8-MA`RUZA. BURALISH. ASOSIY TUSHUNCHALAR. BUROVCHI MOMENT. VALNI BURALISHDAGI MUSTAHKAMLIK SHARTI.

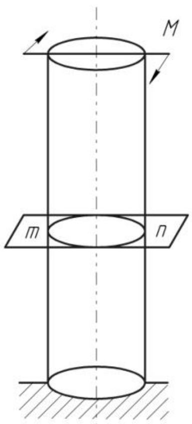
Reja:

1. Buralishdagi deformatsiyalarni aniqlash
2. Doiraviy silindrik ko’ndalang kesimining polyar inertsiya momenti va qarshilik momenti
3. Buralishdagi deformatsiyalarni aniqlash

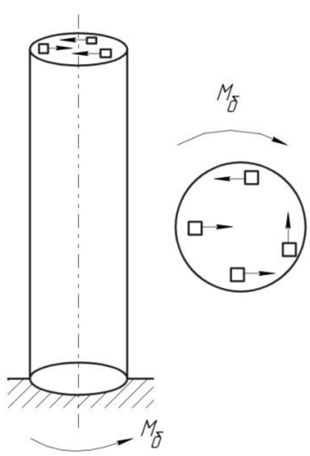
Prizmatik sterjenning bir uchi mahkamlanib boshqa uchiga uning ko’ndalang kesimida yotuvchi juft kuch qo’yilsa, sterjenning ko’ndalang kesimlari mahkamlangan kesimga nisbatan aylanib, sterjen buraladi. Buralish deformatsiyasi tajribada juda ko’p uchraydi. Masalan, vagon o’qi, transmission va tirsakli vallar, fazoviy konstruktsiya elementlari, prujinalarining o’ramlari, bolt va hokazolar asosan buralish deformatsiyasiga qarshilik ko’rsatadi.

Silindrik sterjenning bir uchini mahkamlab, ikkinchi uchini kesimiga juft kuch ta`sir ettirilsa, sterjen buraladi (8.1-shakl); uning ko’ndalang kesimlari mahkamlangan kesimga nisbatan aylanadi. Shuning uchun bu juft kuch momenti burovchi moment deb ataladi va “M_b” bilan belgilanadi.

Agar biz tekshirayotgan sterjenni uning o’qiga tik o’tkazilgan *mn* tekislik bilan ikki qismga ajratib, bir qismini, masalan, yuqori qismini tashlab yuborsak qolgan pastki qismini yuqori uchiga tashlab yuborilgan qismning tepa uchiga qo’yilgan juft kuchga ekvivalent bo’lishi kerak, aks holda muvozanat sharti ta`minlanmagan bo’ladi. Shuning uchun, biz tekshirayotgan qismining tepa uchidagi kesim yuzasi bo’yicha tarqalgan ichki kuchlar $M_{б}$ momentli juft kuchga keltiriladi. Bu ichki kuchlardan hosil bulgan juft kuch kesim yuzasiga yetgani uchun bunga tegishli kuchlanishlar tangentsial kuchlanishlar bo’ladi (8.2-shakl).



8.1-shakl.



8.2-shakl.

Endi bu tekshirilaetgan pastki qism uchun muvozanat tenglamasini tuzamiz. Kesim yuzasidan biror elementar dA yuzachani ajratsak, undagi ichki kuch $\tau\, dA$ bo’ladi. Bu kuchning silindr o’qiga nisbatan olingan momentini dM_{τ} desak, muvozanat tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$\int dM_{\tau} = M_{б} \tag{8.1}$$

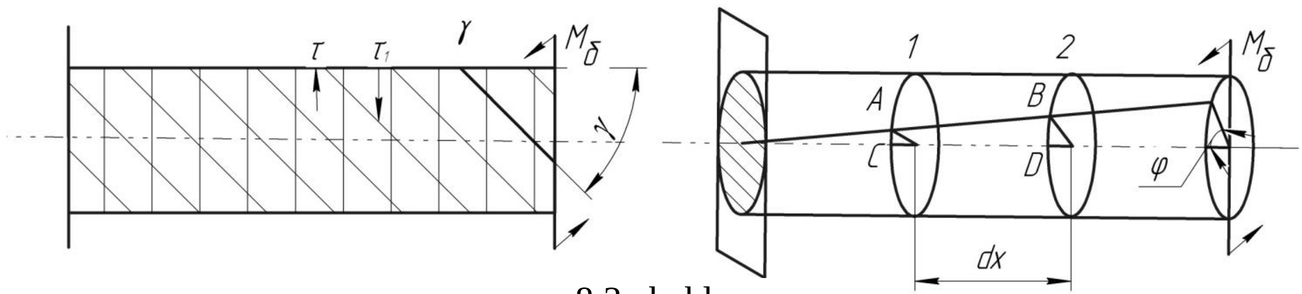
Elementar yuzacha dA ga qo'yilgan rdF kuchning yelkasini ρ desak, u holda
$dM_{\tau} = \rho\tau dA$ bo'ladi va yuqrridagi muvozanat tenglamasiga qo'yib,

$$\int \rho r dF = M_{б} \tag{8.2}$$

tenglikni hosir qilamiz. Ammo kesim yuzasi bo'yicha tangentsial kuchlanishning qanday qonun bilan tarqalganligi bizga ma`lum bo'lmaganligi uchun, bu tenglamadan hozircha buralishdagi tangentsial kuchlanishni aniqlab bo'lmaydi. Buralishdagi kuchlanishni aniqlash masalasini statika tenglamalaridan foydalanib oxiriga yetkazish mumkin emas. Demaq masala statik aniqmas ekan. Qo'shimcha tenglamani buraluvchi silindrning deformatsiyasini tekshirish yo'li bilan tuzamiz.

Buralishda hosil bo'ladigan deformatsiyalarni aniqlashdan oldin, bu sohada o'tkazilgan tajribalarning natijalari bilan tanishib chikamiz. Doiraviy silindr buralishga sinalganda, quyidagi xulosalar chiqarilgan.

1. Buralayotgan silindrning barcha yasovchilari bir xilda γ burchakka og'adi va tsilindir sirtida chizilgan kvadratlar bir xilda qiyshayib, romb shaklini oladi (8.3-shakl).



8.3-shakl.

2. Har bir ko'ndalang kesim qo'shni kesimga nisbatan tsilindir o'qi atrofida ma`lum burchakka aylanadi. Bu burchak **buralish burchagi** deyiladi. Buralish burchagi burovchi momentga va ko'ndalang kesimlar oralig'iga proportsionaldir.

3. Deformatsiyagacha tekis bo'lgan ko'ndalang kesim yuzaga silindr buralgandan keyin ham tekisligicha, kesim gardishi aylanaligicha, radiusi esa to'g'ri chiziqligicha qoladi (8.3-shakl). Buralayotgan silindrik sterjen sxematik ravishda, markazlari bilan bitta umumiy o'qqa o'rnatilgan qattiq tangalar to'plamidan tuzilgan deb tasavvur qilinsa, silindrik sterjen buralganda tangalarning ko'rinishi va o'lchamlari o'zgarmasdan, ular bir-biriga nisbatan umumiy o'q atrofida aylanadi.

Keltirilgan bu tajribalarning natijalaridan foydalanib doiraviy kesimli silindr uchun buralishda hosil bo'ladigan deformatsiya va kuchlanishlarning ko'ndalang kesim yuzasi bo'yicha qanday qonun bilan o'zgarishini aniqlashimiz mumkin.

Buralayotgan silindrik sterjen sirtidagi ikkita qo'shni *ab* va *cd* yasovchi va ikkita bir-biriga cheksiz yaqin ko'ndalang kesimlar 1-1 va 2-2 bilan chegaralangan *AVSD* to'g'ri to'rt burchaklikni ajratamiz. Sterjenning deformatsiyalanishi natijasida 1-1 kesim φ va 2-2 $\varphi + r\varphi$ kesim burchaklarga aylanadi. Yuqorida keltirilgan tajriba natijalariga muvofiq bu kesimlarning yuzasi tekisligicha qoladi,

O_1A_1, O_2B_1, O_1C va $O_1Д_1$ radiuslari to’g’ri chiziq bo’lib, kesimlar oraligi dx o’zgarmaydi. 2-2 kesim 1-1 kesimga nisbatan $d\varphi$ burchakka aylangani uchun, yuqorida aytilgan $ABCДB_1O_2$ element qiyshayib, $A_1B_1C_1Д_1O_1O_2$ ga aylanadi. Bu qiyshayish natijasida *AVSD* niig to’g’ri burchaklari torayadi va kengayadi. Ajratilgan elementning materilali siljish deformatsiyasiga duch kelib, bu deformatsiya kiyshayish burchagi bilan, yao’niy nisbiy siljish bilan xarakterlanadi. Bu burchak sterjen sirtidagi $A_1BДC_1$ to’g’ri burchakdagi $BA_1B_1 = \gamma$ burchakka tengdir. Siljish deformatsiyasi qiyshaygan element tomonlarida hosil bo’ladigan tangetsial kuchlanishlar ta`sirida vujudga kelishi bizga ma`lum. *V* nuqta oldidan ajratilgan yuzalardagi tangentsial kuchlanishlar tasvirlangan. Bu kuchlanashlarni siljish deformatsiyasi (γ) orqali ifodalashimiz mumkin. Buning uchun $\tau = G\gamma$ tenglamadan foydalanamiz. *AV* elementning absolyut siljishi $BB_1 = rd\varphi$ bo’ladi. Nisbiy siljish γ uchun quyidagi ifodani olamiz:

$$\gamma = \frac{BB_1}{A_1B} = r\frac{d\varphi}{dx} \tag{8.3}$$

O’zgarmas qiymatli burovchi moment tasiridan buralgan doiraviy kesimli sterjen uchun $\frac{d\varphi_x}{dx}$ o’zgarmas miqdor bo’lib, sterjenning uzunlik birligiga to’g’ri kelgan buralish burchagidir (θ), u holda (8.3) tenglik quyidagiga teng bo’ladi,

$$\gamma = r\theta.$$

Agar ρ – radiusli bo’lsa $\gamma_\rho = \rho\theta$ o’rinli bo’ladi.

Demak, V nuqtadagi tangentsial kuchlanish

$$\tau_B = G\cdot\gamma = G\cdot r\frac{d\varphi}{dx} \tag{8.4}$$

Endi, ko’ndalang kesimning biror boshka *L* nuqtasidagi kuchlanishii topamiz. Bu *L* nuqta kesim markazidan ρ oralikda bulsin. Dastlab *L* nuqtadagi nisbiy siljish (γ_ρ) ni aniklashimiz lozim.

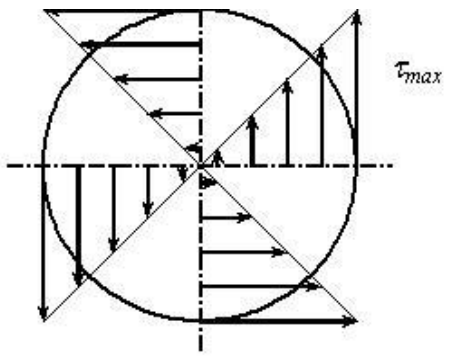
$$\gamma_\rho = \rho\frac{d\varphi}{dx}$$

Demak, bu *L* nuqtadagi kuchlanish:

$$\tau_\rho = G\cdot\rho\frac{d\varphi}{dx} \tag{8.5}$$

bo’ladi. Buralayotgan sterjen ko’ndalang kesimning har bir nuqtasidagi nisbiy siljish va tangentsial kuchlanish mazkur nuqtadan kesim markazigacha bo’lgan oraliq (ρ) ga to’g’ri proportsional bo’lib, bunda kuchlanishning eng katta qiymati kesimning gardishida bo’lib, markazida nolga aylanadi (8.4-shakl).

Endi bu kuchlanishni burovchi moment orqali ifodalash kerak. Buning uchunlshng qiymati (8.5) dan (8.2) ga olib borib ko’yamiz.



8.4-shakl

$$\int_F G\rho \frac{d\varphi}{dx}\rho dF = M_R \qquad (8.6)$$

Bu integral ostidagi $G\frac{d\varphi}{dx}$ miqdor integrallash o'zgaruvchisiga bog'lik bo'lmaganligi uchun uni integraldan tashqariga chiqarish mumkin:

$$G\frac{d\varphi}{dx}\int_F \rho^2 dA = M_R \qquad (8.7)$$

Elementar dA yuzacha bilan mazkur yuzachadan kesim markazigacha bo'lgan oraliqning kvadrati ko'paytmalaridan kesimning butun yuzasi bo'yicha olingan $\int_F dA\rho^2$ yig'indi kesim yuzasining polyar inertsiya momenti deyiladi va I_p orqali belgilanadi.

$$I_p = \int_F \rho^2 dA \qquad (8.8)$$

Bu integral ifoda ko'zda tutilsa, yuqoridagi tenglik quyidagicha yoziladi:

$$GI_p \frac{d\varphi}{dx} = M_\delta \qquad (8.9)$$

Bu tenglikdan silindrik sterjenning uzunlik birligiga to'g'ri keladigai buralish burchagi uchun quyidagi formulani hosil qilamiz:

$$\frac{d\varphi}{dx} = \frac{M_\delta}{GI_p} \qquad (8.10)$$

Buni (8.5) tenglamaga qo'yilsa, buralishdagi tangentsial kuchlanishni topiladi,

$$\tau = \frac{M_\delta}{I_p}\cdot\rho \qquad (8.11)$$

Bu kuchlanish kesimning gardishida, ya`ni $\rho_{\max} = r$ bo'lganda eng katta qiymatga erishadi:

$$\tau_{\max} = \frac{M_\delta \rho_{\max}}{I_p} = \frac{M_\delta \cdot r}{I_p} \qquad (8.8)$$

Bu formulani quyidagi ko'rinishda ham yozish mumkin:

$$\tau_{\max} = M_\delta / I_p / \rho_{\max} = \frac{M_\delta}{W_\delta} \qquad (8.13)$$

W_δ - buralishdagi qarshilik momentidir.

Mustahkamlik shartiga muvofiq maksimal tangentsial kuchlanish ($\tau_{\max}$) tegishli ruxsat etilgan kuchlanishdan oshmasligi shart, ya`ni

$$\tau_{\max} = \frac{M_\delta}{W_p} \leq [\tau] \qquad (8.14)$$

Burovchi moment M_{δ} ma`lum va material uchun ruxsat etilgan $[\tau]$ kuchlanish tanlangan bo'lsa, bu tenglamadan foydalanib, mustahkamlikni ta`min etuvchi qarshilik momentini va u orqali buraluvchi silindrning diametrini aniqlash mumkin. Va aksincha, diametri va ruxsat etilgan kuchlanish ma`lum bo'lsa, burovchi momentni aniqlash mumkindir.

Buralishdagi deformatsiyalarni aniqlash.

Sterjenning bir uchi mahkamlangan bo'lsin. Shu uchidan *x* masofadagi kesimning aylanish burchagini buralish burchagi deb atagan edik. Agar (8.10) tenglamani *x* bo'yicha integrallasak,

$$\varphi_x = \frac{M_{\delta}}{GI_p} x + C \qquad (8.15)$$

kelib chikadi. Ixtieriy o'zgarmas (*S*) ni sterjenning mahkamlangan kesimi ko'zg'almasligini ifodalovchi shartdan topamiz: *xq0* bo'lganda kesim qo'zg'almaydi, ya`ni $\varphi = 0$ bo'ladi. Shuning uchun $(C = 0)$:

$$\varphi_x = \frac{M_{\delta}}{GI_p} x \qquad (8.16)$$

Sterjenning uzunligi *l* bo'lsa, eng katta buralish burchagi shu uzunlik birligi aniqlangai kesimda bo'ladi:

$$\varphi = \frac{M_{\delta} \cdot l}{GI_p} \qquad (8.17)$$

Bu formula cho'zuluvchi sterjenning absolyut cho'zilishini aniqlash uchun keltirib chiqarilgan formulaga o'xshashdir.

GI_p-ko'paytma buralishdagi bikrlik deb ataladi va har bir material uchun material turiga ko'ra aniqlanadi.

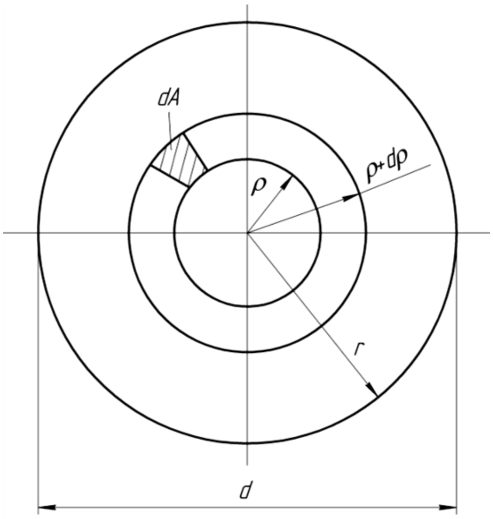
O'zgaruvchan yuk ta`sirida ishlaydigan mashinalar uchun buralish burchagini qiymati $\varphi = 0{,}15^{\circ} - 0{,}20^{\circ}$ bo'lishi kerak.

Doiraviy silindrik ko'ndalang kesimining polyar inertsiya momenti va qarshilik momenti.

Polyar inertsiya momenti $I_p = FdA$ ni hisoblash uchun ko'ndalang kesim yuzasida ρ va $\rho + d\rho$ radiuslari bilan chegaralangan halqa ajratamiz (8.5-shakl). Bu halqadan dF_i elementar yuzacha olib, oldin halqa yuzi uchun $\rho^2 dA_i$ ko'paytmalarining yig'indisini hisoblaymiz. Uni dI_p deb belgilasak:

$$dI_p = \sum_{i=1}^{n} \rho^2 dA_i \qquad (8.18)$$

bo’ladi. Halqaning barcha elementar zarrachalari doira markazidan bir xil masofada turgani uchun ρ^2 ni yig’indi ishorasidan tashqari chiqarishimiz mumkin, u holda



8.5-shakl.

$$dI_p = \rho^2 \sum_{i=1}^{n} dF_i \qquad (8.19)$$

bo’ladi. Halqaning yuzi asosan $2\pi\rho$ va balandligi “$d\rho$” bo’lgan ingichka to’g’ri to’rtburchak yuziga teng, ya`ni

$$\sum_{i=1}^{n} dF_i + 2\pi\rho\, d\rho \qquad (8.20)$$

tenglikni inobatga olib kesimning polyar inertsiya momenti uchun quyidagi integralni hosil qilamiz.

$$I_p = \int_0^r 2\pi\rho^3\, d\rho = \frac{\pi r^4}{2} \qquad (8.21)$$

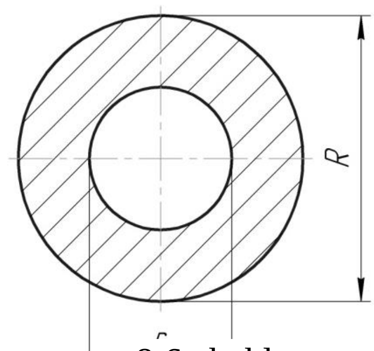
Polyar inertsiya momenti doiraviy kesimning diametri orqali ifodolasak (8.1) quyidagicha yoziladi:

$$I_p = \frac{\pi d^4}{32} = 0{,}1 d^4 \qquad (8.22)$$

Bunday hollarda buralishdagi qarshilik momenti esa

$$W_p = \frac{I_p}{\rho_{\max}} = \frac{\pi r^4}{2r} = \frac{\pi r^3}{2} = \frac{\pi d^3}{16} \approx 0{,}2 d^3 \qquad (8.23)$$

Buralishga ishlayotgan silindrik sterjen val vazifasini o’tasa uni yengillashtirish maqsadida o’rta qismi o’yib tashlanadi, u holda val truba shakliga kiradi.



8.6-shakl

Bu tadbir valning buralishiga qarshilik ko’rsatish qobilyatini ko’p kamaytirmaydi, chunki asosiy kuchlanish ko’ndalang kesimning gardishida bo’lib, o’rta qismida kamayadi va markazda nolga teng. Bunday konstruktsiya elementlarining polyar inertsiya momenti bilan buralishdagi qarshilik momentini quyidagicha hisoblaymiz.(8.6-shakl).

$$I_p = 2\pi \int_r^R \rho^3\, d\rho = \frac{\pi}{2}\left(R^4 - r^4\right) \qquad (8.24)$$

yoki

$$I_p = \frac{\pi}{32}\left(D^4 - d^4\right) \approx 0{,}1\left(D^4 - d^4\right) \qquad (8.25)$$

Ushbu

$$W_p = \frac{I_p}{\rho_{\max}} = \frac{\pi\left(R^4 - r^4\right)}{2R} = \frac{\pi\left(D^4 - d^4\right)}{16D} \qquad (8.26)$$

ko'rinadiki, polyar inertsiya momenti va qarshilik momenti har bir kesim uchun ma`lum bir qiymatga ega bo'lib, ko'ndalang kesimning o'lchamlariga bog'liqdir.

Nazorat savollari

1. Burovchi moment deb nimaga aytiladi?
2. Buralishdagi mustahkamlik sharti orqali qanday masalalarni hal etish mumkin?
3. Buralish burchagi epyurasi qanday chiziladi?

Tayanch so'z va iboralar

Burovchi moment, juft kuch, mustahkamlik sharti, buralishdagi ruxsat etilgan kuchlanish, epyura, val, sterjen, buralish burchagi.