + 2\mu\varepsilon_y, \ \tau_{yz} = \mu\gamma_{yz}, \\ \sigma_z &= \lambda\theta + 2\mu\varepsilon_z, \ \tau_{zx} = \mu\gamma_{zx}. \end{aligned}\right\}$$

Bu tenglamadagi koeffistiyentlar λ, μ Lyame koeffitsiyentlari bo'lib jismning elastiklik xarakteristikalarini ifodalaydi.

Nazorat savollari

1.Cho'zilish, siljish, egilish va buralishda qanday ichki kuchlar paydo bo'ladi?

2.Oddiy va murakkab qarshilik deganda nimani tushunasiz?

3. To'la kuchlanish deganda nimani tushunasiz?

4.Normal va urinma kuchlanishlar deganda nimani tushunasiz?

5. Ruhsat etilgan kuchlanish deganda nimani tushunasiz?

6. Kuchlanishlarning qanday o'lchov birliklarini bilasiz?

23-Mavzu: Mustahkamlik nazariyalari

Reja:

1. Xavfli kuchlanish holati.
2. Ekvivalent kuchlanish.
3. Mustahkamlik nazariyalari.
4. Eng katta normal kuchlanishlar nazariyasi.
5. Eng katta chiziqli deformatsiyalar nazariyasi.
6. Eng katta urinma kuchlanishlar nazariyasi.
7. Energetik nazariyasi.
8. Mor nazariyasi.

Tayanch so'z va iboralar: *Kuchlanish, konstruktsiya, plastik, po'lat, mo'rt, materiallar, xavfsizlik, plastik, farazlar, komponentlar, ekvivalent va kuchlanish.*

1.Tashqi qo'yilgan kuchlar ta'siri va qiymatiga qarab konstruktsiya elementlarining materiallari xar xil mexanikk holatda bo'lishi mumkin. Kichik tashqi kuchlar ta'sirida jism elastik holatda bo'ladi. Tashqi kuchlar qiymati oshgan sari qoldiq deformatsiyalar hosil bo'ladi. Ya'ni plastik holatga o'tadi. Bu mexanik holatlarni tajriba yordamida aniqlaymiz.

Plastik materiallar po'lat, mis va shunga o'xshash materiallarda qoldiq difformaistiya hosil bo'lib emiriladi.

Mo'rt materiallarda esa emirilish qoldiq deformatsiyasiz bo'ladi. Kuchlar ortgan sari jismlarda kuchlanish holati murakkablashib, chegaraviy holat ya'ni emirilish ro'y beradi. Chegaraviy holatlar murakkab kuchlanish holati konstruksiya elementlarining xavfli xolatini belgilaydi. Chegaraviy holatlarni belgilashda uchta o'q bo'yicha kuchlanishlar hisobga olinishi kerak. Materiallar qarshiligi fani bo'yicha kiritilgan ba'zi farazlarga ko'ra kamchiliklarga yo'l qo'yamiz. Bu kamchiliklarni kamaytirish uchun mustahkamlikka hisoblashning kriteriyalarini aniqlash zarur. Kriteriyalarni aniqlashda xavfsizlik koeffistenti kiritish zarur. Xavfsizlik koeffitsenti deb shunday o'zgarmas songa aytiladiki, agar berilgan kuchlanish holatining komponentlarini hammasini mos ravishda shuncha marta orttirganda bir mexanik holatdan 2-mexanik holatga o'tadi.

2. Teng xavfli kuchlanish holatlarining xavfsizlik koeffistentlari o'zaro teng bo'lsa, teng kuchli ekvivalent kuchlanish deyiladi.

3. Murakkab kuchlanish holatlarini mustahkamlik nazariyalari bo'yicha o'rganamiz. Mustahkamlik nazariyalariga 5 ta nazariya kiradi.

1. Eng katta normal kuchlanish nazariyasi.

2. Eng katta chiziqli deformatsiya nazariyasi.

3.Eng katta urinma kuchlanish nazariyasi.

4. Energetik nazariyasi.

5. Mor nazariyasi.

Mustahkamlik nazariyasi eng katta normal kuchlanishlar nazariyasi deyiladi. Tashqi kuchlar ta'sir etganda konstruksiya elementlarining chegaraviy holati, eng katta normal kuchlanishlar hisobiga hosil bo'ladi.

$$\sigma_{экв} = \sigma_1 \leq [\sigma]$$

Bu nazariya eng katta normal kuchlanishlar nazariyasi. Bu nazariya hozirgi paytda qo'llanilmaydi faqat tarixiy axamiyatga ega. Chunki, σ_2, σ_3 qatnashmaydi.

Mustahkamlik nazariyasi eng katta chiziqli deformatsiyalar nazariyasi deyiladi. Tashqi kuch ta'sir etganda konstruksiya elementlaridagi xavfli holat eng katta deformatsiyalar hisobiga sodir bo'ladi. $\varepsilon_{экв} = \varepsilon_1 \leq \varepsilon$

$$\sigma = \varepsilon \cdot E \rightarrow \varepsilon = \frac{\sigma}{E} \qquad \sigma_{экв} = \sigma_1 - \mu(\sigma_2 + \sigma_3) \leq [\sigma]$$

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – bosh kuchlanishlar.

μ – Puasson koeffistenti.

Bu nazariya 1-nazariya kabi tajribalarda etarli darajada tasdiqlanmagan, faqat mo'rt materiallar uchun o'rinli.

Mustahkamlik nazariyasi eng katta urinma kuchlanishlar nazariyasi deyiladi. Tashqi kuchlar ta'sir etganda konstruksiya elementlaridagi xavfli holat eng katta urinma kuchlanishlar hisobiga sodir bo'ladi.

$$\tau_{\max} \leq [\tau] \qquad \sigma_{экв} = \sigma_1 - \sigma_3 \leq [\sigma]$$

$$\sigma_{экв} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \leq [\sigma]$$

Bu nazariya plastik va mo'rt materiallar uchun o'rinli, kamchiligi σ_2 – hisobiga olinmagan.

Mustahkamlik nazariyasi energetik nazariya, tashqi kuch ta'siridan konstruksiya elementlarida xavfli holat eng katta solishtirma potenstial energiya hisobiga hosil bo'ladi.

$U \leq [U]$

$$\sigma_{экв} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 - \sigma_2 \cdot \sigma_3 - \sigma_1 \cdot \sigma_3} \leq [\sigma]$$

$$\sigma_{экв} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq [\sigma]$$

Bu nazariya hozirgi paytda keng qo'llaniladigan tashqi kuch ta'sirida konstruksiya elementlaridagi xavfli holat bosh kuchlanishlar hisobiga sodir bo'ladi.

$$\sigma_{экв} = \sigma_1 - \frac{[\sigma_2]}{[\sigma_c]} \cdot \sigma_3 \le [\sigma]$$

$[\sigma_ч]$– cho’zilish tolalari uchun ruhsat etilgan kuchlanish.

$[\sigma_c]$– siqilish tolalari uchun ruhsat etilgan kuchlanish.

σ_1, σ_3 – bosh kuchlanishlar.

Bu nazariya asosan mo’rt materiallar uchun ishlaydi.

Nazorat savollari

1. Murakkab kuchlanish holatlarini qanday o’rganasiz?
2. Konstruksiya elementlarida xavfli holat qanday hosil bo’ladi?
3. Mustahkamlik nazariyalarini aytib bering?
4. Bu nazariya hamma materiallar uchun ham o’rinli bo’ladimi?

24-Mavzu: Sof siljish deformatsiya

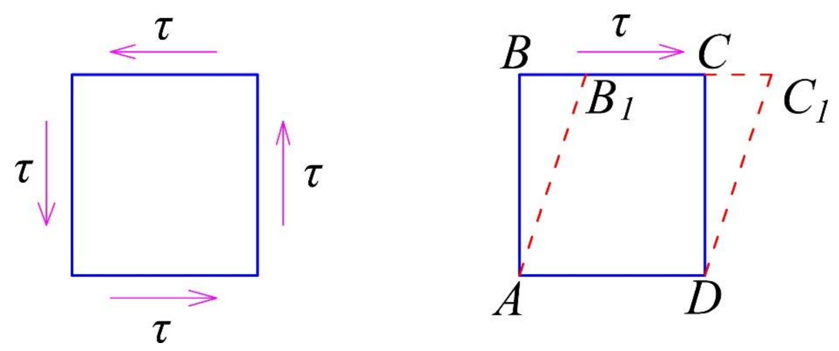
Reja:

1. Sof siljish
2. Sof siljishda absolyut va nisbiy deformatsiya
3. Siljish uchun Guk qonuni
4. Ikkinchi darajali elastiklik moduli. G, E orasidagi bog’lanish
5. Parchin mixli birikmalar hisobi
6. Payvand birikmalar hisobi
7. Siljish uchun mustahkamlik sharti
8. Siljishdagi bikrlik

Tayanch so‘z va iboralar: *Kuchlanishlar, sof, siljish, cheksizlik, romb, absolyut siljish, qiya, urinma, kuchlanish,*

parchin, mix va birikmalar.

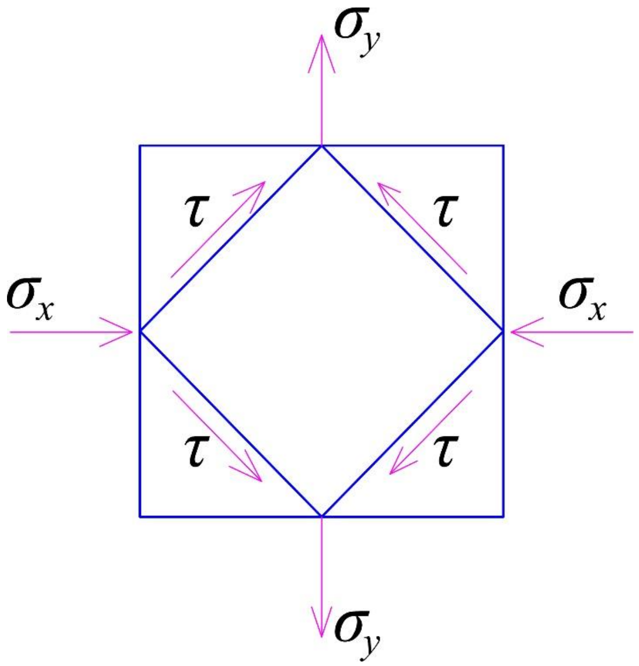
Ajratilgan cheksizlik kichik elementlarning tomonlaridan faqat urinma kuchlanishlar hosil bo’lsa, sof siljish deyiladi. Sof siljish ta’siridan element o’lchamlari o’zgarmaydi. Uning shakli o’zgarib romb shakliga keladi.



$\Delta S = BB_1 = CC_1 -$ Absolyut siljish deyiladi.

γ – siljish burchagi yoki nisbiy siljish deyiladi. $\gamma = \dfrac{\Delta S}{\Delta Z}$

(Siljish uchun Guk qonuni). Tekis bosh kuchlanish holati elementiga 45^0 ostida joylashgan qiya yuzachalarda faqat urinma kuchlanishlar hosil bo'ladi.



Kesimlarda hosil bo'lgan urinma kuchlanishlar nisbiy deformatsiyaga to'g'ri proportsional bo'ladi.

$$\tau = \sigma \cdot \gamma$$

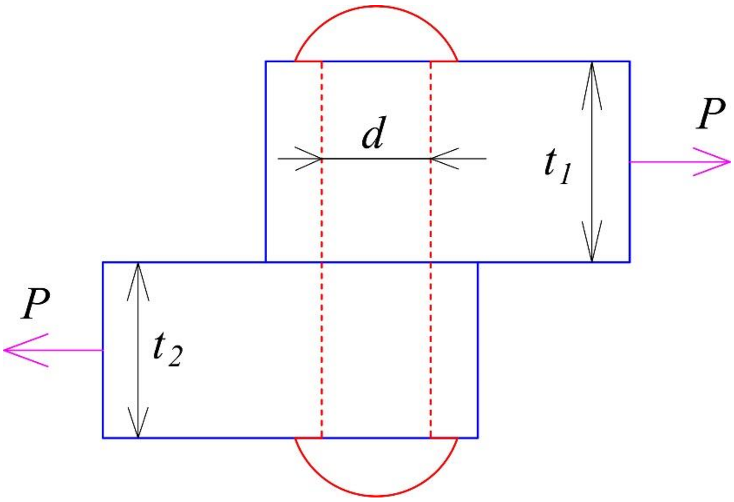
Siljish uchun Guk qonuni ifodasi.

Bu erda G - ikkinchi tartibli Yung moduli.Ikkinchi tartibli Yung moduli birinchi tartibli Yung moduli bilan quyidagicha bog'langan.

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

bu erda E – birinchi tartibli Yung moduli; μ – Puasson koeffitsenti.

Parchin mixli birikmalar hisobi. Parchin mixli birikmalarning parchin mixlari siljishga ulanuvchi listlarning devorlari ezilishga hisoblanadi.



$$\tau = \frac{P}{n \cdot F_{м}} = \frac{P}{n \cdot \frac{\pi d^2}{4}} \le [\tau]$$

Bu erda. n — Parchin mixlar soni.

$F_{м}$ – mixning kesim yuzasi.

$[\sigma]$ – Parchin mix tayyorlash uchun ruxsat etilgan urinma kuchlanish.

$$\sigma_{эз} = \frac{p}{n \cdot t \cdot l} \le [\sigma_{эз}]$$

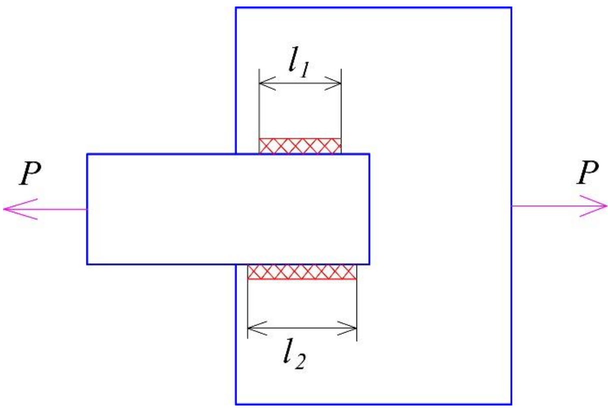
Bu erda t – eng yupqa listning qalinligi.

l – yupqa listning uzunligi

$[\sigma_{эз}]$ –list materiali uchun egilish ruxsat etilgan kuchlanish.

Payvand birikmalarining choklari siljishga hisoblanadi. Siljish, kesimlarda urinma kuchlanishlar bo'yicha hisoblanadi.

$$\tau_{эз} = \frac{p}{0{,}7h(l_1 + l_2)} \le [\tau]$$

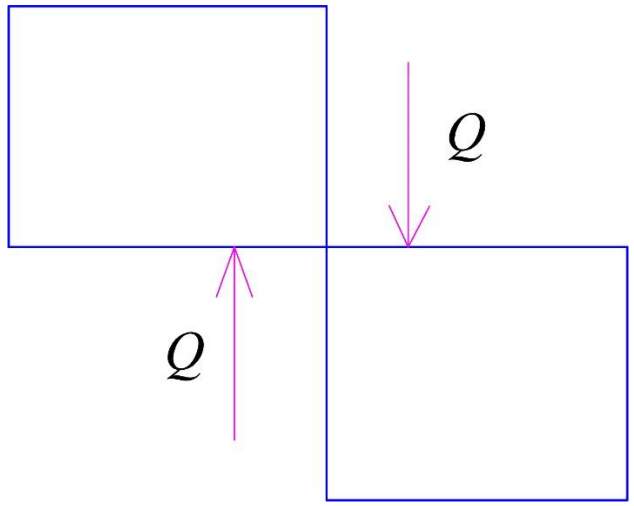


h – payvand chokning balandligi

$l_1 - l_2$ – choklarning uzunliklari.

$[\tau]$– ruxsat etilgan urinma kuchlanish

Siljishdagi urinma kuchlanish ko'ndalang kuchning kesim yuzasi nisbati bilan o'lchanadi.



$\tau = \dfrac{Q}{F}$ Siljish uchun mustahkamlik sharti.

$$\tau = \frac{Q}{F} \leq [\tau]$$

Ikkinchi tartibli Yung modulining kesim yuzasiga ko'paytmasi GF siljishdagi bikrlik deyiladi. EF – cho'zilish va siqilishdagi bikrlik, EJ_x – egilishdagi bikrlik.

Nazorat savollari

1. Siljishdagi urinma kuchlanish qanday o'lchanadi?
2. Payvand birikmalarining choklari qanday hisoblanadi?
3. Siljish uchun Guk qonuni ifodasi qanday hisoblanadi?
4. Siljishdagi bikrlik deb nimaga aytiladi?

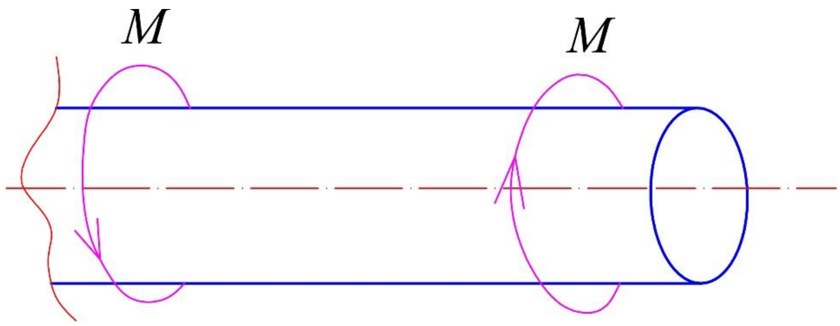
25-Mavzu: Buralish deformatsiyasi

Reja:

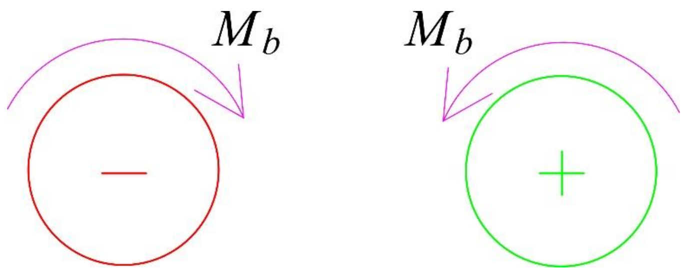
1. Buralish
2. Burovchi moment va ishoralari
3. Buralishda urinma kuchlanishlar
4. Buralishda mustahkamlik sharti
5. Kesimni rastional tashlash
6. Buralishda bikrlik sharti
7. Buralishda bikrlik
8. Buralishdagi ichki zo'riqish kuchlari

Tayanch so'z va iboralar: *Buralish, bikrlik, rastional, moment, urinma, ichki zo'riqish, sterjen, deformatsiyalanish, qutb va inerstiya.*

Z O’qiga tik tekislikda kuchlariga teng va qarama-qarshi yo’nalgan kuchlar jufti qo’yilgan bryuslarning deformatsiyalanishi buralish deyiladi. Buralish deformatsiyasida sterjen kesimlarida ichki zo’riqish kuchlaridan faqat burovchi moment hosil bo’ladi.



Sterjenning ixtiyoriy kesimidagi burovchi moment, xayolan kesib qoldirilgan qismga qo’yilgan barcha tashqi kuchlardan sterjen o’qi z ga nisbatan olingan momentlarning algebraik yig’indisiga teng. Kesimdagi burovchi moment soat strelkasi bo’ylab yo’nalsa, manfiy ishorada soat strelkasiga qarama-qarshi yo’nalishda, musbat ishorada olinadi.



Sterjen kesimlarida burovchi moment ta’siridan faqat urinma kuchlanishlar hosil bo’ladi va quyidagicha aniqlanadi.

$$\tau = \frac{M_б \cdot \rho}{J_\rho}$$

M_δ – burovchi moment

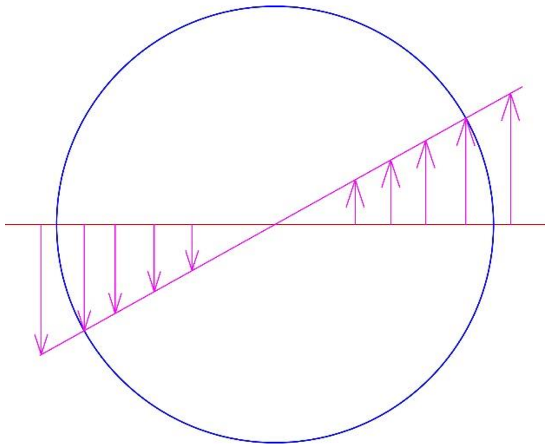
J_ρ – qutbga nisbatan inerstiya momenti.

ρ – egrilik radiusi.

Sterjen kesimlarida hosil bo’lgan eng katta urinma kuchlanishlar sterjen materiali uchun ruxsat etilgan kuchlanishdan ortmasligi shart.

$$\tau_{\max} = \frac{(M_\delta)_{\max} \rho_{\max}}{J_\rho} \leq [\tau] \text{ yoki } \tau_{\max} = \frac{(M_\delta)_{\max}}{W_\rho} \leq [\tau]$$

$W_\rho = \dfrac{J_\rho}{\rho_{\max}}$ – qutbga nisbatan qarshilik momenti.



Burilishda mustahkamlikka hisoblash sharti formulasidan kesimning shaklini qarshilik momenti qancha katta bo'lsa, shu shaklni kesish buralishda rastional tanlangan xisoblanadi. Kesim shakli rastional bo'lishi uchun kesimning asosiy qismi shakl og'irlik markazidan mumkin qadar uzoqda joylashtirish kerak.

Burilishda eng katta deformatsiya ruxsat etilgan kuchlanishlardan ortmasligi shart. Buralishda ko'chish burchakli bo'ladi.

$\varphi_{\max} \le [\varphi]$ valning burilishdagi bikrlik sharti. Bu erda φ - siljish uchun Guk qonunidan foydalanib topiladi.

$$\phi = \int_{(\ell)} \frac{M_б \cdot dz}{G \cdot J_\rho}$$

Ikkinchi tartibli Yung modulining qutbga nisbatan inerstiya momentiga ko'paytmasi burilishdagi bikrlik deyiladi. $G \cdot J_\rho$ — burilishdagi bikrlik, EF – cho'zilish siqilishdagi bikrlik, EJ_x – egilishdagi bikrlik, GF – siljishdagi bikrlik.

Nazorat savollari

1. Sterjen kesimlarida urinma kuchlanishlar qanday hosil bo'ladi?
2. Sterjen kesimlarida burovchi moment qanday hosil bo'ladi?
3. Burilishdagi bikrlik deb nimaga aytiladi?
4. Ikkinchi tartibli Yung moduli nimaga teng?

26-Mavzu: Murakkab qarshilik. Qiya egililsh

Reja:

1. Murakkab qarshilik
2. Qiyshiq egilish
3. Qiyshiq egilish uchun ichki kuchlarni aniqlash
4. Qiyshiq egilishda normal kuchlanishni aniqlash
5. Qiyshiq egilishda neytral o'q holati
6. Qiyshiq egilishda mustahkamlik sharti
7. Qiyshiq egilishda ko'chishni aniqlash

Tayanch so'z va iboralar: *Qiyshiq, egilish, mustahkamlik, ko'chish, normal kuchlanish, zo'riqish kuchlar, deformatsiya, konstruksiya, inerstiya va epyura.*

Murakkab qarshilik. Konstrkustiya elementlarida mashina qismlarida bir nechta oddiy deformatsiyaning birgalikda ta'siri murakkab qarshilik deyiladi. Konstruksiya elementlari kesimlarida ikki va undan ortiq ichki zo'riqish kuchlarining hosil bo'lishi murakkab qarshilik hisoblanadi. Murakkab qarshilik quyidagi turlarga bo'linadi:

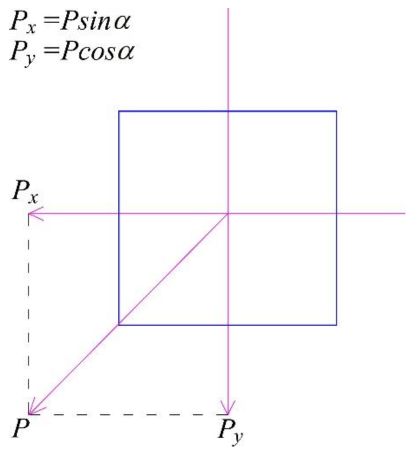
1.Qiyshiq egilish.

2.Markaziy bo'lmagan cho'zilish va siqilish.

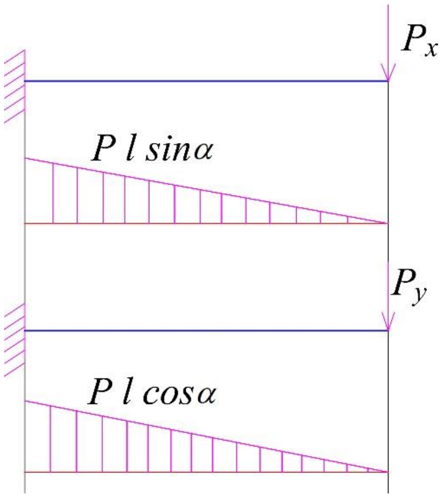
3.Egilish bilan burilishning birgalikdagi ta'siri.

Qiyshiq egilish. To'singa ta'sir etayotgan tashqi kuch bosh inerstiya momentiga mos tushmasa *qiyshiq egilish* deyiladi.

Qiyshiq egilishni hisoblash uchun to'singa qo'yilgan tashqi kuch bosh inerstiya o'qlari bo'ylab tashkil etuvchilarga ajratamiz.



Qiyshiq egilish uchun ichki kuchlarni aniqlash. Bosh inerstiya tekisliklari bo'yicha tashkil etuchi tashqi kuchlar ta'siridan eguvchi moment epyurasini quramiz.



$0 \le Z \le \ell$

$M_x = -P_x \cdot z = -P\sin\alpha \cdot z$

$0 \le Z \le \ell$

$M_y = -P_y \cdot z = -P\cos\alpha \cdot z$

Qiyshiq egilishda normal kuchlarnishni aniqlash. $\sigma = \sigma(M_x) + \sigma(M_0)$

$$\sigma(M_X) = \frac{M_x \cdot Y}{I_x}, \sigma(M_y) = \frac{M_y \cdot Y}{I_y}, \sigma = \frac{M_x \cdot Y}{I_x} + \frac{M_y \cdot X}{I_y}.$$

M_x, M_u – eguvchi momentlar.

X, U – kuchlarni aniqlash kerak bo'lgan nuqtaning koordinatalri.

I_x I_y – X, U o'qqa nibatan kesimning inerstiya momentlari.

Qiyshiq egilishda neytral o'q holati. Qiyshiq egilishda neytral o'q holatini aniqlash uchun normal kuchlanishni 0 ga tenglaymiz.

$$\sigma = \frac{M \cdot \sin\alpha \cdot y}{I_x} + \frac{M \cdot \cos\alpha \cdot x}{I_y} = 0,\ \ y = -\frac{I_x}{I_x} x \cdot ctg\alpha.$$

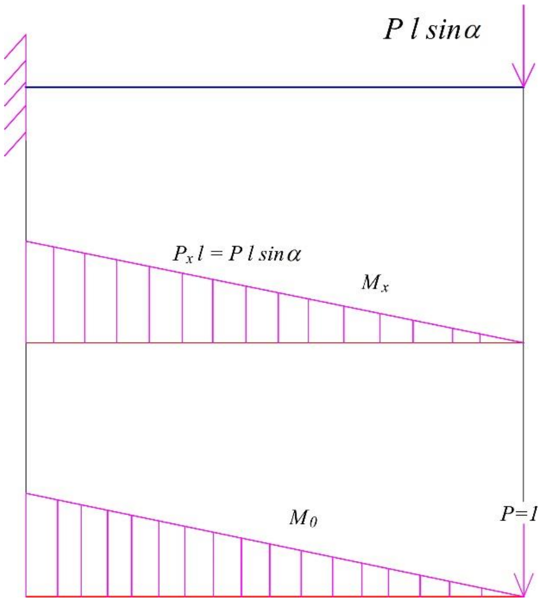
Qiyshiq egilishda mustaxkamlik sharti quyidagicha ifodalanadi. To'sin kesimlaridagi hosil bo'ladigan eng katta kuchlanishlar to'sin materiali uchun ruxsat etilgan kuchlanishdan ortmasligi shart.

$$\sigma_{\text{мах}} = \frac{M_x y_{\text{мах}}}{I_x} + \frac{M_y x_{\text{мах}}}{I_y} = M\frac{(\sin\alpha \cdot y_{\text{мах}}}{I_x} + \frac{cos\alpha)}{I_y} \le [\sigma]$$

$$\text{yoki} \quad \sigma_{\text{мах}} = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \le [\sigma], \quad W_x = \frac{I_x}{W_x}, \quad W_y = \frac{I_y}{X_{\max}}$$

W_x, W_y egilishdagi kesimning qarshilik momenti.

Qiyshiq egilishda ko'chishni aniqlash. Qiyshiq egilishda to'sin nuqtalarining ko'chishlarini Kostilyano teoremasi, Mor integrali, Vereshagin usulida hisoblaymiz.



Vereshagin usulini qo’llash uchun qaysi nuqtaning ko’chishini aniqlash kerak bo’lsa, shu nuqtaga birga teng fiktiv kuch qo’shilib eguvchi moment epyurasi quriladi.

$$\delta_x = (ЭM_x)\cdot(ЭM^0)$$

$$\delta = \sum \frac{\omega \cdot M_c^0}{EI_x}$$

ω – M_x epyurasining yuzasi.

$$\omega = \frac{l\sin\alpha}{2} = \frac{Pl^2 \cdot \sin\alpha}{2}$$

M_c^0 – olingan yuzaning og’irlik markaziga mos keluvchi birlik kuchi ta’siridagi chizilgan eguvchi moment epyurasidagi ordinata.

$$\delta_x = \frac{\frac{Pl^2\sin\alpha}{2}\cdot\frac{2}{3}l}{EI_x} = \frac{Pl^3\sin\alpha}{3EI_x}$$

ω – M_x epyurasining yuzasi.

Nazorat savollari

1. Qiyshiq egilishda ko’chishni qanday aniqlanadi?
2. Qiyshiq egilishda neytral o’q holatini qanday aniqlanadi?
3. Murakkab qarshilik deb nimaga aytiladi?
4. Fiktiv kuch nima?

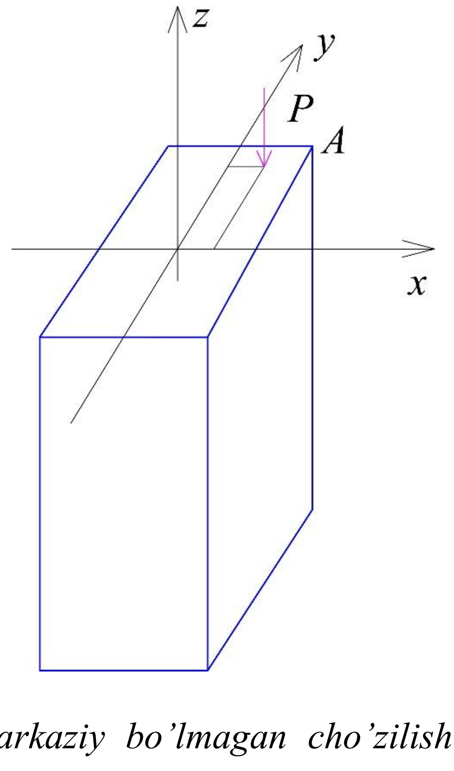
27-Mavzu: Markaziy bo'lmagan cho'zilish va siqilish. Egilish bilan buralishning birgalikdagi ta'siri

Reja.

1. Markaziy bo'lmagan cho'zilish va siqilish.
2. Markaziy bo'lmagan cho'zilish va siqilishda normal kulanishlarni aniqlash.
3. Markaziy bo'lmagan cho'zilish va siqilishda nytral o'q xolati.
4. Markaziy bo'lmagan cho'zilish va siqilishda mustaxkamlik sharti.
5. Kesim yadrosi.
6. Egilish bilan buralishning birgalikdagi ta'siri.
7. Egilish va cho'zilish (siqilish)ning birgalikdagi ta'siri

Tayanch so'z va iboralar: *Brus, cho'zilish, siqilish, qutb, kesim, ekssentrisitet, normal,* inertsiya radiuslari, *kuchlanish, eguvchi va momen.*

Brusni cho'zadigan yoki siqadigan kuch brus o'qiga parallel lekin kuch qo'yilgan nuqta kesimning og'irlik markaziga mos kelmasa markaziy bo'lmagan cho'zilish yoki siqilish deb ataladi.Kuch qo'yilgan nuqta qutb deyiladi.Qutbdan kesimning og'irlik markazigacha bo'lgan masofa "ekssentrisitet" deyiladi.

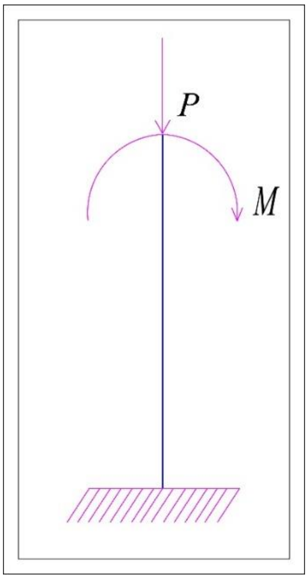


A – qutb nuqta

OA - ekssentrisitet

x, u – kuch qo'yilgan nuqta koordinatalari

Markaziy bo'lmagan cho'zilish va siqilishda hisoblash uchun R kuchni og'irlik markaziga ko'chirib X va U o'qlari atrofidagi momentlarni Z o'qiga joylaymiz. markaziy bo'lmagan cho'zilish va siqilishda sterjen kesimlarida M_u ichki zo'riqish kuchlari ta'siridan quyidagi normal kuchlanish hosil bo'ladi.



$$\sigma(M_x) = \frac{M_x \cdot Y}{I_x}, \quad \sigma(M_y) = \frac{M_y \cdot Y}{I_y}$$

$$\sigma(n) = \frac{N}{F}, \quad \sigma = -\frac{N}{F} + \frac{M_x \cdot Y}{I_x} + \frac{M_y \cdot X}{I_y}$$

M_x, M_u – eguvchi momentlar

x, u – kuchlanishni aniqlash kerak bo'lgan nuqtaning koordinatalari.

I_x I_y –x, u o'qlarga nisbatan inerstiya momentlari.

$i_x^2 = \frac{I_x}{F}, \quad i_y^2 = \frac{I_y}{F}$ – inertsiya radiuslari formulasidan

$I_x = i_x^2 F \quad I_y = i_y^2 F$ normal kuchlanish quyidagicha bo'ladi:

$$\sigma = \frac{1}{F}\left(N + \frac{M_x \cdot y}{i_x^2} + \frac{M_y X}{i_x^2}\right)$$

Normal kuchlanish O ga teng bo'lgan o'q neytral o'q deyiladi. Neytral o'q holatini quyidagicha aniqlaymiz.

$$\sigma = 0, \; N = \frac{P}{F}, \quad M_x = P \cdot Y_p,$$

$$M_y = P \cdot X_p, \quad 1 + \frac{Y \cdot Y_p}{i_x^2} + \frac{X \cdot X_p}{i_y^2} = 0$$

neytral o'q tenglamasi.

Neytral o'q hech qachon kesim og'irlik markazidan o'tmaydi.Neytral o'q qutb joylashgan chorakni kesib o'tmaydi. Qutb o'qda joylashsa neytral o'q shu o'qga tik yo'naladi.

Agar qutb koordinatalari kesim markazlariga yaqinlashsa neytral o'q kesim markazidan uzoqlashadi.

Markaziy bo'lmagan cho'zilish va siqilishda brus kesimlarida hosil bo'ladigan eng katta normal kuchlanish brus materiali uchun ruxsat etilgan normal kuchlanishdan ortmasligi shart.

$$\sigma_{мах} = \frac{N}{F} + \frac{Mx}{W_x} + \frac{My}{W_y} \leq [\sigma]$$

N – normal kuch.

M_x M_u – eguvchi momentlar.

W_x W_u – x va u o'qlariga nisbatan qarshilik momentlari.

[σ] – ruxsat etilgan kuchlanish.

5. Brus kesimining og'irlik markazi atrofidagi bir xil ishorali kuchlanish paydo bo'lishi uchun bo'ylama kuch qo'yilish lozim bo'lgan soxa «kesim yadrosi» deb ataladi.

Egilish bilan buralishning birgalikdagi ta'siri Deformatsiya ta'siridagi brus kesimlarida eguvchi moment va burovchi moment hosil bo'lsa egilish bilan buralishning birgalikdagi ta'siri bo'ladi.

Bunday murakkab qarshiliklar transmission val tirsakli val va shunga o'xshash konstruksiyalar hisobida ko'rish mumkin eguvchi moment ta'siridan normal kuchlanish va burovchi moment ta'siridan urinma kuchlanishlar hosil bo'ladi.

$$\sigma = \frac{M_x \cdot У}{I_x}, \qquad \tau = \frac{M_б \cdot \delta}{I_\delta}.$$

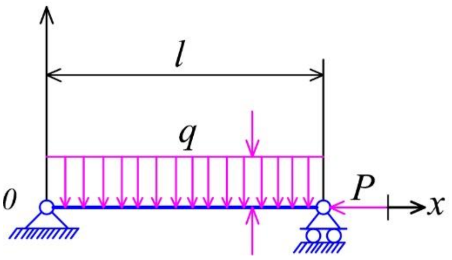
Egilish bilan buralishning birgalikdagi ta'sirini hisoblash uchun ekvivalent kuchlanishni aniqlab, Morning mustahkamlik nazariyasidan foydalanamiz.

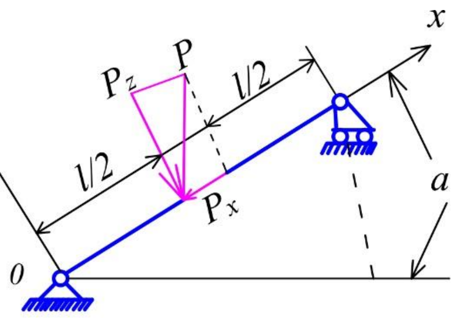
$$M_x^{III} = \sqrt{M_э^2} + M_б^2, \qquad M_x = \sqrt{M_э^2} + 0,75M_б^2.$$

$$\sigma_{экв} = \sqrt{\sigma^2 + \phi\tau^2} \leq [\sigma], \quad \sigma_{экв} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq [\sigma].$$

Egilish va cho'zilish (siqilish)ning birgalikdagi ta'siri

Amalda shunday hollar mavjudki, sterjen egilishdan tashqari cho'zilish yoki siqilish ta'sirida ham bo'ladi. Bu hol balkaga bir nechta bo'ylama va ko'ndalang kuchlar yoki faqat bitta kuch ta'sir etganda ro'y beradi.





Odatda egilishdagi urinma kuchlanishlarni e’tiborga olmay faqat normal kuchlanishlar topiladi, chunki urinma kuchlanish normal kuchlanishga nisbatan juda kichik.

Murakkab qarshilikda normal kuchlanishni topish masalasini egilishdagi normal kuchlanishni topish va cho’zilish yoki siqilishdagi kuchlanishlarni topishdan iborat ikki qismga ajratish mumkin. Brus kesimi har bir nuqtasidagi to’la kuchlanish aytilgan kuchlanishlar algebraik yig’indisiga teng.

Masalan, *a* rasmda tasvirlangan hol uchun kesim chap tayanchdan *z* masofadagi ixtiyoriy nuqtasidagi ***q*** yuk ta’siridan normal kuchlanishlar

$$\sigma_q = \frac{M_x y}{J_x}$$

N_z kuchi ta’siridan siqilishdagi kuchlanish ko’ndalang kesim yuzasi bo’ylab tekis taqsimlangan, barcha kesimlar uchun bir xil va quyidagiga teng:

$$\sigma_p = -\frac{N}{F}$$

To’la kuchlanish

$$\sigma = -\frac{N}{F} + \frac{M_x y}{J_x}$$

Qiyshiq egilish va cho’zilish yoki siqilishning bir paytdagi ta’siri uchun brus ixtiyoriy nuqtasi kuchlanishi uchun quyidagi umumiy formula o’rinli

$$\sigma = \frac{N}{F} + \frac{M_x y}{J_x} + \frac{M_y x}{J_y}$$

Yuqoridagi tenglamadan (+) ishora turli kuch faktorlaridagi hosil bo’layotgan kuchlanishlar yig’indisi olinganini bildiradi. Oldingidek cho’zuvchi ***N*** kuch musbat,

M_x, M_y lar kesim birinchi choragida cho’zuvchi kuchlanishlarni hosil qilsa, ularning ishorasini musbat deymiz.

Neytral o’q tenglamasini chap ifodasini nolga tenglab olish mumkin

$$\frac{N}{F}+\frac{M_x y}{J_x}+\frac{M_y x}{J_y}=0$$

Yuqoridagi tenglamaga kiruvchi neytral o’q o’tgan ko’ndalang kesim nuqtasi koordinatalari birinchi darajada bo’lgani uchun, neytral o’q to’g’ri chiziqdan iborat bo’ladi.

x =u=o holda yuqoridagi tenglama bajarilmaydi, demak neytral o’q kesim og’irlik markazidan o’tmaydi. Odatda neytral o’qni qurish uchun bosh inerstiya o’qlari yotgan kesim bilan neytral o’q kesishgan nuqta holati aniqlanadi. Qiyshiq egilishdagi kabi sterjen kesimi ikkita simmetriya o’qi bir paytning o’zida bosh markaziy o’qlar hisoblanadi. Neytral o’qning *x* o’qi bilan kesishish nuqtasida *y* qiymati nolga teng.

$$x=\frac{NJ_y}{FM_y} \qquad y=\frac{NJ_x}{FM_x}$$

M_x yoki M_u nolga teng bo’lgan holda, ya’ni to’g’ri egilish va bo’ylama kuch kombinastiyasida, neytral o’q egilishidagi neytral o’qqa parallel bo’ladi.

Absolyut miqdor jihatidan eng katta kuchlanishlar neytral o’qdan eng uzoqdagi ko’ndalang kesim burchak nuqtalarida hosil bo’ladi, hamda ular bir xil yoki turli ishorali bo’lishi mumkin. Eng katta siquvchi kuchlanishlar miqdor jihatidan cho’zuvchi kuchlanishlarga teng emas. Eng katta kuchlanishlar, ruxsat etilgan kuchlanishlardan ortib ketmasligi kerak.

$$\sigma^{\max}=\frac{N}{F}+\frac{M_x}{W_x}+\frac{M_y}{W_y}\leq\sigma$$

Yuqoridagi ifoda egilish va cho’zilish birgalikda ta’sirining mustahkamlik sharti deyiladi. Plastik materiallar uchun eng katta kuchlanishning absolyut miqdorini topib, ularni ruxsat etilgani bilan solishtirish kifoya.

Mo’rt meteriallar uchun eng katta siquvchi va cho’zuvchi kuchlanishlarni aniqlab, olingan natijani mustahkamlik shartiga qo’yish kerak.

Nazorat savollari

1. Egilish bilan buralishning birgalikdagi ta’siri qachon sodir bo’ladi?
2. Urinma kuchlanish qachon sodir bo’ladi?
3. Neytral o’q holati qanday aniqlanadi?
4. O’qlarga nisbatan inerstiya momentlari qanday bo’ladi?
5. Sterjenning neytral o’q tenglamasi qanday aniqlanadi?
6. Sterjenning neytral o’qi qanday shart bajarilganda to’g’ri chiziqdan iborat bo’ladi?

GLOSSARIY

Absalyut cho'zilish – jism bo'ylama o'lchamining uzayishi.

Absalyut qisqarish – jism bo'ylama o'lchamining qisqarishi.

Balka – ikki tayanchga qo'yilgan va o'qiga tik yo'nalgan kuchlar ta'siridagi brus.

Bikrlik – konstruksiya elementlarining tashqi kuch ta'siridan deformatsiyaga qarshilik ko'rsatish qobilyatidir.

Bo'ylama kuch – brus ko'ndalang kesimida hosil bo'lgan ichki normal kuchlarning teng ta'sir etuvchisi.

Bo'ylama kuch epyurasi – bo'ylama kuchni brus o'qi bo'yicha o'zgarish qonunini ko'rsatuvchi grafik.

Brus – ko'ndalang kesim o'lchamlari uzunlik o'lchamiga qaraganda juda kichik bo'lgan jismlar.

Deformastiya – jismlarning tashqi kuch ta'siridan o'z geometrik shaklini o'zgartirishi.

Dinamik kuchlar – juda qisqa vaqt ichida o'z qiymati yoki holatini o'zgartiradigan kuchlar.

Doimiy kuchlar – inshootlarga butun xizmat davomida uzluksiz ta'sir qiladigan kuchlar.

Elastik deformastiya – jismlarda tashqi kuch ta'siridan hosil bo'lgan deformastiya jismdan kuch olingach butunlay yo'qolib ketishi.

Ferma – bir necha sterjenlarni sharnirlar yordamida biriktirilishidan hosil bo'lgan geometrik o'zgarmas sistema.

Ichki yoki zo'riqish kuchlari – jismni hosil qiluvchi atom zarrachalari orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari.

Kuchlanish – yuza birligiga to'g'ri kelgan ichki kuch.

Massiv – uchala o'lchami bir xil tartibda bo'lgan jismlar.

Mustahkamlik – konstruksiya elementlariga tashqi kuch ta'sir etganda uning emirilmay qolish qobilyatidir.

Muvaqqat kuchlar – inshootlarga cheklangan vaqt oralig'ida ta'sir qiladigan kuchlar.

Nisbiy deformastiya – jismning uzunlik birligiga to'g'ri keladigan absolyut deformastiyalar.

Plastik yoki qoldiq deformastiya - jismlarda tashqi kuch ta'siridan hosil bo'lgan deformastiya jismdan kuch olingach butunlay yo'qolib ketmasligi.

Plastinka – qalinligiga nisbatan qolgan ikki o'lchami katta bo'lib, tekis sirt bilan chegaralangan jismlar.

Qobiq - qalinligiga nisbatan qolgan ikki o'lchami katta bo'lib, egri sirt bilan chegaralangan jismlar

Rama – bir necha bruslar bikr qilib tutashtirilishidan hosil bo'lgan sterjenlar sistemasi.

Statik kuchlar – vaqt bo'yicha shunchalik sekin qo'yiladigan va konstrukstiya nuqtalarida tezlanish hosil bo'lmaydi deb hisoblanadigan kuchlar.

Sterjen – o'q bo'ylab cho'ziluvchi yoki siqiluvchi bruslar.

To'plangan kuchlar – inshootning kichik yuzasiga, amalda shartli ravishda nuqtaga ta'sir qiluvchi kuchlar.

Ustivorlik – konstruksiya elementlarining tashqi kuch ta'siridan konstruktor tamonidan berilgan shaklini saqlash qobilyatidir.

Yoyilgan kuchlar – inshoot qismining ma'lum yuzasi yoki uzunligi bo'yicha uzluksiz ravishda ta'sir qiluvchi kuchlar.

Adabiyotlar ro'yxati

1. М.Т.Ўрозбоев “Материаллар қаршилиги курси”, Тошкент: “Ўқитувчи” , 1979, 510 б.

2. К.М.Мансуров “Материаллар қаршилиги”, Тошкент: “Ўқитувчи”, 1983, 504 б.

3. А.Ф.Смирнов тахрири остида “Материаллар қаршилиги”, Тошкент: “Ўқитувчи”, 1988, 464 б.

4. Б.А.Ободинский, С.Е.Ханин “Материаллар қаршилигидан мисол ва масалалар”, Тошкент: “Ўқитувчи”, 1980, 400 б.

5. А.В.Дарков, Г.С.Шапиро “Сопротивление материалов”, М: “Высшая школа”, 1989, 629 с.

6. И.А.Биргер, Р. Р. Мавлютов “Сопротивление материалов”, М. Наука, 1986, 560 стр.

7. М.А.Калтунов, А.С.Кравчук, В.П.Майборода. Прикладная механика деформируемого твёрдого тела. М. “Высшая школа”, 1983,349 с.

8. И.Г.Терегулов “Сопротивление материалов и основы теории упругости пластичности”. М.“Высшая школа”, 1984, 472 стр.

9. В.И.Самуль “Основы теории упругости и пластичности”, М., “Высшая школа”, 1982.

10. М.М.Мирсаидов, И.Е.Трояновский. Динамика неоднородных систем с учетом внутренней диссипации и волнового уноса энергии. Ташкент: Фан, 1990, 108 стр.

Mundarija

Содержание

Content