

CALCULATION OF RUBBER SHOCK-ABSORBERS IN VIEW OF DEFORMATION OF THEIR LAYERS

ELASTOMĒRA AMORTIZATORA STINGUMA APRĒĶINS, ŅEMOT VĒRĀ TĀ STARPSLĀŅA DEFORMĀCIJU

Vladimirs Gonca, professor, Dr.sc.ing.
Riga Technical University, Institute of Mechanics
Address: 6 Ezermalas Street, Riga, LV-1006, Latvia
Phone: +371 6089317, Fax: +371 67089748
E-mail: Vladimirs.gonca@rtu.lv

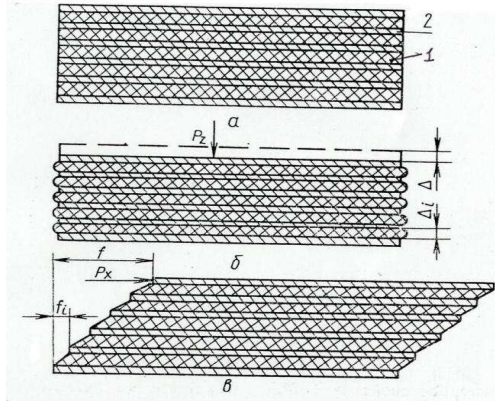
Viktors Gutakovskis, student
Riga Technical University, Institute of Mechanics
Address: 6 Ezermalas Street, Riga, LV-1006, Latvia
Phone: +371 67089473, Fax: +371 67089748
E-mail: gudakovskis@inbox.lv

Romans Kobriņecs, doctoral studies
Riga Technical University, Institute of Mechanics
Address: 6 Ezermalas Street, Riga, LV-1006, Latvia
Phone: +371 67089473, Fax: +371 67089748

Atslēgas vārdi: elastomērs, nosēde, stingums, amortizators

Ievads

Dažādās būvēs un mašīnbūves nozarēs plaši pielieto daudzslāņu gumijas-metāla amortizācijas izstrādājumus, kam piemīt vairākas konstrukcijas priekšrocības. Tie nodrošina lielāku stingumu pie centrālās saspiedes un mazāku stingumu, strādājot uz bīdi vai vērpi. 1. attēlā parādīta gumijas - metāla slāņu paketes principiāla shēma: gumijas slānis 1 savienots ar plāniem neelastomēra slāņiem 2, pielietojot vulkanizāciju.



1. attēls. Plakans plāno slāņu gumijas – metāla izstrādājums (a),
(δ) – tā saspiešana, (b) - tā bīde

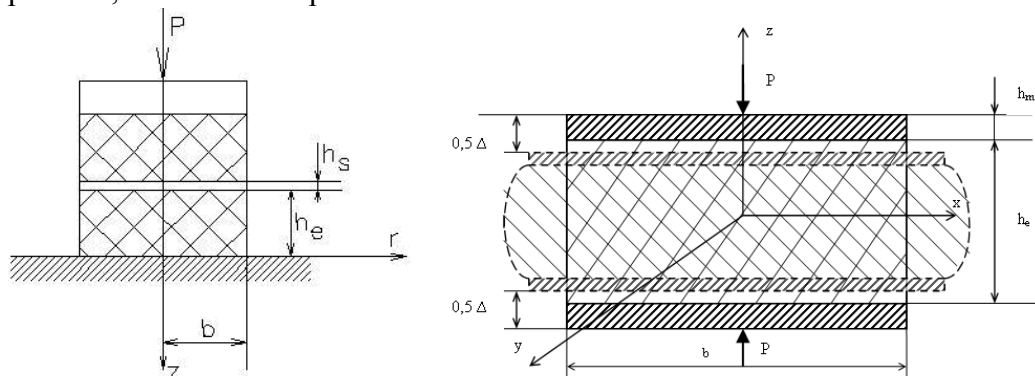
Vairāki autori, kas veikuši gumijas - metāla slāņu paketes eksperimentālus pētījumus stiepē un spiedē [1, 2], kuras pamatelementos bija ļoti plāni neelastomēra slāņi, atzīmē nozīmīgu eksperimentālo datu nesakrīšanu ar analītiskajiem rezultātiem, kuros ņemts vērā elastomēra materiāla vājais saspiežamības efekts. Jo vairāk Puasona koeficients tuvojās 0,5, jo plānāki ir elastomēra un neelastomēra slāņi paketē, tātad nesakrīšanas būs lielākas. Analīze rāda, ka analītiskās atkarības „spēks - nosēde” iegūšanā šīs kļūdas ir saistītas ar neelastomēra slāņu deformāciju neievērošanu. Tāpēc šajā darbā apskatīta stinguma raksturojuma „spēks - nosēde” iegūšanas metodika plāno slāņu elastomēra amortizatoriem, kas strādā uz stiepi – spiedi, ievērojot neelastomēra slāņu deformāciju. Izmantota lineārās stinguma teorijas variācijas metode vāji saspiežamiem materiāliem [3, 4]. Iegūtās analītiskās atkarības ieteicams pielietot daudzslāņu kompensējošo izstrādājumu projektēšanā.

Stinguma raksturojuma „spēks - nosēde” iegūšanas metodika

Plāno slāņu gumijas – metāla kompensēšanas elementu optimālai projektēšanai un efektīvai darbības nodrošināšanai ir nepieciešama stinguma atkarības „spēks – nosēde” analītiskā izstrādājuma aprēķināšanas shēma, kur ievērota un novērtēta neelastomēra izstrādājumu ģeometriskā un materiālu fizikāli - mehāniskā raksturojuma ietekme.

Šajā darbā piedāvāts viens no aprēķināšanas shēmas variantiem, kas ļauj novērtēt neelastomēra slāņa deformācijas ietekmi uz izstrādājumu stinguma raksturojumiem pie stiepes un spiedes mazo deformāciju apgabalā. Apskatītas tikai paketes no taisnstūrīgiem plāniem elementiem.

Neelastomēra slāņa deformāciju lielumu un kvalitatīvo ietekmi uz stinguma raksturojumu „spēks - nosēde” aplūkosim prizmatiskā gumijas-metāla slāņu paketes – amortizatora piemērā, kura shēma ir parādīta 2. attēlā.



2. attēls. Aprēķina shēma, n – tais elementa slānis

Uzdevumu risinām ar variācijas metodi, pielietojot potenciālas enerģijas minimuma principu [4, 5] vāji saspiežamiem materiāliem. Potenciālā enerģija apskatāmajai shēmai izskatīsies šādi:

$$J = G \int_V \left[(E_{xx}^2 + E_{yy}^2 + E_{zz}^2 + 2(E_{xz}^2 + E_{yz}^2 + E_{xy}^2)) + \frac{3\mu}{1+\mu} S(E_{xx} + E_{yy} + E_{zz}) - \frac{9\mu(1-2\mu)}{4(1+\mu)^2} S^2 \right] \bullet dV - P\Delta, \quad (1)$$

kur: G - bīdes modulis; μ - Puasona koeficients;

P - centrālais saspiedes spēks; Δ - nosēde;

S - hidrostatiska spiediena funkcija;

u, v, w - elastomēra slāņa nejauša punkta pārvietojumi pa asīm x, y, z ;

V – slāņa tilpums.

Deformāciju aprēķina pēc formulām:

$$\begin{aligned} E_{xx} &= \frac{du}{dx}; & E_{yy} &= \frac{dv}{dy}; & E_{zz} &= \frac{dw}{dz}; \\ E_{xy} &= \frac{1}{2} \left(\frac{du}{dy} + \frac{dv}{dx} \right); & E_{yz} &= \frac{1}{2} \left(\frac{dv}{dz} + \frac{dw}{dy} \right); & E_{zx} &= \frac{1}{2} \left(\frac{du}{dz} + \frac{dw}{dx} \right); \end{aligned} \quad (2)$$

Paketes pilna potenciālā enerģija tiek aprēķināta, summējot elastomēra un neelastomēra slāņus, formula (1). Attiecīgā slāņu materiāla konstantes apzīmēsim ar indeksiem: e – elastomēra slānim; m – neelastomēra slānim.

Pie funkcionāla (1) pielietošanas un pārvietojumu funkcijas, hidrostatiskā spiediena funkcijas izvēles ir pietiekoši izpildīt tikai ģeometriskos robežnosacījumus un slāņu salaišanas nosacījumus pārvietojumu funkcijai:

$$\begin{aligned} u_e(x, y, \pm 0.5h_e) &= u_m(x, y, \pm 0.5h_e); & v_e(x, y, \pm 0.5h_e) &= v_m(x, y, \pm 0.5h_e); \\ w_e(x, y, 0.5h_e) &= -0.5\Delta; & w_e(x, y, -0.5h_e) &= 0.5\Delta. \end{aligned} \quad (3)$$

Pārvietojuma funkciju izvēlamies, pamatojoties uz plakano šķēlumu hipotēzi šķērsriezuma elastomēra elementam un neelastomēra slāņa viendabīgai deformācijai. Ievērojot ģeometrisko nosacījumu (3), pierakstām meklējamās funkcijas sekojošā izskatā:

$$\begin{aligned} u_e &= C_1 x (z^2 - h_e^2/4) + K_1 x, & v_e &= C_2 y (z^2 - h_e^2/4) + K_2 y \\ w_e &= -C_3 (z^3/3 - zh_e^2/4)/h_e^3 - C_4 z, & S_e &= C_5 (z^2 - h_e^2/4), \\ u_m &= K_1 x, & v_m &= K_2 y, & w_m &= S_m = 0, \end{aligned} \quad (4)$$

kur: $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, K_1, K_2$ – nezināmās konstantes; Δ - izstrādājuma paketes meklējamā nosēde. No (3) un (4) seko:

$$\Delta = -C_3 h_e^3/6 + C_4 h_e. \quad (5)$$

Atkarību „spēks – nosēde” aprēķinām no funkcionāla minimuma nosacījuma (1):

(6)

$$\frac{\partial J(C_1, C_2, C_3, C_4, K_1, K_2)}{\partial(C_1, C_2, C_3, C_4, K_1, K)} = 0.$$

No algebrisko vienādojumu sistēmas (5) un (6) meklējamajai atkarībai „spēks – nosēde” iegūstam izteiksmi:

$$\Delta = \frac{P h_e n}{2,5 G_e a b} \frac{1 + 1,25 \frac{B_1 B_2}{\chi(B_1 + B_2)}}{1 + \frac{B_1 B_2}{B_1 + B_2 + \frac{1 - 2\mu}{\mu} B_1 B_2}}, \quad (7)$$

kur:

$$B_1 = 1 + \frac{5 \alpha^2}{12}; \quad B_2 = 1 + \frac{5 \beta^2}{12};$$

$$\alpha = \frac{a}{h_e}, \quad \beta = \frac{b}{h_e}, \quad \chi = \frac{G_m h_m}{G_e h_e}, \quad (8)$$

Δ – gumijas-metāla slāņu paketes pilnā nosēde; n - elastomēra slāņu daudzums paketē; a, b – elastomēra slāņa elementa gabarītu platums un garums; h_e un h_m - elastomēra un neelastomēra slāņa gabarīta biezums; G_e un G_m – elastomēra un neelastomēra materiāla bīdes moduļi; μ - elastomēra materiāla Puasona koeficients.

Ja neelastomēra slāņi būs pietiekami biezi ($h_m \gg h_e$) un cieti ($G_m \gg G_e$), tad viņu deformēšanu var neņemt vērā ($\chi \rightarrow \infty$), un no atkarības (7) iegūsim formulu, kas sakrīt ar atkarību „spēks – nosēde” (Δ^*), kura ir iegūta darbā [5] bez neelastomēra slāņu deformācijas ietekmes paketē.

No atkarības (7) seko, ka noteiktas ģeometrijas slāņu paketei un slāņu materiālu fizikāli – mehānisko īpašību dēļ, plāno slāņu amortizatora paketes nosēdes aprēķināšana bez neelastomēra slāņu deformācijas neievērošanas var novest pie nozīmīgam skaitliskām kļūdām. Piemēram, amortizatora paketei ar parametriem:

$a = b = 8$ cm, $h_e = 0,2$ cm, $G_e = 10$ kg/cm², $h_s = 0,02$ cm, $G_s = 2,8 \times 10^5$ kg/cm²,

kļūda raksturojumā „spēks – nosēde” sastāda aptuveni 30%, tātad, no formulām (7), (8) un atkarības (5) - no [5] - seko, ka:

$$\Delta = \left[1 + 1,25 \frac{B_1 B_2}{\chi(B_1 + B_2)} \right] \Delta^* = 1,298 \Delta^*, \quad (9)$$

kur: Δ – amortizatora nosēde, ievērojot neelastomēra slāņu deformāciju - formula (7);

Δ^* - amortizatora nosēde, neievērojot neelastomēra slāņu deformāciju – no[5].

Secinājumi

Aplūkotā metodika dod iespēju iegūt plāno slāņu elastomēru un neelastomēru daudzslāņu pakešu kompensējošo izstrādājumu analītisko atkarību „spēks – nosēde” pie saspiešanas un stiepes. Ir parādīts, ka neelastomēru slāņu deformācijas neievērošana var radīt nozīmīgas kļūdas izstrādājumu nosēdes aprēķināšanā.

Literatūra

1. Гусятинская Н.С. Применение тонкослойных резинометаллических элементов в станках и других машинах - Москва, 1978 - 80 с.
2. Лейканд Н.А., Лавендел Э.Э., Горелик Б.М. и др. Экспериментальное исследование

- констант упругости резин 2959 и 51-1673 // В кн.: Всес. науч.-техн. конференция по методике расчета изделий из высокоэластичных материалов - Рига, 1980 - с. 142 - 143.
3. Гонца В.Ф. Влияние слабой сжимаемости на решение задач теории упругости для несжимаемого материала // В: Вопросы динамики и прочности, вып. 20 - Рига, 1970, - с. 185-189.
 4. Лавендел Э.Э. Расчеты резинотехнических изделий - Москва, 1976 - 232 с.
 5. V. Gonca, V. Gutakovskis. Gumijas-metāla elementu stingums spiedē, ņemot vērā gumijas vājo saspiežamību // RTU rakstu krājums: Mašīnzinātne un transports. Mehānika - Rīga, RTU, 2008.

Gonca V., Gutakovskis V., Kobriņecs R. Elastomēra amortizatora stinguma aprēķins, ņemot vērā tā starpslāņa deformāciju

Darbā apskatīta stinguma raksturojuma „spēks - nosēde” iegūšanas metodika plāno slāņu elastomēra amortizatoriem, kas strādā uz stiepi-spiedi, ievērojot neelastomēra slāņu deformācijas. Ir parādīts, ka neelastomēru slāņu deformācijas neievērošana var radīt nozīmīgas kļūdas izstrādājumu nosēdes aprēķināšanā. Pielietota lineārās stinguma teorijas variācijas metode vāji saspiežamiem materiāliem. Uzdevumu risinām ar variācijas metodi, pielietojot potenciālās enerģijas minimuma principu vāji saspiežamiem materiāliem. Šajā darbā piedāvāts viens no aprēķina shēmas variantiem, kurš ļauj novērtēt neelastomēra slāņa deformācijas ietekmi uz izstrādājumu stinguma raksturojumiem pie stiepes un spiedes mazo deformāciju apgabalā. Iegūtās analītiskās atkarības rekomendē pielietot kompensējošo daudzslāņu izstrādājumu projektēšanā.

Gonca V., Gutakovskis V., Kobriņecs R. Calculation of rubber shock-absorbers in view of deformation of their layers

Here is discussed the method of getting the dependence of „ force – compression ” for rubber – metal elements which are working for tension – compression with taking in to the consideration the deformation of not elastomeric support layers. Therefore here is discussed the stiffness characteristic of the dependence „ force – compression ” getting method for the thick – layer elastomeric shock – absorber , which run for tension – compression with the not elastomeric layer deformation accounting. It is use the linear stiffness theory variation method for the weakly compressed material. For the task solution is used variation method with using the potential energy minimum principle for the weakly compressed material. In this case is offered the calculation diagram variant, which gives us the possibility valuate not elastomer layer deformation effect for the tension and compression characteristic in the small deformation area. The result dependences are recommended to use for designing the compensation products and for the of Poisson`s ratio calculation.

Гонца В., Гутаковский В., Кобринец Р. Расчет жесткости эластомерного амортизатора с учетом деформации опорных слоев

Рассмотрена методика получения жесткостной характеристики «сила-осадка» многослойных эластомерных амортизаторов с учетом деформации неэластомерных опорных слоев. В данной работе рассмотрена методика получения жесткостной характеристики «сила-осадка» резино-металлических элементов, которые работают на растяжение – сжатие с учетом деформации неэластомерного слоя. Используется вариационный метод линейной теории для слабосжимаемых материалов. Задачу решаем вариационным методом, используя принцип минимума потенциальной энергии для слабосжимаемых материалов. В данной работе предложен один из вариантов расчетной схемы, который позволяет оценить влияние деформации неэластомерного слоя на жесткостные характеристики изделия при растяжении и сжатии в области малых деформаций. Полученные зависимости рекомендуется использовать при проектировании многослойных компенсирующих изделий.