

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI
ALISHER NAVOIY NOMIDAGI SAMARQAND DAVLAT UNIVERSITETI
MEXANIKA-MATEMATIKA FAKULTETI
"NAZARIY VA AMALIY MEXANIKA" KAFEDRASI

KENJAYEV SHERALI

TEKIS YUKLANGAN MATERIAL NUQTADAGI
KUCHLANGANLIK HOLATINI TEKSHIRISH

"5140300 -mexanika" ta'lim yunalishi bo'yicha

Bakalavr darajasini olish uchun

BITIRUV MALAKAVIY ISHI

Ilmiy rahbar:

dots. Berdiyev Sh.

2016 yil "____" _____

Bitiruv malakaviy ishi "Mexanika" kafedrasida bajarildi.

Kafedraning 2016 yil "29" maydagi majlisida muhokama qilindi
va himoyaga tavsiya etildi (10-bayonnoma)

Fakultet dekani:

dots. Ro'zimurodov X.

Kafedra mudiri:

dots. Berdiyev Sh.

Bitiruv malakaviy ishi YaDAKning 2016 yil "____" iyundagi majlisida
himoya qilindi va _____ ball bilan baholandi. (____ - bayonnoma)

YaDAK raisi: _____

A'zolar: _____

Samarqand 2016

**Alisher Navoiy nomidagi Samarqand davlat universiteti Mexanika-
matematika fakulteti Amaliy matematika, informatika va mexanika
bo'limi 4-lurs talabasi Kenjayev Sheralining “Tekis yuklangan
material nuqtadagi kuchlanganlik holatini tekshirish”
nomli bitiruv malakaviy ishiga ilmiy rahbar**

MULOHAZASI

Talaba Kenjayev Sherali tomonidan bajarilgan bitiruv malakaviy ishi kirish, ikki bob, xulosa va foydalanilgan asosiy adabiyotlar ro'yxatidan iborat. Birinchi bob nuqtaning kuchlanganlik va deformatsiyalanganlik holati deb nomlangan bo'lib o'z ichiga uchta paragrafni olgan. Birinchi paragrafda nuqtaning kuchlanganlik holati haqida bayon qilingan, ikkinchi paragraf kuchlanishlarning juftlik qonuniga kiyingi paragraf tekis kuchlanish holatida qiyas uyezachalar bo'yicha kuchlanishlarni aniqlashga bag'ishlangan.

Ikkinchi bob bosh kuchlanishlar va bosh yuzachalar deb nomlangan bo'lib o'z ichiga bosh kuchlanishlar, ekstrimal urinma kuchlanishlar, teks va hajmiy kuchlanish holti uchun Guk qonunini topishga, so'nggi paragraf esa yuqorida boyon etilganlarni e'tiborga olib tekis kuchlanganlik holatini tekshirish bo'yicha amaliy masala yechishga bag'ishlangan.

Ushbu masalani yechish maboynda analitik usulda Mor aylana diagrammasi asosida bosh kuchlanishlar qiymati va ularning yo'nalishlari, eng katta urinma kuchlanishlar ta'sir qiladigan maydonchalar holatlari aniqlangan. Mustahkamlik gipotezalaridan birini qo'llab qaralayotgan nuqtada material mustahkamlikka tekshirilgan, element uchun nisbiy chiziqli va hajmiy deformatsiyalari aniqlangan.

Umuman olganda talaba Ermanov Shodiyorning “Tekis yuklangan material nuqtadagi kuchlanganlik holatini tekshirish” nomli bitiruv malakaviy ishi qo'yilgan barcha talablarga javob beradi va ishni 80 ball bilan hisoblash mumkin deb hisoblayman.

Ilmiy rahbar:

dots. Berdiyev Sh.

**Alisher Navoiy nomidagi Samarqand davlat universiteti Mexanika-
matematika fakulteti Amaliy matematika, informatika va mexanika
bo'limi 4-lurs talabasi Kenjayev Sheralining “Tekis yuklangan
material nuqtadagi kuchlanganlik holatini tekshirish”
nomli bitiruv malakaviy ishiga**

TAQRIZ

Bitiruv malakaviy ishi kirish ikki bob xulosa va foydalanilgan asosiy adabiyotlar ro'yxatidan iborat. Birinchi bob nuqtaning kuchlanganlik va deformatsiyalanganlik holati deb nomlangan bo'lib o'z ichiga uchta paragrafni olgan. Birinchi paragrafda nuqtaning kuchlanganlik holati haqida bayon qilingan, ikkinchi paragraf kuchlanishlarning juftlik qonuniga kiyingi paragraf tekis kuchlanish holatida qiya uyzachalar bo'yicha kuchlanishlarni aniqlashga bag'ishlangan.

Ikkinchi bob bosh kuchlanishlar va bosh yuzachalar deb nomlangan bo'lib o'z ichiga bosh kuchlanishlar, ekstrimal urinma kuchlanishlar, teks va hajmiy kuchlanish holti uchun Guk qonunini topishga, so'nggi paragraf esa yuqorida boyon etilganlarni e'tiborga olib tekis kuchlanganlik holatini tekshirish bo'yicha amaliy masala yichishga bag'ishlangan.

Ushbu masalani yechish maboynda analitik usulda Mor aylana diagrammasi asosida bosh kuchlanishlar qiymati va ularning yo'nalishlari, eng katta urinma kuchlanishlar ta'sir qiladigan maydonchalar holatlari aniqlangan. Mustahkamlik gipotezalaridan birini qo'llab qaralayotgan nuqtada material mustahkamlikka tekshirilgan, element uchun nisbiy chiziqli va hajmiy deformatsiyalari aniqlangan.

Umuman olganda talaba Ermanov Shodiyorning “Tekis yuklangan material nuqtadagi kuchlanganlik holatini tekshirish “ nomli bitiruv malakaviy ishi qo'yilgan barcha talablarga javob beradi va ishni 80 ball bilan hisoblash mumkin deb hisoblayman.

Taqrizchi: „Amaliy matematika” kafedrasi dotsenti

Amridinov S.

Mundarija

Kirish.....	6
1-Bob. Nuqtaning kuchlanganlik va deformatsiyalanganlik holati	8
1.1. Nuqtaning kuchlanganlik holati haqida tushuncha.....	8
1.2. Urinma kuchlanishlarning juftlik qonuni.....	13
1.3 Tekis kuchlanish holatida qiya yuzachalar bo'yicha kuchlanishlar.....	14
2-Bob. Bosh kuchlanishlar va bosh yuzalar.....	18
2.1 Bosh kuchlanishlar.....	18
2.2. Ekstrimal urinma kuchlanishlar.....	20
2.3. Tekis va hajmiy kuchlanish holati uchun Guk qonuni.....	22
2.4. Tekis kuchlanganlik holatini tekshirish.....	24
Xulosa.....	34
Adabiyotlar ro'yxati.....	35

KIRISH

1. Masalaning qo'yilishi. Bitiruv malakaviy ishida tekis yuklangan material nuqtadagi tekis kuchlanganlik holatini analitik usulda Mor aylana diagrammasi asosida bosh kuchlanishlar qiymatlari va ularning yo'nalishlari, bosh maydonchalarning yo'nalishi eng katta urinma kuchlanishlarni topish va ularni ta'sir etayotgan maydonchalar holatini aniqlash, eng katta urinma kuchlanish ta'sir qiladigan maydonchadagi normal kuchlanishlarni Mor doirasi yordamida aniqlash, qaralayotgan nuqta materialini mustahkamlikka tekshirish, nisbiy chiziqli va hajmiy deformatsiyalarni aniqlash qilib qo'yilgan.

2. Mazuning dolzarbligi. Mavzu dolzarbligi bilan xalq-xo'jaligining turli sohalarida jumldan qurilish, kemasozlik, muhandislik va boshqa bir qancha sohalarida keng qo'llaniladi. Bunda elementdagi kuchlanganlik deformatsiyalanganlik holatini bilash mexanikaning asosiy qismlaridan biri hisoblanadi.

3. Ishning maqsad va vazifalari. Bitiruv ishida asosi maqsad qilib tekis yuklangan material nuqtadagi kuchlanganlik holatini tahlil qilish qo'yilgan. Tekis yuklangan jism uchun bosh yuzalar, bosh kuchlanishlar, eng kata urinma va normal kuchlanishlar, qaralayotgan elementni mustahkamlikka tekshirish va unda hosil bo'ladigan chiziqli va hajmiy deformatsiyalarni topish ishning asosiy maqsadi hisoblanadi.

4. Ishning ilmiy tadqiqot usuli. Ishda ilmiy tadqiqot usuli sifatida Mor diagrammasi (doirasi) asosida bosh kuchlanishlar aniqlanadi. Bunda P qutbga nisbatan bosh kuchlanishlar va bosh maydonchalar yo'nalishlari tasvirlanadi. Bosh maydonchalar va bosh kuchlanishlar aniqlangach qaralayotgan elementdagi urinma kuchlanilar, element mustahkamligi va uning deformatsiyalari qiymatlari analitik usulda.

5. Ishning ilmiy-amaliy ahamiyati Muhandislik masalalarini echishda sterjen, qobiq, plastina va qatlamlarning kuchlanganlik deformatsiyalanganlik holatini bilish ishning ilmiy-amaliy qismi hisoblanadi. Shundan kelib chiqqan

holda elementda hosil bo'ladigan kuchlanganlik deformatsiyalanganlik holatini Mor doirasi yordamida tekshirish ishning ilmiy-amaliy qismi qilib belgilangan.

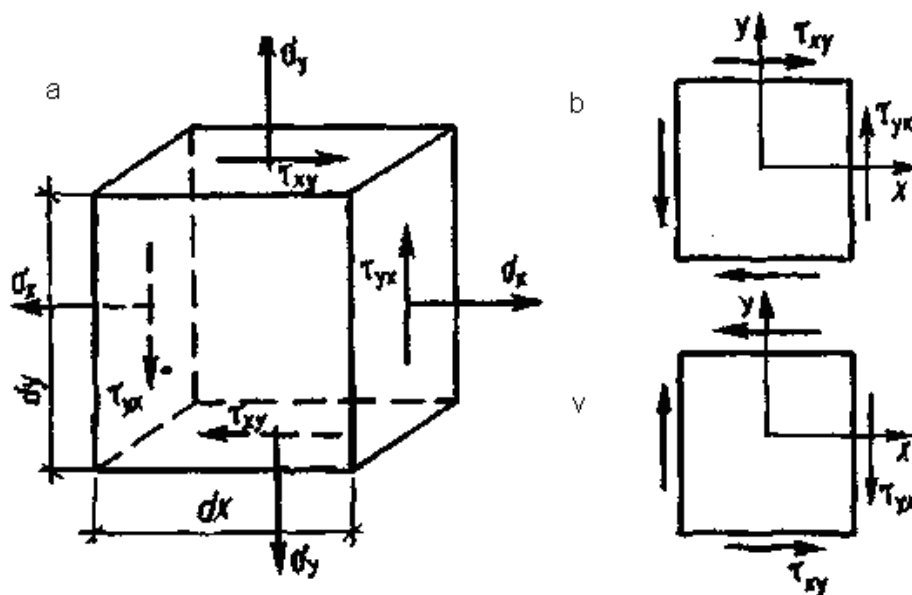
6. Ishning tuzilishi. Bitiruv malakaviy ishi kirish ikkita bob xulosa va foydalanilgan asosiy adabiyotlar ro'yxatidan iborat bo'lib jami ____ betni tashkil qiladi.

7. Olingan natijalarning qisqacha mazmuni. Bitiruv malakaviy ishida tekis kuchlangan element uchun Mor doirasi asosida bosh kuchlanishlarni qiymatini va ularning yuklanishlarini hisoblangan bosh maydonchalar holati va bosh kuchlanishlarning yo'nalishini topilgan eng kata urinma kuchlanishlarni aniqlangan, eng kata urinma kuchlanish ta'sir qiladigan maydonchadagi normal kuchlanish Mor doirasi yordamida topilgan, qaralayotgan element mustahkamlikka tekshirilgan, x , y , va z o'qlarining yo'nalishi bo'yicha elementning nisbiy chiziqli deformatsiyasi hamda, nisbiy hajmiy deformatsiyalari aniqlangan.

1-Bob. Nuqtaning kuchlanganlik va deformatsiyalanganlik holati

1.1. Nuqtaning kuchlanganlik holati haqida tushuncha

Nuqtadagi kuchlanganlik holati deb, shu nuqta orqali o'tuvchi barcha mumkin bo'lgan maydonchalarda ta'sir qiluvchi kuchlanishlar to'plamiga aytiladi. Agar tekis yuklangan jismning biror nuqtasi atrofida fikran juda kichik to'gri burchakli $dx dy$ elementini ajratib olsak, uning yonlarida normal va urinma kuchlanishlari ta'sir ko'rsatadi (1-rasm).



1-rasm. Tekis element tomonlariga ta'sir ko'rsatayotgan kuchlanishlar:

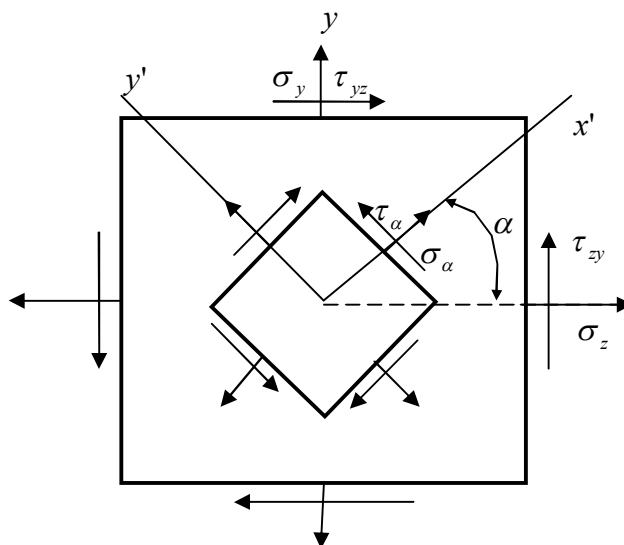
a-hisob sxemasi; b da $\tau > 0$; v da $\tau < 0$.

Bu kuchlanishlar uchun quyidagi ishoralar qoidasi qabul qilinadi: cho'zuvchi normal kuchlanish musbat ishorali, siquvchisi esa manfiy ishorali deb qabul qilinadi. Urinma kuchlanishlarining ishorasi koordinata o'qlarining yunalishiga bog'liqdir. Berilgan maydonchanning tashqi normali koordinata o'qining musbat yunalishi bilan ustma-ust tushib, bu maydonchadagi urinma kuchlanish yo'nalishi ikkinchi o'qning musbat yunalishi tomonga yo'nalgan bo'lsa, urinma kuchlanish musbat ishorali olinadi (1-rasm, b) aks holda manfiy ishora bilan olinadi (1-rasm,

v).

Nuktadagi tekis kuchlanganlik holati o'rganilayotganda $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ va τ_{yx} kuchlanishlari berilgan deb hisoblanadi va urinma kuchlanishlarining juftlik qonuniga asosan $\tau_{xy} = -\tau_{yx}$ deb qabul qilinadi.

2-rasmda x' va y' o'qlariga muvofiqlashtirib, nuqta atrofidan cheksiz kichik element (ichki) ajratib olinganligi tasvirlangan.



2-rasm. Kordinata uklari buralgaida ichki element tomonlaridagi kuchlanishlar.

Bu element tomonlaridagi normal va urinma kuchlanishlari quyidagi formulalar yordamida xisoblanadi:

$$\sigma_{\alpha} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\alpha + \tau_{xy} \cdot \sin 2\alpha; \quad (1)$$

$$\sigma_{\alpha+90} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\alpha - \tau_{xy} \cdot \sin 2\alpha; \quad (2)$$

$$\tau_{\alpha} = -\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cdot \sin 2\alpha + \tau_{xy} \cos 2\alpha; \quad (3)$$

Bu element tomonlariga perpendikulyar bo'lgan x', u' o'qlarini burasak, buralish burchagining qandaydir α_0 qiymatida bu element tomoniga ta'sir ko'rsatayotgan normal kuchlanish o'zining eng katta qiymatiga va perpendikulyar tomoniga ta'sir ko'rsatayotgan normal kuchlanish o'zining eng kichik qiymatiga

erishadi. Bunday normal kuchlanishlarga va ular ta'sir ko'rsatayotgan maydonchalarga bosh normal kuchlanish va bosh maydoncha deb ataladi. Bosh maydonchalardagi urinma kuchlanishlar har doim nolga teng bo'ladi.

Bosh maydonchalarga ta'sir ko'rsatayotgan bosh normal kuchlanishlar quyidagi formula yordamida hisoblanadi:

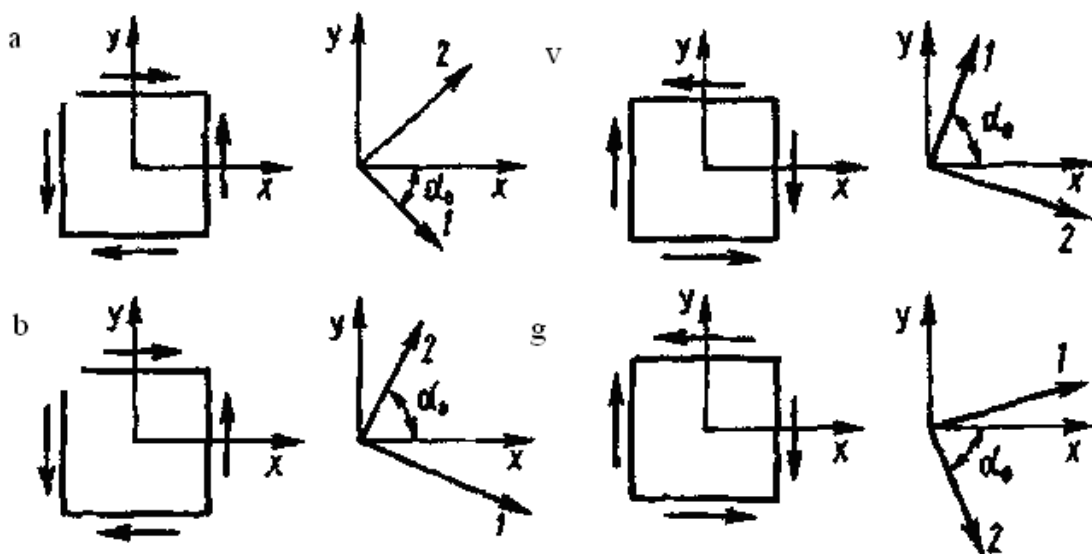
$$\sigma_{1/2} = \sigma_{\max/\min} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} \quad (4)$$

Bosh normal kuchlanishlarning yo'nalishi quyidagi formula asosida hisoblanadi:

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_y - \sigma_x} \quad (5)$$

(5) formuladan foydalanilganda quyidagi ishoralar qoidasiga amal qilish kerak bo'ladi (3-rasm):

- a) $-\alpha_0$ agar $\tau_{xy} > 0$ va $\sigma_x > \sigma_y$ bo'lsa,
- b) $+\alpha_0$ agar $\tau_{xy} > 0$ va $\sigma_x < \sigma_y$ bo'lsa,
- v) $+\alpha_0$ agar $\tau_{xy} < 0$ va $\sigma_x > \sigma_y$ bo'lsa,
- g) $-\alpha_0$ agar $\tau_{xy} < 0$ va $\sigma_x < \sigma_y$ bo'lsa,



3-rasm. Tekis element bosh kuchlanishlarining yunalishi.

Bosh normal kuchlanishlarning yo'nalishini quyidagi boshqa formula yordamida ham hisoblab topish mumkin:

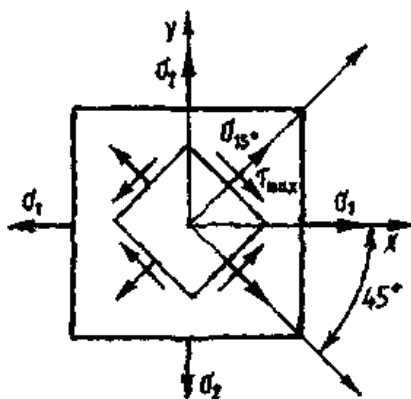
$$\operatorname{tg} \alpha_{1,2} = \frac{-\tau_{xy}}{\sigma_{1,2} - \sigma_y} \quad (6)$$

bunda $\alpha_{1,2}$ x o'qi va 1;2 bosh o'qlar orasidagi burchakdir.

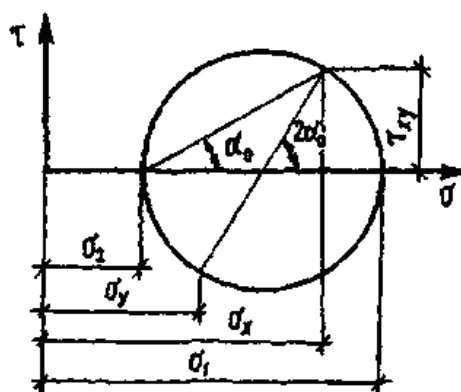
Nuqtadagi normal kuchlanishi proyeksiyalarining yoki bosh normal kuchlanishlarining ma'lum miqdorlaridan foydalanib bosh normal kuchlanishlariga 45° burchak tashkil qiluvchi maydonchalardagi urinma kuchlanishining eng katta qiymatini hisoblab topish mumkin (4-rasm):

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}; \quad (7)$$

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4 \cdot \tau_{xy}^2}; \quad (8)$$



4-rasm. Tekis elementda vujudga keladigan ekstrimal urinma kuchlanishlari.



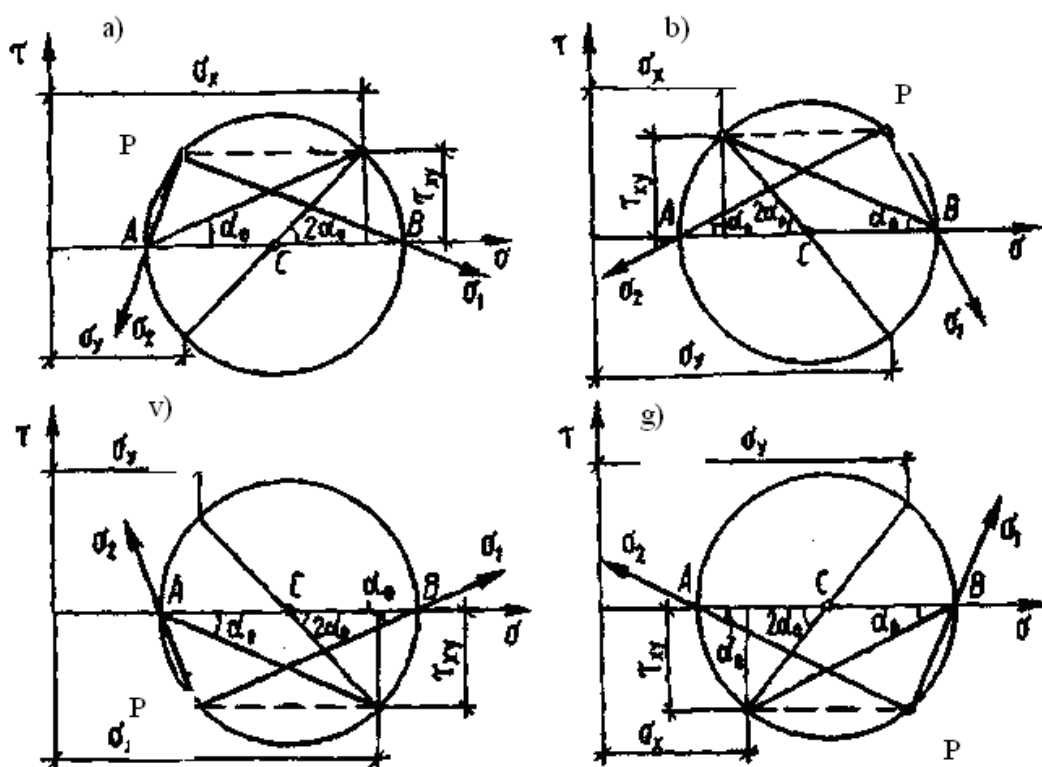
5-rasm. Mor doirasi

Bosh normal kuchlanishlariga 45° burchak tashkil qiluvchi maydonchalardagi normal kuchlanishlar qo'yidagicha hisoblanadi:

$$\sigma_{45} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}; \quad (9)$$

Nuqtadagi kuchlanish tashkil etuvchilari $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ va bosh kuchlanishlar σ_1, σ_2 orasidagi bog'lanishni Mor doirasi yoki kuchlanish doirasi deb ataluvchi diagramma ko'rinishida ifodalash mumkin (5-rasm).

Mor doirasi kuchlanish tashkil etuvchilari $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ ma'lum bo'lganda bosh kuchlanishlar va bosh maydonchalarni yoki bosh kuchlanishlar σ_1, σ_2 va ularning yo'nalishshshi aniqlovchi α_1, α_2 burchaklar ma'lum bo'lganda kuchlanish tashkil etuvchilarni aniklash imkonini beradi (6-rasm).



6-rasm. Bosh kuchlanishlarshshg yo'nalishini Mor doirasi yordamida anislash: a da $\tau_{xy} > 0; \sigma_x > \sigma_y$ b da $\tau_{xy} > 0; \sigma_x < \sigma_y$;

v da $\tau_{xy} < 0; \sigma_x > \sigma_y$, g da $\tau_{xy} < 0; \sigma_x < \sigma_y$

Berilgan kuchlanish tashkil etuvchilari $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ dan foydalanib, bosh maydonchalarning holatini aniqlash uchun qutb holatini ya'ni P nuqtani aniqlashadi va uni A va B nuqtalari bilan tutashtirib, bosh kuchlanishlari σ_1, σ_2 ning yo'nalishi olinadi. Bosh maydonchalarining holati bosh kuchlanishlari

yo'nalishiga perpendikulyar bo'ladi (6-rasm).

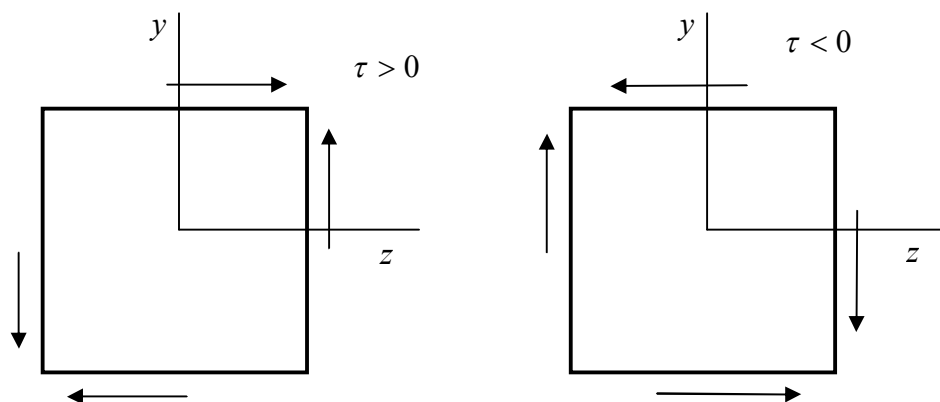
1.2. Urinma kuchlanishlarning juftlik qonuni

Jismdan ajratib olingan parallelepiped (7-rasm) uning yoqlariga ta'sir qiluvchi kuchlar ta'siridan muvozanatda bo'lishi kerak. Parallelepiped qirralarining uzunligi dz, dy ga zy tekislikka perpendikulyar yo'nalishdagi element qalinligini birga teng deb hisoblaymiz. Parallelepipedning biror yog'iga ta'sir etuvchi kuch tegishli kuchlanishning yoq yuzasiga ko'paytirilganiga teng, masalan, $\tau_{zy} dy \cdot 1$. Parallelepipedning yoqlariga ta'sir etuvchi normal zo'riqish kuchlari o'zaro muvozanatda bo'ladi. Mazkur yoqlardagi urinma zo'riqish kuchlari ikkita juft kuchni hosil qiladi; $\tau_{zy} dy$ kuchning elkasi dz , $\tau_{yz} dz$ kuchning elkasi esa dy ga teng, ularning momentlari yigindisi nolga teng bo'lishi kerak:

$$(\tau_{zy} dy) dz - (\tau_{yz} dz) dy = 0,$$

Bundan

$$\tau_{zy} = \tau_{yz}. \quad (10)$$



7-rasm.

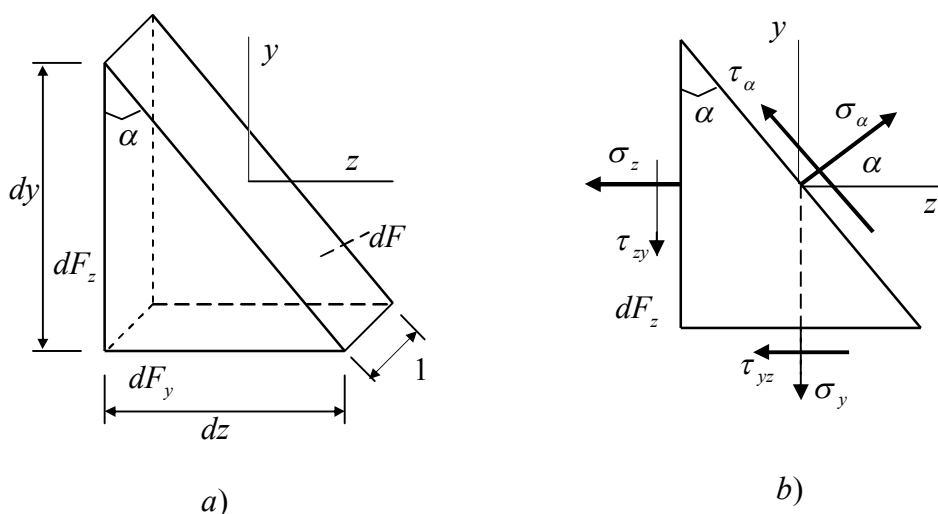
Elementar parallelepiped ixtiyoriy joylashgan bo'lishi mumkin, shuning

uchun (10) ifoda urinma kuchlanishlarning juftlik qonuni deb ataladigan umumiy qoidani ifodalaydi. Istalgan ikkita o'zaro perpendikulyar yuzachalardagi urinma kuchlanishlar miqdor jihatdan o'zaro teng bo'lib, elementni qarama-qarshi tomonga aylantirishga intiladi.

Demak, tekis kuchlanish holatida urinma kuchlanishlar ikki xil variantda ta'sir qilishi mumkin (7-rasm).

1.3 Tekis kuchlanish holatida qiya yuzachalar bo'yicha kuchlanishlar

8-rasmda ko'rsatilgan elementar parallelepipeddan zy tekisligiga perpendukulyar bo'lgan qiya tekislik qirqib, elementar uchburchak prizma ajratib olamiz (8-rasm, a). Qiya yuzachaning va u bilan bog'liq bo'lgan z', y' o'qlarining holatini α burchak bilan belgilaymiz. Agar burilish burchagi z o'qidan y o'qiga eng qisqa burchak yo'li orqali o'tishda hosil bo'lsa, musbat ($\alpha > 0$) hisoblanadi. Qabul qilingan z, y o'qlari uchun buralish soat strelkasi harakatiga qarshi yo'nalishda hosil qilinsa, ($\alpha < 0$).



8-rasm

8-rasm, a dan

$$\begin{aligned} dF_z &= 1 \cdot dy = dF \cos \alpha, \\ dF_y &= 1 \cdot dz = dF \sin \alpha \end{aligned} \quad (11)$$

tengliklar hosil bo'ladi. Qiya yuzachadagi σ_α va τ_α kuchlanishlarni uchburchak prizma muvozanatidan topamiz. 8-rasm, b da z', y' o'qlarda τ_α ning musbat yo'nalishi ko'rsatilgan. Prizmaga t'asir qilayotgan barcha kuchlarni nisbati bilan z', y' o'qlarga proyeksiyalab quyidagilarni olamiz:

$$\sigma_\alpha dF - \sigma_z dF_z \cos \alpha - \sigma_y dF_y \sin \alpha - \tau_{zy} dF_z \sin \alpha - \tau_{yz} dF_y \cos \alpha = 0;$$

$$\tau_\alpha dF + \sigma_z dF_z \sin \alpha - \sigma_y dF_y \cos \alpha - \tau_{zy} dF_y \cos \alpha + \tau_{yz} dF_y \sin \alpha = 0.$$

Bu yerdagi dF_z va dF_y lar o'rniga (11) dan ularning qiymatlarini qo'yib dF ga qisqartiramiz. So'ngra (10) ga muvofiq $\tau_{zy} = \tau_{yz}$, $2 \sin \alpha \cos \alpha = \sin 2\alpha$, $\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha = \cos 2\alpha$ ekanligini hisobga olib quyidagini topamiz;

$$\sigma_\alpha = \sigma_z \cos^2 \alpha + \sigma_y \sin^2 \alpha + \tau_{zy} \sin 2\alpha; \quad (12)$$

$$\tau_\alpha = -\frac{\sigma_z - \sigma_y}{2} \sin 2\alpha + \tau_{zy} \cos 2\alpha. \quad (13)$$

Ba'zan (12) formula birmuncha boshqacha ko'rinishda ishlatiladi; buning uchun quyidagi trigonometrik tenglamalardan foydalaniladi:

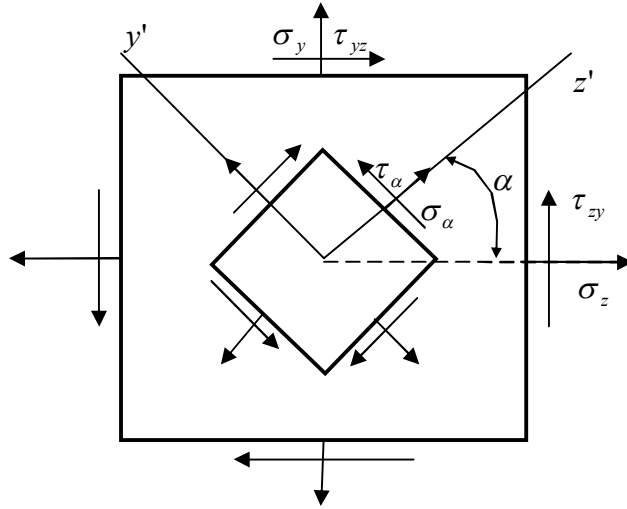
$$\begin{aligned} \cos^2 \alpha &= \frac{1}{2}(1 + \cos 2\alpha); \\ \sin^2 \alpha &= \frac{1}{2}(1 - \cos 2\alpha). \end{aligned} \quad (14)$$

(14) ni (12) ga qo'yib quyidagini hosil qilamiz:

$$\sigma_\alpha = \frac{\sigma_z + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_z - \sigma_y}{2} \cos 2\alpha + \tau_{zy} \sin 2\alpha. \quad (15)$$

(12) va (13) formulalar normal va urinma kuchlanishlarning yuzachaning

qiyalik burchagiga bo'g'liq holda o'zgarishini ifodalaydi. Bunda (13) formuladan olingan τ_α ning ishorasi z' o'qini ko'rilayotgan yuzacha tashqi normal bilan ustma-ust tushguncha burilgan z' , y' o'qlarga mos keladi.



9-rasm

9-rasmda berilgan element bilan birga z' , y' o'qlar bo'yicha orientirlangan cheksiz kichik element ham ko'rsatilgan. Bu element yo'qlaridagi kuchlanishlarni topamiz.

$\sigma_{z'} = \sigma_\alpha$ kuchlanish (15) ifodadan topiladi. $\sigma_{y'} = \sigma_{90^\circ + \alpha}$ ni topish uchun (15) ifodadagi α o'rniga $(\alpha + 90^\circ)$ ni qo'yib, quyidagini hosil qilamiz.

$$\sigma_{y'} = \sigma_{\alpha+90^\circ} = \frac{\sigma_z + \sigma_y}{2} - \frac{\sigma_z - \sigma_y}{2} \cos 2\alpha - \tau_{zy} \sin 2\alpha. \quad (16)$$

α va $(\alpha + 90^\circ)$ yuzachalardagi urinma kuchlanishlar juftlik qonuni bilan bog'langan. z' , y' o'qlardagi kuchlanishlar $\tau_\alpha = \tau_{y'z'} = \tau_{z'y'}$ bo'ladi. z , y va z' , y' o'qlarga mos keluvchi kuchlanishlarni matrisa ko'rinishida yozamiz:

$$T_k = \begin{bmatrix} \sigma_z & \tau_{yz} \\ \tau_{zy} & \sigma_y \end{bmatrix}; \quad T'_k = \begin{bmatrix} \sigma_{z'} & \tau_{y'z'} \\ \tau_{z'y'} & \sigma_{y'} \end{bmatrix}; \quad (17)$$

Nuqta orqali istalgancha o'qlar o'tkazish mumkin bo'lganligidan o'zaro perpendikulyar yuzachalarga mos keluvchi kuchlanishlarning istalgan gruppasi (17) mazkur tekis kuchlanish holatini komponentalari sifatida to'la belgilaydi. Koordinata o'qlari burilganida kuchlanish holati komponentalarining o'zgarishi (13), (15) va (16) ifodalar bo'yicha bo'ladi. Shuni qayd qilish lozimki, bu aytilganlar nuqtaning kuchlanish holatini son, vektor tushunchalarga nisbatan ancha murakkab tushuncha deb qarash imkonini beradi.

(16) va (17) ifodalarni hadlab qo'shamiz. Ko'rinib turibdiki, σ_α va $\sigma_{\alpha+90^\circ}$ larning yig'indisi α burchakka bog'liq emas, mazkur nuqta uchun bu yig'indi o'zgarmas qiymatdir:

$$\sigma_\alpha + \sigma_{\alpha+90^\circ} = \sigma_z + \sigma_y = \text{const} \quad (18)$$

2-Bob. Bosh kuchlanishlar va bosh yuzalar

2.1 Bosh kuchlanishlar

α burchakni o'zgartirib z' , y' o'qlarni va to'g'ri borchakli elementni xayolan aylantiramiz. (9-rasm). Burchakning biror α_0 qiymatida σ_{α_0} kuchlanish mazkur nuqta uchun eng katta qiymatga erishadi. (18) ifoda asosida perpendikulyar yuzada kuchlanish eng kichkina bo'ladi degan xulosa chiqarish mumkin. Bu yuzachalarni va mazkur nuqta uchun normal kuchlanishlarning ekstrimal qiymatlarini topamiz. Buning uchun kuchlanishdan olingan hosilani nolga tenglaymiz.

$$\frac{d\sigma_{\alpha}}{d\alpha} = 0.$$

(15) ifodani α argument bo'yicha differensiallab, quyidagini olamiz:

$$\frac{d\sigma_{\alpha}}{d\alpha} = 2 \left(-\frac{\sigma_z - \sigma_y}{2} \sin 2\alpha + \tau_{zy} \cos 2\alpha \right). \quad (19)$$

Qavs ichidagi ifodani (13) formula bilan solishtirib, quyidagi tenglikni olamiz:

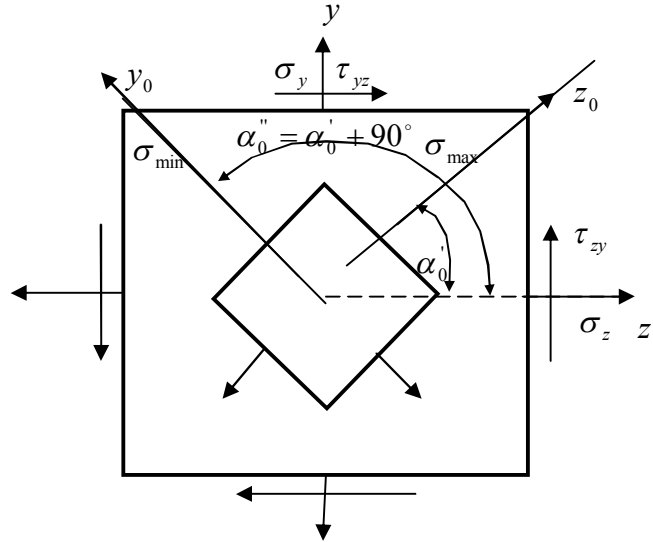
$$\frac{d\sigma_{\alpha}}{d\alpha} = 2\tau_{\alpha}. \quad (20)$$

Bu ifodani nolga tenglab va qidirilayotgan yuzachalar normallarining og'ish burchaklarini α_0 orqali belgilab, $\tau_{\alpha_0} = 0$ ekanligini olamiz. Bu quyidagi muhim xulosani chiqarish imkonini beradi: nuqtaning ekstrimal normal kuchlanishlari ta'sir etadigan yuzachalarda urinma kuchlanishlar nolga teng bo'ladi. Bunday yuzachalar bosh yuzachalar deb, ularga mos keluvchi normal kuchlanishlar nuqtaning bosh kuchlanishlari deb ataladi.

(19) formuladagi qavs ichidagi ifodani nolga tenglab, bosh yuzalar normallarining ikkilangan og'ish burchagining tangensini topamiz:

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = \frac{2\tau_{zy}}{\sigma_z - \sigma_y} \quad (21)$$

(21) ifoda bosh kuchlanishlar ta'sir etuvchi ikkita o'zaro perpendikulyar α_0' va $\alpha_0'' = \alpha_0' + 90^\circ$ og'ish burchaklarini beradi (10-rasm).



10-rasm

Bosh kuchlanishlarning ta'sir chiziqlariga ustma-ust tushuvchi z_0, y_0 o'qlar nuqtadagi bosh o'qlar deyiladi. Bosh kuchlanishlar qiymatlarini topish uchun (15) formulasiga $\alpha = \alpha_0$ qiymatni qo'yamiz. $\cos 2\alpha_0$ ni qavsdan tashqariga chiqarib quyidagini hosil qilamiz:

$$\sigma_{\alpha_0} = \frac{\sigma_z - \sigma_y}{2} + \left(\frac{\sigma_z - \sigma_y}{2} + \tau_{zy} \operatorname{tg} 2\alpha_0 \right) \cos 2\alpha. \quad (22)$$

Trigonometriyadagi ma'lum formula bo'yicha (21) ifodadan foydalanib topamiz:

$$\cos 2\alpha_0 = \pm \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 2\alpha_0}} = \pm \frac{\sigma_z - \sigma_y}{\sqrt{(\sigma_z - \sigma_y)^2 + 4\tau_{zy}^2}}. \quad (23)$$

$2\alpha_0'$ va $2\alpha_0'' = +(2\alpha_0' + 180^\circ)$ burchaklarning kosinuslari qarama-qarshi ishorali bo'lganligidan (23) ifoda oldiga $\pm$ ishora qo'yilgan. (21) va (23) ifodalarni

(22) formulaga qo'yib, qavs ichidagi ifodalarni umumiy maxrajga keltirib va ba'zi qisqartirishlarni bajarib, σ_{α_0} ning $\sigma_1 = \sigma_{\max}$ va $\sigma_2 = \sigma_{\min}$ belgilanadigan ikkita qiymatini topamiz:

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_z + \sigma_y}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_z - \sigma_y)^2 + 4\tau_{zy}^2}. \quad (24)$$

Bu formuladagi musbat ishora maksimal bosh kuchlanish $\sigma_1 = \sigma_{\max}$ ni, manfiy ishora esa minimal bosh kuchlanish $\sigma_2 = \sigma_{\min}$ ni bildiradi.

2.2. Ekstrimal urinma kuchlanishlar

Nuqtadagi ayni bir tekis kuchlanish holati turlicha berilgan yuzacha va kuchlanishlar bilan belgilanishi mumkin. Bosh yuzalarda urinma kuchlanishlar bo'lmaganligidan nuqtaning kuchlanish holati bosh yuza va kuchlanishlar bilan oddiygina aniqlanadi. Shuning uchun ularni berilgan deb hisoblash mumkin (11-rasm, a). Qisqacha $\sigma_1 = \sigma_{\max}$ va $\sigma_2 = \sigma_{\min}$ deb belgilaymiz. α burchak σ_1 yo'nalishidan boshlab qo'yiladi. σ_α va τ_α larning qiymatlari (12) va (13) formulalardan topiladi, buning uchun $\sigma_z = \sigma_1$, $\sigma_y = \sigma_2$, $\tau_{zy} = 0$ deb olinadi:

$$\sigma_\alpha = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cos 2\alpha \quad (25)$$

$$\tau_\alpha = -\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \sin 2\alpha. \quad (26)$$

(26) formuladan $\alpha = -45^\circ$ ($\sin 2\alpha = -1$) bo'lganida urinma kuchlanishlar ekstrimal qiymatlarga erishadi

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}. \quad (27)$$

Nuqtadagi ekstrimal urinma kuchlanishlari bosh kuchlanishlar ayirmasining yarmiga teng bo'lib, bosh yuzachalarga 45° burchak ostida joylashgan

yuzachalarda paydo bo'ladi (11-rasm, a).

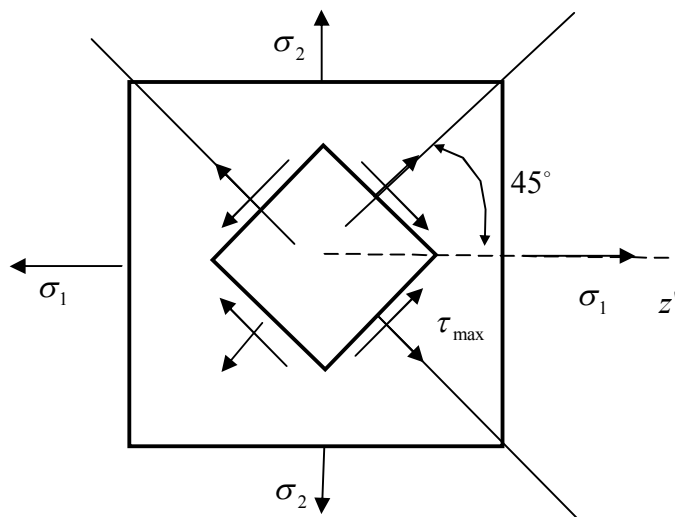
(24) ifodani (27) formulaga qo'yib σ_z , σ_y va τ_{zy} larning berilgan qiymatlari orqali $\tau_{\max}$ ni topamiz:

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_z - \sigma_y)^2 + 4\tau_{zy}^2}. \quad (28)$$

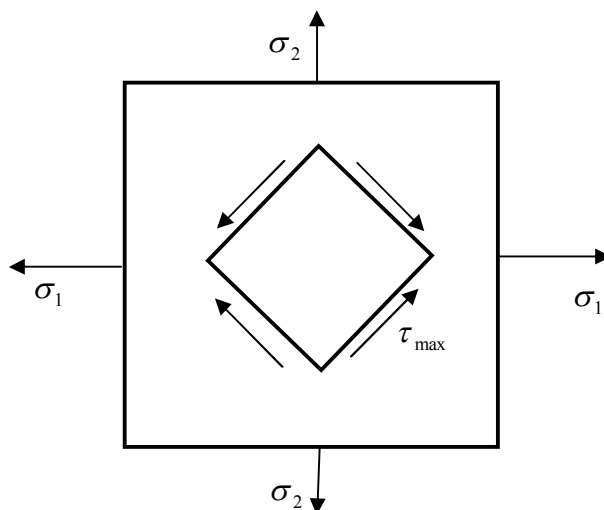
Umumiy holda $\tau_{\max}$ ni yuzachalarda normal kuchlanishlar nolga teng emas. Haqiqatdan ham (25) formulada $\alpha = \pm 45^\circ$ desak (24) ni hisobga olsak, quyidagi formula hosil bo'ladi

$$\tau_{\pm 45^\circ} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} = \frac{\sigma_z + \sigma_y}{2}. \quad (29)$$

Prizmaning yoqlariga ikkita bosh kuchlanishlar $\sigma_1 = -\sigma_2 = \sigma$ ta'sir qiladigan xususiy holda (11-rasm, b) ekstrimal urinma kuchlanishlarning miqdori bosh kuchlanishlarga son jihatidan teng bo'ladi: $\tau_{\max} = \sigma$, lekin bunda ekstrimal urinma kuchlanishli yuzachalarda normal kuchlanishlari nolga teng bo'ladi. Bunday kuchlanish holati sof siljish, faqat urinma kuchlanishlardagina paydo bo'ladigan yuzalar sof siljish yuzalari deyiladi.



11-rasm, a



11-rasm, b

2.3. Tekis va hajmiy kuchlanish holatida Guk qonuni.

Agar berilgan nuqtada kuchlanishning tashkil etuvchilari $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ ma'lum bo'lsa, u holda Gukning umumlashgan qonuni asosida chiziqli va burchakli deformatsiyalarini aniqlash mumkin. Tekis kuchlanganlik holatida bu formulalar quyidagi ko'rinishga ega:

$$\begin{aligned}\varepsilon_x &= \frac{1}{E}(\sigma_x - \nu\sigma_y), \\ \varepsilon_y &= \frac{1}{E}(\sigma_y - \nu\sigma_x), \\ \varepsilon_z &= -\frac{\nu}{E}(\sigma_x + \sigma_y), \\ \gamma_{xy} &= \frac{\tau_{xy}}{G}.\end{aligned}\tag{30}$$

Bosh deformasiyalar quyidagi formulalar yordamida aniqlanadi:

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + 4\gamma_{xy}^2}.\tag{31}$$

Materialning berilgan nuqta atrofidagi hajmining nisbiy o'zgarishi quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$\theta = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z$$

yoki

$$\theta = \frac{1-2\gamma}{E}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) \quad (32)$$

Materiallarning mustahkamligini tekshirish uchun uchunchi, to'rtinchi va Morning mustahkamlik nazariyalari ko'p qo'llaniladi.

Uchunchi mustahkamlik nazariyasiga ko'ra yuklangan jismning xavfli holati uning nuqtasidagi urinma kuchlanishining eng katta qiymati bilan xarakterlanadi.

Bu nazariya buyicha mustahkamlik sharti quyidagi ko'rinishga ega:

$$\sigma_{red} = \sigma_1 - \sigma_3 \leq R_y \quad (33)$$

(33) ifoda tekis kuchlanganlik holati uchun quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\sigma_{red} = \sqrt{(\sigma_z - \sigma_y)^2 + 4\tau_{zy}^2} \leq R_y \quad (34)$$

To'rtinchi mustahkamlik nazariyasi, ya'ni shakl o'zgarishining energiya nazariyasiga ko'ra mustahkamlik sharti quyidagicha ifodalanadi:

$$\sigma_{red} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2} \leq R_t \quad (35)$$

Tekis kuchlanganlik holatida (35) ifoda quyidagi kurinishga ega bo'ladi:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right)^2 + 3\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + 3\tau_{xy}^2} \leq R_t \quad (36)$$

Agar $\sigma_y = 0$ bo'lsa, u holda $\sigma_x = \sigma$ va $\tau_{xy} = \tau$ deb olib quyidagiga kelimiz:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq R_t \quad (37)$$

Kuchlanganlik holatidagi materialning mustahkamligi asosan bosh kuchlanishlari σ_1, σ_3 ning eng katta va eng kichik qiymatlari va ishorasiga bog'liq deb taxmin qiluvchi Mor mustahkamlik nazariyasiga ko'ra mustahkamlik sharti quyidagicha yoziladi:

$$\sigma_{red} = \sigma_1 - k\sigma_3 \leq R_{t(s)} \quad (38)$$

bunda $k = \frac{\sigma_{ut}}{\sigma_{us}}$

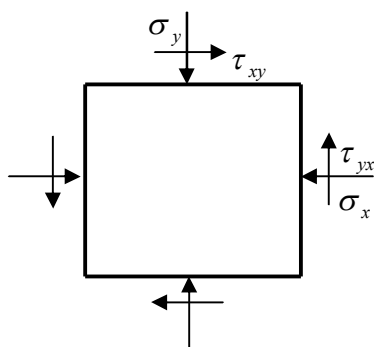
Tekis kuchlanganlik holati uchun (38) ifoda quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\sigma_{red} = \frac{1-k}{2}(\sigma_x + \sigma_y) + \frac{1+k}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} \quad (39)$$

2.4. Tekis kuchlanganlik holatini tekshirish.

Masala sharti:

Elastik deformatsiyalanuvchi konstruksiyaning xavfli nuqtasi atrofidan chekkalariga normal va urinma kuchlanishlari ta'sir qiladigan cheksiz kichik to'rtburchakli element ajritib olingan (12-rasm). Konstruksiya materialining hisob karshiligi $R = 210 \text{ MPa}$ ga tengdir.



12-rasm. Tekis kuchlangan cheksiz kichik to'g'ri burchakli element

Bu element uchun qo'yidagilar talab etiladi:

1. Analitik ushda va Morning aylana diagrammasi asosida bosh kuchlanishlar qiymatlarini va ularning yunalishlarini hisoblang;
2. Chizmada bosh maydonchalarning holatini va bosh kuchlanishlarning yunalishini tasvirlang;
3. Eng katta urinma kuchlanishlarini hisoblang va ularning ta'sir etadigan maydonchasi holatini aniqlang;
4. Chizmada eng katta urinma kuchlanishlari ta'sir qiladigan maydoncha holatini tasvirlang;
5. Eng katta urinma kuchlanishi ta'sir qiladigan maydonchadagi normal kuchlanishini Mor doirasi yordamida aniqlang;
6. Mustahkamlik gipotezalaridan birini qo'llab qaralayotgan nuqtada material mustahkamligini tekshiring;
7. x , y va z o'qlarining yo'nalishi bo'yicha elementning nisbiy chiziqli deformatsiyasini aniqlang;
8. Elementning nisbiy hajmiy deformatsiyasini aniqlang.

Berilgan: $\sigma_x = -40 \text{ MPa}$, $\sigma_y = -130 \text{ MPa}$, $\tau_{xy} = 40 \text{ MPa}$, $\nu = 0,3$;

$$E = 2 \cdot 10^5 \text{ MPa}, \quad R = 210 \text{ MPa}, \quad R_t = 40 \text{ MPa}, \quad R_s = 130 \text{ MPa};$$

Yechish:

1. Berilgan cheksiz kichik elementni 13-rasmda tasvirlaymiz. Uning markazidan Oxy koordinata sistemasini o'tkazamiz. Bosh kuchlanishlarining qiymati (4) formula yordamida hisoblanadi:

$$\sigma_{\max/\min} = \frac{\sigma_\alpha + \sigma_\beta}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_\alpha - \sigma_\beta)^2 + 4\tau_{\alpha\beta}^2}$$

Bizda $\sigma_{\max} = \sigma_1$; $\sigma_{\min} = \sigma_2$ va $\sigma_\alpha = \sigma_x$; $\sigma_\beta = \sigma_y$ hamda $\tau_{\alpha\beta} = \tau_{xy}$ ekanligini e'tiborga olamiz (12-rasm).

$$\begin{aligned}\sigma_{\frac{1}{2}} &= \frac{-40 - 130}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(-40 + 130)^2 + 4 \cdot 40^2} = \\ &= -85 \pm 0,5 \cdot \sqrt{8100 + 6400} = -85 \pm 0,5 \cdot \sqrt{14500} = \\ &= -85 \pm 0,5 \cdot 120,415 = -85 \pm 60,207 = -85 \pm 60,207 \\ \sigma_1 = \sigma_{\max} &= -85 + 60,207 = -24,793; \\ \sigma_2 = \sigma_{\min} &= -85 - 60,207 = -145,207\end{aligned}$$

Bu bosh kuchlanishlar σ_1 va σ_2 ning yo'nalishini (5) formula yordamida aniqlaymiz:

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = \frac{-2 \cdot \tau_{\alpha\beta}}{\sigma_\alpha - \sigma_\beta} = \frac{-2 \cdot 40}{-40 + 130} = -0,8888$$

$$2\alpha_0 = -41^\circ 38';$$

$$\alpha_0 = \frac{-41^\circ 38'}{2} = -20^\circ 49'$$

Endi x o'qi bilan bosh o'qlar 1 va 2 orasidagi burchaklarni (6) formula yordamida topamiz:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{-\tau_{\alpha\beta}}{\sigma_1 - \sigma_\beta} = \frac{-40}{-24,793 + 130} = -0,3802;$$

$$\text{Bundan } \alpha_1 = -20^\circ 49';$$

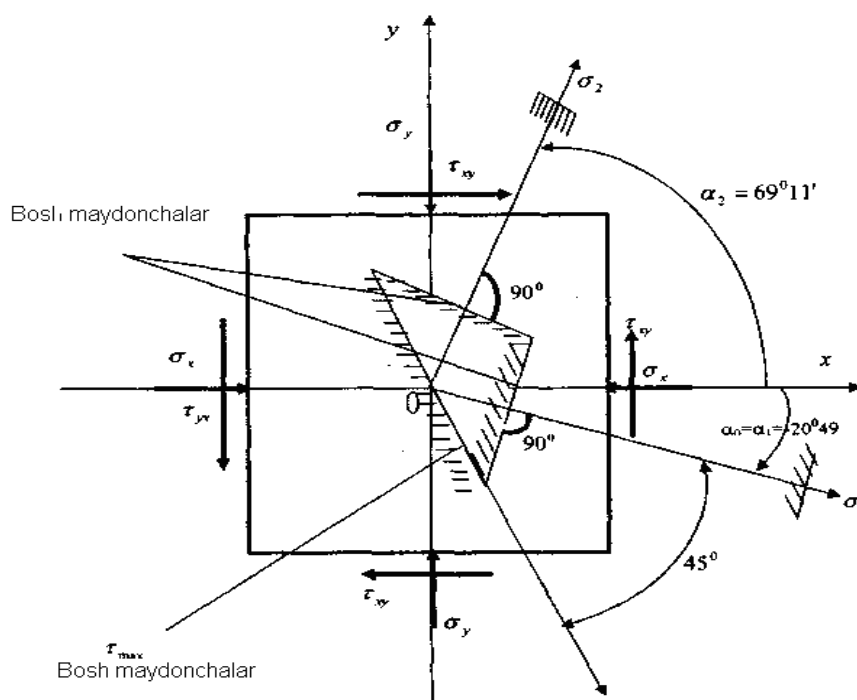
$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{-\tau_{\alpha\beta}}{\sigma_2 - \sigma_\beta} = \frac{-40}{-145,207 + 130} = 2,63;$$

$$\text{Bundan } \alpha_2 = 69^\circ 11'.$$

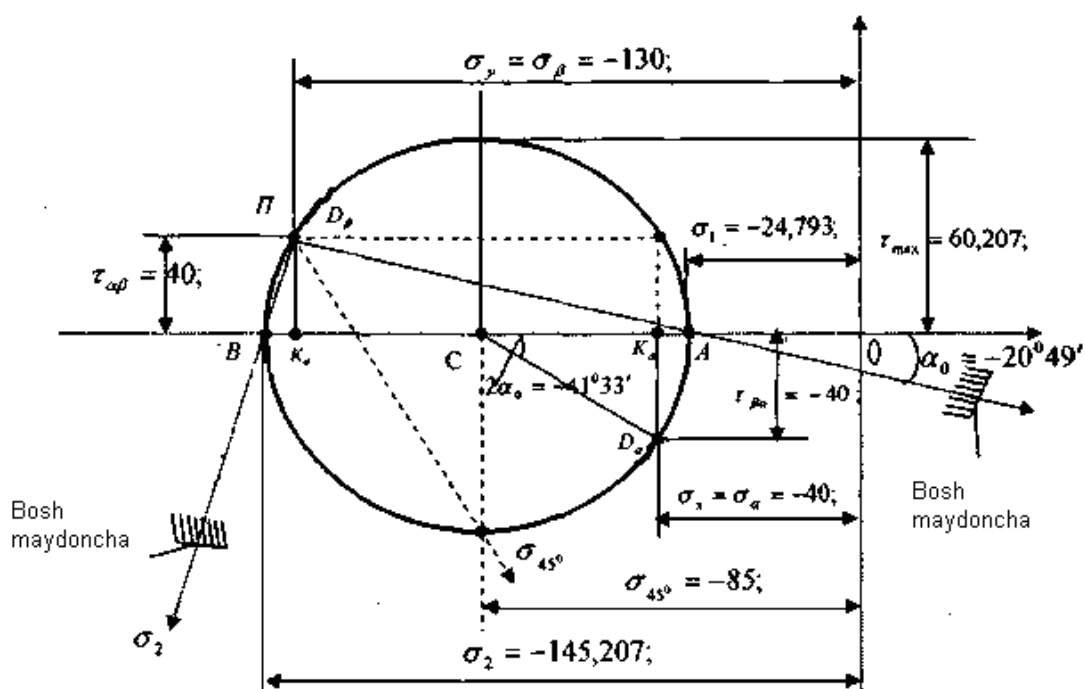
Bu hisoblashlardan shu narsa ko'rinadiki, σ_1 bosh kuchlanish x o'qiga $\alpha_0 = \alpha_1 = -20^\circ 49'$ burchak tashkil qilib, (soat strelkasi bo'ylab) yo'nalgan ekan,

σ_2 bosh kuchlanish esa x o'qidan soat strelkasi yunalishiga teskari $\alpha_2 = 69^\circ 11'$ burchak tashkil kilib yo'nalgan ekan.

Endi bu bosh kuchlanishlar σ_1 va σ_2 ni Mor doirasi yordamida aniqlaymiz. Buning uchun $O\tau\sigma$ koordinata sistemasini 14-rasmda tasvirlaymiz. Bu koordinata sistemasida $D_\alpha(\sigma_\alpha; \tau_{\alpha\beta}) = D_\alpha(-40; -40)$ va $D_\beta(\sigma_\beta; \tau_{\beta\alpha}) = D_\beta(-130; 40)$ nuktlarini joylashtiramiz. D_α va D_β nuktlarini tutashtirib $D_\alpha D_\beta$ kesmasini olamiz. Bu $D_\alpha D_\beta$ kesmasini diametr deb qabul qilib σ o'qiga doira qursak, σ o'qida OA va OB kesmalariga ega bo'lamiz. Bu kesmalar tanlangan mashtabda bosh kuchlanishlar σ_1 va σ_2 ga mos keladi. Bu 14-rasmda tasvirlangan. Haqiqatdan ham shunday ekanligini isbot qilish mumkin. 14-rasmdan ko'ramizki:



13-rasm. Tekis kuchlangan cheksiz kichik elementda bosh kuchlanishlar va bosh ' maydonchalarning tasvirlanishi



14-rasm. Mor doirasi yordamida bosh kuchlanish va bosh maydonchalarni aniqlash

$$OB = OC + CB \quad \text{va} \quad OA = OC - AC;$$

$$OC = \frac{\sigma_\alpha + \sigma_\beta}{2}; \quad CK_\alpha = CK_\beta = \frac{\sigma_\beta - \sigma_\alpha}{2};$$

bunda

$$K_\alpha D_\alpha = \tau_{\alpha\beta}$$

$$CA = CB = CD_\alpha = CD_\beta = \sqrt{CK_\alpha^2 + K_\alpha D_\alpha^2} =$$

$$= \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_\beta - \sigma_\alpha}{2}\right)^2 + 4 \cdot \tau_{\alpha\beta}^2} = \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_\beta - \sigma_\alpha)^2 + 4 \cdot \tau_{\alpha\beta}^2}$$

Demak:

$$OA = OC - CA = \frac{1}{2} [\sigma_\alpha + \sigma_\beta - \sqrt{(\sigma_\beta - \sigma_\alpha)^2 + 4 \cdot \tau_{\alpha\beta}^2}];$$

$$OB = OC + CB = \frac{1}{2} [\sigma_\alpha + \sigma_\beta + \sqrt{(\sigma_\beta - \sigma_\alpha)^2 + 4 \cdot \tau_{\alpha\beta}^2}]$$

ekanligiga erishamiz. Hisoblaymiz:

$$\begin{aligned}
OA &= \frac{1}{2} \left[(-40 - 130) + \sqrt{(-130 + 40)^2 + 4 \cdot 40^2} \right] = \\
&= \frac{1}{2} \left[-170 + \sqrt{8100 + 6400} \right] = 0,5 \cdot (170 + \sqrt{14500}) = \\
&= 0,5(-170 + 120,415) = 0,5(-49,584) = -24,793 = \sigma_1.
\end{aligned}$$

$$OB = 0,5(170 - 120,415) = 0,5(-290,415) = -145,207 = \sigma_2.$$

ekan.

Shunday qilib biz Mor diagrammasi (doirasi) usulida ham bosh kuchlanishlar σ_1 va σ_2 ni aniqladik.

Bosh kuchlanishlarning yo'nalishini analitik usulda yuqorida aniqladik, endi Mor doirasi usulida bosh kuchlanishlari σ_1 va σ_2 yo'nalishini aniqlash uchun (agar $\sigma_\alpha, \sigma_\beta$ va $\tau_{\alpha\beta}$ ma'lum bo'lsa) P qutb o'rnini Mor doirasidan aniqlab, uni A va B nuqtalari bilan tutashtirib bosh kuchlanishlarining yunalishi aniqlanadi.

P sugb nuqtasi $\tau_{\alpha\beta} > 0$ va $\sigma_\alpha > \sigma_\beta$ bo'lgan bizning holimizda D_β nuqtasi bilan ustma — ust tushadi, ya'ni $D_\beta(-130;40) = P(-130;40)$. Bu nuqtani A va B nuqtalar bilan tutashtirib σ_1 va σ_2 bosh kuchlanishlari yo'nalishini olamiz. 14-rasmdan σ va σ_1 lar o'zaro $\alpha_0 = \alpha_1 = -20^\circ 49'$ burchak tashkil qilishi ko'rinib turibdi.

2. Endi 13-rasmda bosh kuchlanishlar yo'nalishini tasvirlaymiz. Yuqorida σ_1 va x o'qi o'zaro $\alpha_0 = \alpha_1 = -20^\circ 49'$ burchak tashkil qilishini analitik usulda hisoblagan edik. «-» ishora x o'qini soat strelkasi bo'ylab $\alpha_0 = \alpha_1 = -20^\circ 49'$ burchakga burib σ_1 bosh kuchlanish yo'nalishini olishimizni bildiradi. Buni 13-rasmda tasvirlaymiz, σ_2 yo'nalishini x o'qini soat strelkasiga teskari $\alpha_2 = 69^\circ 11'$ burchakga burib hosil qilamiz. Bu 13-rasmda tasvirlangan.

Shunday qilib, bosh kuchlanishlar σ_1 va σ_2 ning yo'nalishini olish uchun berilgan $\sigma_\alpha, \sigma_\beta$ va $\tau_{\alpha\beta}$ kuchlanishga ega cheksiz elementda qabul qilingan Oxy koordinata o'qini soat strelkasi bo'ylab $\alpha_0 = \alpha_1 = -20^\circ 49'$ ga burish kerak ekan.

σ_1 va σ_2 bosh kuchlanishlar ta'sir ko'rsatadigan bosh maydonchalar bu kuchlanishlarga perpendikulyar bo'lib, berilgan element ichkarisida yotadi. Bu 13-rasmda shtrix chiziqlar bilan tasvirlangan.

3. Urinma kuchlanishining eng katta qiymati (7) yoki (8) formula yordamida hisoblanadi:

$$\begin{aligned}\tau_{\max} &= \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_\alpha - \sigma_\beta)^2 + 4\tau_{\alpha\beta}^2} = 0,5 \cdot \sqrt{(-40 + 130)^2 + 4 \cdot 40^2} = \\ &= 0,5 \sqrt{90^2 + 4 \cdot 40^2} = 0,5 \cdot \sqrt{8100 + 6400} = \\ &= 0,5 \sqrt{14500} = 0,5 \cdot 120,415 = 60,207\end{aligned}$$

Bu urinma $\tau_{\alpha\beta}$ kuchlanishining eng katta qiymati bosh kuchlanishlar σ_1 va σ_2 ga 45° burchak ostida joylashgan maydonchalarda ta'sir ko'rsatadi, ya'ni urinma kuchlanishning

$$\tau_{\alpha\beta} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cdot \sin 2\alpha$$

formulasida $\alpha = 45^\circ$ bo'lganda, boshqacha aytganda σ_1 va σ_2 ga 45° burchak tashkil qilgan maydonchalarda urinma kuchlanish eng katta qiymatga ega. Demak:

$$\begin{aligned}\tau_{\max} &= (\tau_{\alpha\beta})_{\alpha=45^\circ} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cdot \sin 2 \cdot 45^\circ = \\ &= \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cdot \sin 90^\circ = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cdot 1 = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2};\end{aligned}$$

Yuqorida hisoblangan urinma kuchlanishning eng katta qiymatini tekshirib kuramiz:

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = \frac{-24,793 + 145,207}{2} = 60,207$$

Demak to'g'ri hisoblanibdi.

4. $\tau_{\max}$ ta'sir ko'rsatadigan maydonchani berilgan element ichida σ_1 va σ_2 bosh kuchlanishlariga 45° burchak ostida yasaymiz. Bu 13-rasmda tasvirlangan. σ_1 va σ_2 ga 45° burchak ostidagi har qanday maydonchada $\tau_{\max}$ bo'lar ekan.

5. Bosh kuchlanishlar σ_1 va σ_2 ga 45° burchak ostidagi maydonchalarda $\tau_{\max}$ bo'lishini 3 va 4-bulimlarda ko'rdik.

Bu maydonchadagi normal kuchlanish σ_{45° quyidagi formula yordamida hisoblanadi.

$$\begin{aligned}\sigma_{45^\circ} &= \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} = \frac{\sigma_\alpha + \sigma_\beta}{2} = \frac{-24,793 - 145,207}{2} = \\ &= \frac{-40 - 130}{2} = -85;\end{aligned}$$

Bu σ_{45° kuchlanishini Mor doirasi yordamida ham hisoblaymiz. Urinma kuchlanish $\tau_{\max} = 60,207$ qiymati Mor doirasi markazidagi ordinataga mos keladi. Uni 14-rasmda belgilaymiz. σ o'qidagi OC kesma esa shu σ_{45° li maydonchadagi, ya'ni $\tau_{\max}$ ga mos keluvchi normal kuchlanish bo'ladi. Buni hisoblaymiz:

$$\begin{aligned}OC &= CB + OB = -\frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_\beta - \sigma_\alpha)^2 + 4\tau_{\max}^2} + \sigma_1 = \\ &= -0,5\sqrt{(-130 + 40)^2 + 4 \cdot 402} - 24,793 = -0,5\sqrt{(-90)^2 + 6400} - 24,793 = \\ &= -0,5 \cdot \sqrt{14500} - 24,793 = -0,5 \cdot 120,415 - 24,793 = \\ &= -60,207 - 24,793 = -85;\end{aligned}$$

Ikkala holda ham bir xil qiymat chiqishi hisoblashning tug'ri bajarilganligini ko'rsatadi.

$r_{\max} = 60,207$ va $\sigma_{45^\circ} = -85$ ni Mor doirasida, ya'ni 14-rasmda tasvirlaymiz

6. Morning mustahkamlik nazariyasi asosida kuchlangan nuqtadagi materialning mustahkamligini baholaymiz. Bu nazariyaga ko'ra:

$$\sigma_{red} = \sigma_1 - k\sigma_3 \leq R_{t(s)}$$

bo'lishi kerak. Bizning holda element siqilishga ishlayotgani uchun R_t ni emas R_c ni olamiz. Bunda $k = \frac{R_t}{R_c}$ bo'lib, R_t - cho'zilishda, R_c - siqilishda ruxsat etilgan kuchlanish, ya'ni hisob qarshiliklari.

Bizda $\sigma_1 = -24,793$; $\sigma_3 = \sigma_2 = -145,207$ bo'lgani uchun

$$\sigma_{red} = -24,793 + \frac{40}{130}145,207 = -24,793 + 44,679 = 19,886 < R_s = 130 \text{ MPa}$$

Bundan ko'rinadiki, material mustahkamligi to'la taminlanar ekan.

7. Koordinata o'qlari x , y , z yunalishidagi elementning nisbiy deformasiyalarini hisoblaymiz:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}(\sigma_x - \nu\sigma_y) = \frac{1}{2 \cdot 10^5}(-40 + 0,3 \cdot 130) = -0,5 \cdot 10^{-5} = -0,000005;$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E}(\sigma_y - \nu\sigma_x) = \frac{1}{2 \cdot 10^5}(-130 + 0,3 \cdot 40) = -59 \cdot 10^{-5} = -0,00059;$$

$$\varepsilon_z = -\frac{\nu}{E}(\sigma_x + \sigma_y) = -\frac{0,3}{2 \cdot 10^5}(-40 - 130) = 25,5 \cdot 10^{-5} = -0,000255;$$

Qaralayotgan elementning nisbiy hajmiy deformatsiyasini aniqlaymiz:

$$\theta = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = -0,00005 - 0,00059 + 0,000255 = -0,00034;$$

Masalaning sharti to'liq bajarildi.

Xulosa

Olingan natijalarning qisqacha mazmuni. Bitiruv malakaviy ishida tekis kuchlangan element uchun Mor doirasi asosida bosh kuchlanishlarni qiymatini va ularning yuklanishlarini hisoblangan bosh maydonchalar holati va bosh kuchlanishlarning yo'nalishini topilgan eng kata urinma kuchlanishlarni aniqlangan, eng kata urinma kuchlanish ta'sir qiladigan maydonchadagi normal kuchlanish Mor doirasi yordamida topilgan, qaralayotgan element mustahkamlikka tekshirilgan, x , y , va z o'qlarining yo'nalishi bo'yicha elementning nisbiy chiziqli deformatsiyasi hamda, nisbiy hajmiy deformatsiyalari aniqlangan.

