

STRAINS AND STRESSES OF THREE—LAYER COMPOSITE BARS AND BEAMS

J. Bareišis , D. Garuckas , A. Mikulskas & D. Striukienė

To cite this article: J. Bareišis , D. Garuckas , A. Mikulskas & D. Striukienė (1997) STRAINS AND STRESSES OF THREE—LAYER COMPOSITE BARS AND BEAMS, *Statyba*, 3:10, 5-11, DOI: [10.1080/13921525.1997.10531677](https://doi.org/10.1080/13921525.1997.10531677)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/13921525.1997.10531677>



Published online: 26 Jul 2012.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 111

TRISLUOKSNIŲ KOMPOZITINIŲ STRYPŲ IR SIJŲ DEFORMACIJOS BEI ĮTEMPIMAI

J. Barčišis, D. Garuckas, A. Mikulskas, D. Striukienė

1. Įvadas

Mūro siena, perdangos plokštė ir kiti konstrukciniai statybų elementai yra daugi sluoksniškos konstrukcijos. Vis plačiau statybose taikomos ir naujausios kompozitinės medžiagos (KM): stiklo, anglies ar boro plastikai, t.y. medžiagos, kurioms būdingos ryškios anizotropinės savybės. Derinant KM stiprumo bei standumo charakteristikas tempimui ar lenkimui su šių medžiagų tankiu ar kaina, galima gauti maksimalaus stiprumo ir standumo bei mažiausios masės ar kainos daugi sluoksniškos konstrukciją. Tai ypač svarbu projektuojant statybinės paskirties objektus. Kai kurie daugi sluoksnių kompozitinių sijų tyrimų rezultatai pateikti [1-4] darbuose. Tačiau minėtuose darbuose mažai nagrinėti standumų bei įtempimų pasiskirstymo dėsniniai trisluoksniuose konstrukcinių elementuose.

Šio darbo tikslas yra išnagrinėti tempiamų ar lenkiamų trisluoksnių strypų standumų arba deformacijų bei įtempimų pasiskirstymų dėsninumus, keičiant sijos sluoksnių geometrines charakteristikas, medžiagas bei jų išdėstymą strypų skerspjūvyje. Strypų sluoksniai buvo formuojami iš anglies plastiko (A), karšto (S_k) ir šalto ($S_š$) kietėjimo stiklo plastikų bei epoksidinės dervos (D). Šių medžiagų mechaninės ir fizinės savybės pateiktos 1 lentelėje.

1 lentelė. Medžiagų, naudojamų daugi sluoksnišoje sijoje, mechaninės ir fizinės savybės, jų sąlyginė kaina
Table 1. Mechanical, physical qualities and agreed price of materials used in laminated beam

Medžiaga	Tamprumo modulis E, GPa	Šlyties modulis, G, GPa	Stiprumo riba lenkiant σ_{ub} , GPa	Tankis $\rho \cdot 10^3$, kg/m ³	Kaina, sąl. vnt.
Anglies plastikas	60	3,0	0,775	1,9	13
Karšto kietėjimo stiklo plastikas	20	4,5	0,775	1,75	1,4
Šalto kietėjimo stiklo plastikas	9	0,8	0,250	1,4	1,25
Epoksidinė derva	1,6	-	0,022	0,75	1,0

2. Konstrukcinių elementų charakteristika ir jų analitinis skaičiavimas

Keičiant iš šių medžiagų sudarytų sluoksnių padėtis buvo nagrinėjamos pirmųjų devynių tipų simetrinės konstrukcijos, kurios, naudojant raidinius medžiagų žymėjimus, gali būti pažymėtos:

1. A-S_k-A; 2. A-S_š-A; 3. A-D-A;
4. S_k-A-S_k; 5. S_š-A-S_š; 6. D-A-D;
7. S_k-S_š-S_k; 8. S_š-S_k-S_š; 9. S_k-D-S_k;
10. S_š-D-S_š; 11. D-S_k-D; 12. D-S_š-D.

Konstrukcijas, kuriose išorinių sluoksnių medžiagos tamprumo modulis E_1 yra didesnis nei vidurinio sluoksnio E_2 - vadinsime "tiesioginėmis" (1, 2, 3, 7, 9, 10 tipo konstrukcijose $E_1 > E_2$), o jei mažesnis - "atvirkštinėmis" (4, 5, 6, 8, 11, 12 tipo - $E_1 < E_2$). Šių trisluoksnių konstrukcijų išoriniai sluoksniai pagaminti iš vienos medžiagos, o jų storiai lygūs ($\delta_1 = \delta_3$). Buvo naudojami stačiakampio skerspjūvio vienodo pločio bandiniai ($b=50$ mm). Vidurinio ir išorinių sluoksnių storiai buvo keičiami išlaikant bendrą bandinio aukštį pastovų, t.y. $H = \sum \delta_i = 12$ mm = const. Įtempimų ir deformacijų dydžiai buvo skaičiuojami gembinei sijai esant santykiniams apkrovų dydžiams $F=100$ N, $M=100$ Nm. Įtempimai skaičiuojami pagal formules [5]:

esant ašinei apkrovai

$$\sigma_{zi} = N E_i / B, \quad (1)$$

o veikiant lenkimo įrašoms

$$\sigma_i = \frac{M_z}{D} E_i \cdot y, \quad (2)$$

$$\tau = \frac{Q_z \cdot C_x}{D \cdot b_x}. \quad (3)$$

Bendruoju atveju [6] deformacijos arba įlinkiai:

$$V_z = V_o + \theta_o z + \frac{M_z}{K} + \sum \frac{M_i Z_{mi}^2}{2D} + \sum \frac{F_i Z_{fi}^3}{6D} + \sum \frac{q_i Z_{qi}^4}{24D}. \quad (4)$$

Šiose lygtyse B ir D yra tempiamo (gniuždomo) strypo ir sijos standumai; C_x - ekvivalentinis statinis momentas; K - sijos standumas šlyčiai. Šie dydžiai skaičiuojami iš (5)-(8) lygybių [5]:

$$B = \sum_{i=1}^n A_i E_i, \quad (5)$$

$$D = \sum_{i=1}^n E_i I_i, \quad (6)$$

$$C_x = \sum_{i=1}^m E_i \cdot S_{xi}, \quad (7)$$

$$K = \frac{H \cdot A_k}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\delta_i}{G_i} \right)}. \quad (8)$$

3. Strypų stiprumas ir standumas

Nagrinėjant trislauksnių tempiamų (gniuždomų) strypų standumo B priklausomybes nuo vidurinio slauksnio δ_2 santykio su H kitimu, buvo gautos tiesinės priklausomybės, kurių analitinė išraiška yra gaunama iš (5) lygybės;

$$B = A_k [E_1 + (E_2 - E_1) \psi], \quad (9)$$

čia $\psi = \delta_2 / H$ - vidurinio slauksnio santykinis storis; A_k - strypo skerspjūvio plotas.

Iš (9) lygybės gauname, kad didėjant ψ strypo standumas didėja "atvirkštinėse" ($E_2 > E_1$) ir mažėja "tiesioginėse" ($E_1 > E_2$) konstrukcijose. Šių tiesių posvyrio kampo dydis priklauso nuo slauksnių tamprumo modulių skirtumo, t.y. $|E_2 - E_1|$. Esant didesnei šio skirtumo reikšmei tiesių posvyrio kampas didėja ir strypo standumas kinta sparčiau. Vienodas standumas arba vienodi linijinių deformacijų dydžiai

"tiesioginio" ir "atvirkštinio" tipo strypuose ($A - S_k - A$ ir $S_k - A - S_k$) gaunami kai $\psi = 0,5$.

Normalinių įtempių dydžiai tempiamo (gniuždomo) strypo slauksniuose yra tiesiog proporcingi slauksnių medžiagų tamprumo moduliams ir atvirkščiai proporcingi strypo standumui B (1 lygtis). Įtempių šuolis pereinant iš vieno slauksnio į kitą yra proporcingas tamprumo modulių skirtumui. Didėjant santykiniam vidurinio slauksnio storiui ψ , įtempiai išoriniame (σ_1) ir viduriniame (σ_2) slauksniuose vienodu intensyvumu didėja "tiesioginėse" strypų konstrukcijose (t.y. kai $E_1 > E_2$) ir mažėja - "atvirkštinio" tipo. Abiejų tipų strypų slauksniuose vienodos normalinių įtempių reikšmės gaunamos, kai $\psi = 0,5$. Jos yra lygios:

$$\sigma_{zi} = 2N E_i / A_k (E_1 + E_2). \quad (10)$$

Įdomu pažymėti, kad skaičiuojant įtempius pagal mūsų metodiką [5] ir baigtinių elementų metodu [7] buvo gauta tik 0,3 % paklaida.

Žinoma, kad ašinio apkrovimo atveju slauksniuotosiose konstrukcijose atsiranda ir tarpslauksniniai įtempiai [8], kurie gali būti suirimo priežastimi, ypač pakraščio zonoje. Darbe [7] taikant baigtinių elementų metodą detalčiai išnagrinėtos šių įtempių priklausomybės nuo slauksnių medžiagos, jų armavimo kampų, slauksnių išdėstymo. Nustatyta, kad esant tempimo įrašai racionali slauksnius su mažesniu tamprumo modulių išdėstyti viduryje, o jei yra gniuždomo apkrova - išorėje.

Taigi gauname, kad esant ašinei įrašai racionaliiau naudoti "tiesioginio" tipo strypus su $\psi < 0,5$, o gniuždomo atveju - "atvirkštinio" tipo, kai $\psi > 0,5$.

4. Sijų standumas ir deformacijos

Nagrinėjamų stačiakampio skerspjūvio sijų standumo D priklausomybės nuo ψ analitiškai yra aprašomos lygybe

$$D = I_k [E_1 + (E_2 - E_1) \psi^3] \quad (11)$$

ir pateiktos 1 pav. Čia I_k - sijos skerspjūvio inercijos momentai.

Iš (11) lygties ir pateiktų kreivių gauname, kad kai išorinio slauksnio medžiagos tamprumo modulis E_1 yra didesnis už vidurinio - E_2 ("tiesioginio" tipo konstrukcija), didėjant ψ sijos standumas mažėja, o

"atvirkštinio" tipo konstrukcijose ($E_1 < E_2$) didėja.

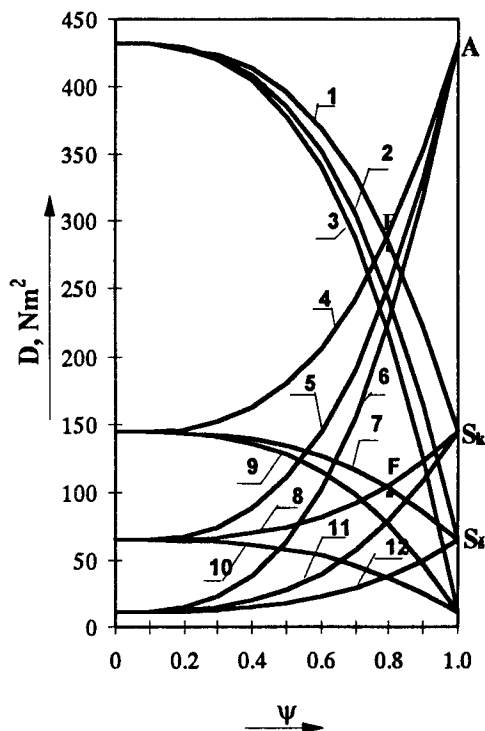
Pagal sijos standumo kitimo greitį galime skirti dvi zonas: mažo standumo kitimo greičio, kai $\psi \leq 0,5$, ir didelio - kai $\psi > 0,5$. Praktiniu požiūriu ši ypatybė ypač naudinga. Kai sijos vidurinis sluoksnis yra iš medžiagos, turinčios mažesnę tankį ir standumą, paveiksle $A-S_k-A$, $A-D-A$ tipo sijose, esant vidurinio sluoksnio storiui lygiam pusei sijos skerspjūvio aukščio, sijos standumas sumažėja tik 8-12%. Šiame intervale yra ir kitų nagrinėjamų sijų standumo sumažėjimas. Tai leidžia 1,8-1,9 karto sumažinti $A-S_k-A$ ir $A-D-A$ sijų kainą bei 35% pastarosios tankį. Esant "atvirkštinio" tipo konstrukcijai ($E_1 < E_2$), santykiui ψ padidėjus iki 0,5 gaunamas didesnis procentinis sijos standumo padidėjimas, nors skaitinės reikšmės tos pačios.

Didžiausias sijų standumo didėjimas - kai santykis ψ mažėja nuo 1,0 iki 0,8, t.y. įtraukiant į sijos konstrukciją plonus didelio standumo išorinius sluoksnius. Pavyzdžiui, ant šalto kietėjimo stiklo plastiko užklėjus 1 mm storio anglies plastiko ar karšto kietėjimo stiklo plastiko sluoksnius (t.y. kai $\psi=84\%$) sijos standumas atitinkamai padidėja 240% ir 50%. Tas pačias medžiagas užklėjus ant epoksidinės dervos sijos standumas padidėja 154% ir 485%, o sijos tankis atitinkamai - tik 25 ir 21%.

Sijų, pagamintų iš tų pačių medžiagų, bet skirtingai išdėstytų, standumų kreivės kertasi viename taške, kurių abscisė randama iš sąlygos, kai išorinių sluoksnių inercijos momentas yra lygus vidurinio sluoksnio inercijos momentui, ($2I_1 = I_2$), nes E_1 ir E_2 nagrinėjamojoje sijoje nekinta, o sijų standumai yra lygūs. Tuomet iš (6) lygybės gauname, kad ši tašką atitinkantis vidurinio sluoksnio storis $\delta_2 = \sqrt[3]{H^3/2} = 0,794 H$ ($\psi=0,8$). Įvertinus ψ reikšmę, taško ordinatė randama transformavus (11) lygtį:

$$y_F = D_F = 0,5 I_k (E_1 + E_2). \quad (12)$$

Sijų standumo priklausomybę nuo jas sudarančių medžiagų tamprumo modulių santykio E_1/E_2 tyrėme kai vidurinio sluoksnio medžiagos tamprumo modulis buvo pastovus ($E_2 = 1,6$ GPa), o išorinio sluoksnio $1,6 \leq E_1 \leq 60$ GPa. Skaičiavimų duomenys rodo, kad standumo priklausomybę nuo E_1/E_2 santykio yra išreiškiama lygtimi:



1 pav. Nagrinėjamų sijų standumo kitimo priklausomybė nuo vidurinio sluoksnio santykinio storio ψ (kreivių žymėjimai atitinka konstrukcijų raidinius žymėjimus tekste)

Fig 1. Dependency of the changeability upon relative thickness ψ of the middle layer of stiffness of the beam under analysis. (Marking of curves correspond to the characters that mark constructions, referred in the text)

$$D = I_k \left[E_2 + \left(\frac{E_2^2}{E_1} - E_2 \right) \psi^3 \right] \frac{E_1}{E_2}. \quad (13)$$

Įvertinus nurodytas tamprumo modulius ir ψ kitimo reikšmes, laužtiniuose skliaustuose esantis reiškinys kinta nuo 1,6 iki 0,043. Jo įtaka standumui nedidelė, todėl galime laikyti, kad:

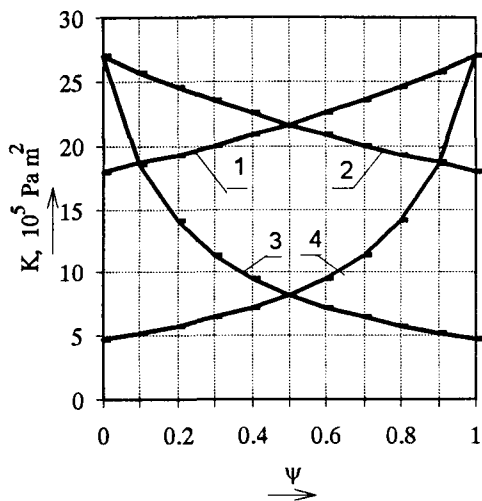
$$D = C \cdot E_1 / E_2. \quad (14)$$

Linijinis sijos standumo kitimas nuo E_1/E_2 yra intensyviausias esant mažoms ψ reikšmėms.

Kadangi sijos standumas D gali būti išreikštas $E_k I_k$ sandauga, iš (11) lygties galime nustatyti ekvivalentinio sijos tamprumo modulio E_k priklausomybę nuo ψ :

$$E_k = E_1 + (E_2 - E_1) \cdot \psi. \quad (15)$$

Ši lygtis galioja skaičiuojant tik trislauksnių konstrukcinių elementų (strypų ir sijų) ekvivalentinį tamprumo modulį E_k , kuri patogu naudoti skaičiuojant standumus B, D .



2 pav. Trisluoksnių sijų $A-S_k-A$ (1), S_k-A-S_k (2), $S_k-S_s-S_k$ (3), $S_s-S_k-S_s$ (4) standumo šlyčiai K priklausomybės nuo vidurinio sluoksnio santykinio storio (Ψ)

Fig 2. Dependencies of three layer beams shear stiffness K upon relative thickness

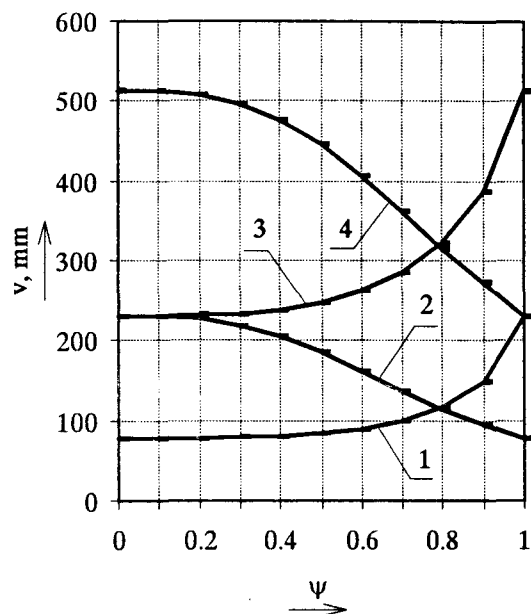
Skaičiuojant daugiasluoksnių sijų iš kompozicinių medžiagų deformaciją ((4) lygtis), būtina žinoti sijos standumą šlyčiai. Jį skaičiuojame pagal formulę (8), panaudoję 1 lentelėje nurodytas šlyties modulio reikšmes.

Trisluoksnių sijų standumo šlyčiai K priklausomybės nuo parametro ψ yra pateiktos 2 pav. Iš pateiktų duomenų matyti, kad skiriasi standumų D ir K kreivių kitimo pobūdis ir jų skaitinių reikšmių dydžiai. Dėl skirtingų geometrinių charakteristikų standumo šlyčiai K skaitinės reikšmės yra daugiau nei 10^3 kartų didesnės negu D . Gautos simetrinių trisluoksnių sijų standumo šlyčiai K priklausomybės nuo parametro ψ aprašomos lygtimi:

$$K = \frac{A_k \cdot G_1 G_2}{\psi G_1 + (1 - \psi) G_2} \quad (16)$$

Iš gautos lygybės ir 2 pav. matyti, kad "tiesioginio" ir "atvirkštinio" tipo sijoms, kai $\psi=0,5$, gaunami vienodi standumai. Gavome, kad kai išorinio sluoksnio medžiagos šlyties modulis yra didesnis nei vidurinio, didėjant santykiui ψ sijos standumas K ir D mažėja skirtingu intensyvumu. Kai $\psi=0,5$, sijos $S_k-S_s-S_k$ standumas D sumažėja 13%, o standumas šlyčiai sumažėja daugiau nei 3 kartus ir sudaro 85% viso standumo K pokyčio. Be to,

čia tikslinga priminti, kad kai kurių medžiagų šlyties modulis G , palyginti su tamprumo moduliui E , yra ypač mažas (pvz., anglies plastikas ir karšto kietėjimo stiklo plastikas). Šiuo atveju ypač racionalu konstruoti $A-S_k-A$ tipo siją su $\psi=0,5$. Tuomet jos standumas D sumažėja, palyginti su gryno anglies plastiko siją, tik 12%, o standumas šlyčiai K padidėja 40%. Keičiant atskirų sluoksnių pločius, standumas K kinta pagal tai, kiek kartų kinta skerspjūvio plotas A_k . Visa tai rodo, kad varijuojant medžiagų, turinčių skirtingas standumų charakteristikas, išdėstymą, galima gauti optimalių standumų sijas.



3 pav. Trisluoksnių sijų įlinkio priklausomybės nuo parametro Ψ . Kreivių žymėjimai tokie pat, kaip 2 pav.

Fig 3. Dependencies of three layer beams bend upon parameter Ψ . Marking of curves is the same as in Fig 2

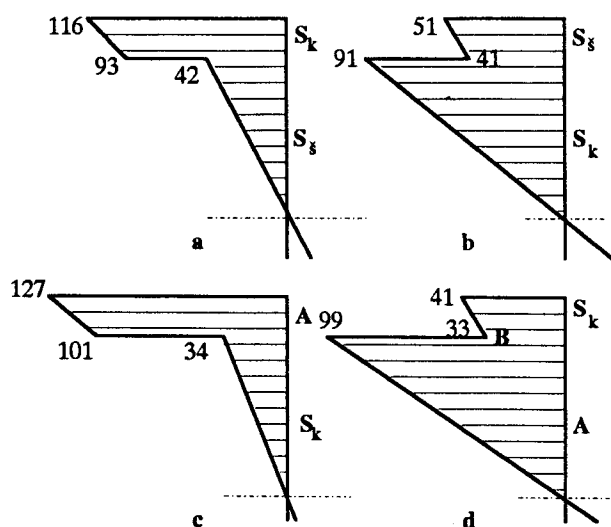
Atsižvelgiant į tai, kad gembinė siją, apkrauta koncentruota jėga, nagrinėjamų sijų įlinkiai (deformacijos) buvo skaičiuojami pagal formulę (4) be jos paskutiniojo nario.

Iš 3 pav. pateiktų sijų įlinkio priklausomybių nuo ψ matyti, kad didėjant vidurinio sluoksnio storiui deformacijos didėja "tiesioginio" ir mažėja "atvirkštinio" tipo sijose, t.y. kinta atvirkščiai proporcingai standumui D . Šių tipų sijų vienodi įlinkiai gaunami kai $\psi=0,8$. Tai rodo, kad didžiausią įtaką nagrinėjamų sijų deformacijoms turi standumas D . Analitiniai skaičiavimai rodo, kad standumo šlyčiai K

įtaka įlinkiui yra nedidelė. Formulėje (4) praleidus trečiąjį narį apskaičiuotas įlinkis pakinta šimtosiomis milimetro dalimis. Tai paaiškinama jau minėtais standumo šlyčiai skaitinių reikšmių dydžiais. Taigi įvertinę standumą ir deformacijų kitimus galime teigti, kad panaudojus trisluoksnę $A-S_k-A$ tipo konstrukciją, kai jos vidurinio sluoksnio storis lygus 0,5 sijos aukščio, palyginti su sija iš anglies plastiko, gaunama 42% pigesnė ir 4% lengvesnė konstrukcija, o jos deformacijos padidėja vos 4,5%.

5. Įtempiai trisluoksnėse sijose

Keičiant sijos sluoksnių standumą ir jų išdėstymą, keičiasi ne tik sijos standumai, bet ir įtempių dydžiai sijos sluoksniuose (4 pav.). Nurodytos įtempių reikšmės yra apskaičiuotos, kai $M=100 \text{ Nm}$ ir $\psi=0,8$, t.y. esant vienodam "tiesioginio" ir "atvirkštinio" tipo sijų standumui D .



4 pav. Normalinių įtempių pasiskirstymas trisluoksnėse 7 - (a); 8 - (b); 1 - (c); 4 - (d) - tipo sijose

Fig 4. Distribution of normal tensions in 7, 8, 1, 4 type three layer beams

Iš pateiktų skaitinių reikšmių ir (2) lygties matyti, kad naudojant tas pačias medžiagas (4 pav., a ir b) maksimalūs įtempiai išoriniame sluoksnyje (σ_1) yra proporcingi to sluoksnio medžiagos tamprumo moduliui:

$$\sigma_1 = \frac{M}{2D} E_1 H. \quad (17)$$

Išorinio sluoksnio kontakto zonoje su viduriniu įtempis

$$\sigma_1^* = \sigma_1 \cdot \psi. \quad (18)$$

Įtempis, atsirandantis viduriniame sluoksnyje jo kontakto zonoje su išoriniu

$$\sigma_2 = \sigma_1 \cdot \frac{E_2}{E_1} \cdot \psi. \quad (16)$$

Įdomu pažymėti, kad didesnio standumo medžiagą iš išorinio sluoksnio perkėlus į vidurinį, pvz., $A-S_k-A$ ir S_k-A-S_k tipų sijose, įtempiai toje pačioje medžiagoje (šiuo atveju anglies plastike) sumažėja 20%, o iš vidurinio perkėlus į išorinį (šiuo atveju stiklo plastike) tuo pačiu dydžiu padidėja. Tokie įtempių pasikeitimai gauti visų tipų nagrinėjamosiose sijose. Tai paskatino susidomėti, nuo ko priklauso šių įtempių pokytis. Tuo tikslu įtempius "tiesioginio" ($A-S_k-A$) tipo sijos išoriniame ir viduriniame sluoksnyje jų kontakto zonoje pažymėjome σ_1 ir σ_2 , o "atvirkštinio" (S_k-A-S_k) tipo sijoje - σ_1^* ir σ_2^* . Tuomet įtempių pokyčio vienoje medžiagoje (pvz., anglies plastike) dydžių $(\sigma_1 - \sigma_2^*)$ arba $(\sigma_1^* - \sigma_2)$ - stiklo plastike (S_k) santykis su σ_1 arba σ_1^* randamas iš lygybės:

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_2^*}{\sigma_1} = \frac{\sigma_1^* - \sigma_2}{\sigma_1^*} = 1 - \psi. \quad (20)$$

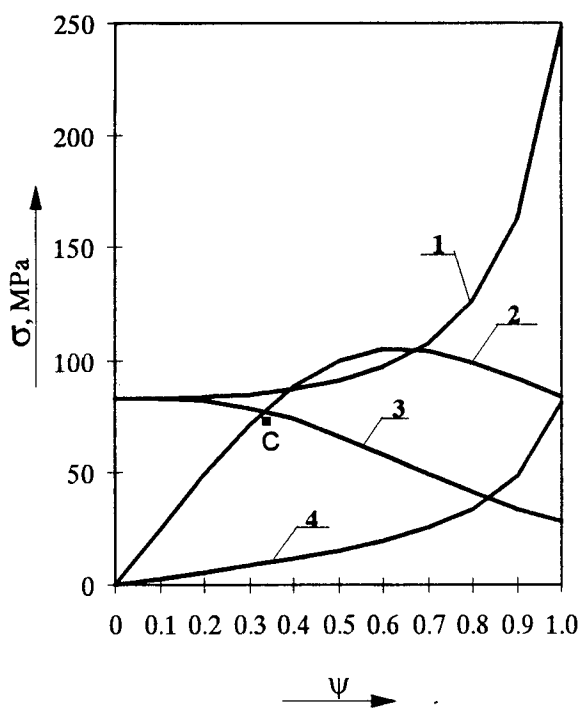
Ši priklausomybė gauta iš (2) ir (12) lygčių, kai "tiesioginio" ir "atvirkštinio" tipo sijų standumai yra vienodi.

Gautoji (19) lygtis pagal įtempių duomenis vieno tipo sijose ir sluoksnių storius leidžia apskaičiuoti įtempių pokyčius "atvirkštinėje" sijoje.

Normalinių įtempių sijos sluoksniuose kitimo priklausomybės nuo santykio ψ pateiktos 5 pav.

Esant "tiesioginio" tipo sijai, paveiksle $A-S_k-A$, didėjant vidurinio sluoksnio storiui δ_2 , įtempių dydžiai eksponentiškai didėja išoriniame (1 kreivė 5 pav.) bei viduriniame sluoksniuose (4 kreivė). Tai susiję su sijos standumo mažėjimo priklausomybe nuo ψ (1 pav.). Todėl įtempių kitimo intensyvumui galime išskirti dvi anksčiau minėtas greičio zonas. Naudojant "tiesioginio" tipo sijas ψ didėjant iki 0,50 įtempiai padidėja tik 9-14%. "Atvirkštinio" tipo sijose, kai $E_1 < E_2$ (paveiksle S_k-A-S_k), didėjant santykiui ψ , normaliniai

įtempiai išoriniame sijos sluoksnyje (σ_1^*) mažėja (3 kreivė 5 pav.), o viduriniame - (σ_2^*) didėja (2 kreivė). Šių kreivių kitimo intensyvumai yra skirtingi, nes įtempiai išoriniame sluoksnyje (σ_1^*) kinta atvirkščiai proporcingai sijos standumo D kitimui (17 lygtis), o vidurinio sluoksniu maksimalių įtempių (σ_2^*) kitimas yra lėtesnis ir turi ekstremumą, nes (σ_2^*) yra dviejų kintamųjų ψ ir D funkcija (18 lygtis). Šios 2 ir 3 kreivės kertasi taške C (5 pav.), kurio abscisė $\psi_c = E_1/E_2$. Šiame taške "atvirkštinio" tipo sijos ($E_2 > E_1$) išorinio ir vidurinio sluoksniu maksimalūs įtempiai yra lygūs, kai vidurinio sluoksniu storio koeficientas ψ bus lygus šių sluoksniu sudarančių medžiagų tamprumo modulių santykiui (E_1/E_2).



5 pav. Normalinių įtempių kitimas pagal ψ "tiesioginio" (1, 4) ir "atvirkštinio" (2, 3) tipo sijų išoriniame (1, 3) ir viduriniame (2, 4) sluoksniuose

Fig 5. Changing of normal tensions depending on ψ in exterior and middle layers of "direct" and "opposite" types of beam

$A-S_k-A$ tipo trisluoksnių konstrukcijos su vidurinio sluoksniu storium $\delta_2 = 0,5H$ duomenis palyginę su gryno anglies plastiko sijos parametrais gauname, kad $A-S_k-A$ sija yra 42% pigesnė, 4% lengvesnė, standumas D sumažėja 12%, standumas

šlyčiai K padidėja 40%, maksimalios normalinių įtempių reikšmės padidėja 9%, o deformacijų - 4,5%.

Pagal formulę (3) skaičiuojant tangentinius įtempius sluoksniu sandūroje nėra šuolio, kuris gaunamas skaičiuojant redukuoto skerspjūvio metodu [9]. Tačiau pereinant iš vieno sluoksniu į kitą keičiasi tangentinių įtempių kitimo intensyvumas. Ypač pavojingas gali būti "atvirkštinio" tipo sijose, kada didesnis vidurinio sluoksniu standumas. Būtina atsižvelgti į tangentinių įtempių dydžius naudojant medžiagas su mažu atsparumu šlyčiai (pvz., anglies plastiką). Darbe [10] pateikti duomenys, kad sluoksniu kontakto zonoje smarkiai kinta svarbiausių įtempių dydžiai ir svarbiausių plokštumų kryptų kampai, turintys esminės įtakos trisluoksniu sijų atsparumui. Šiuo metu atliekami detalūs įtempių ir deformacijų būvio tyrimai kontakto plokštumoje naudojant baigtinių elementų metodą.

6. Išvados

1. Gautos lygtys, aprašančios standumų D ir K bei normalinių įtempių kitimą trisluoksniuose strypuose ir sijose pagal santykinio vidurinio sluoksniu storio ψ . Strypų ir sijų standumo kitimą aprašančios lygtys (9), (11) yra analogiškos savo išraiška, bet skiriasi geometrinėmis charakteristikomis bei koeficiento ψ laipsnio rodikliu.

2. Trisluoksniu konstrukcinių elementų standumo kitimo intensyvumas priklauso nuo sluoksniu sudarančių medžiagų tamprumo modulių bei jų skirtumo $|E_2 - E_1|$. Jei šis skirtumas teigiamas, didėjant santykiui ψ strypo ir sijos standumai didėja, ir mažėja, kai $E_2 < E_1$.

3. Sijų, kurių $E_2 > E_1$, išorinio ir vidurinio sluoksniu maksimalūs įtempiai yra lygūs, kai santykis ψ lygus santykiui E_1/E_2 . Įtempių pasikeitimo vienoje medžiagoje dydžių santykis pereinant iš "tiesioginio" ($E_1 > E_2$) į "atvirkštinio" ($E_1 < E_2$) tipo siją yra lygus $1 - \psi$, kai šių sijų standumai yra vienodi.

4. $A-S_k-A$ tipo trisluoksnių konstrukcija, kai $\psi = 0,5$, gaunama 42% pigesnė, 4% lengvesnė, palyginti su anglies plastiko sija, maksimalių normalinių įtempių reikšmės padidėja 9% ir deformacijų - 4,5%.

Literatūra

1. J.Bareišis, A.Mikulskas. Penkiasluoksnių sijų standumo ir stiprumo tyrimai // *Mechanika*, 1995, Nr. 1, p. 25-29.
2. В.В.Васильев. Механика конструкций из композиционных материалов. Москва: Машиностроение, 1988. 772 с.
3. Й.П.Барейшис, А.П.Микульскас, В.В.Паулаускас. Сопrotивляемость трехслойной конструкции статическому и циклическому изгибу // *Механика композитных материалов*, 1986, No 5, с. 879-882.
4. L.C.Bank. Shear Coefficients for Thin-Walled Composite Beams // *Composite Structures*, V.8, 1987, p. 47-61.
5. J.Bareišis. Konstrukcinių kompozitų statinis ir ciklinis stiprumas: Habilitacinis darbas. Kaunas, 1995. 106 p.
6. В.В.Васильев, В.Д.Протасов и др. Композиционные материалы: Справочник. Москва: Машиностроение, 1990. с. 512.
7. V.Senkus. Sklandytuvo kompozicinių konstrukcijų atsparumo prognozavimas: Daktaro disertacija. Kaunas, 1996. 141 p.
8. H.Rapp. Non homogenous bars under tension, pure bending and thermal loads // *Composites Science and Technology*, Vol. 44, 1992, p. 21-28.
9. С.П.Тимошенко, Дж.Гере. Механика материалов. М.: Мир, 1976. 669 с.
10. Й.П.Барейшис, А.П.Микульскас, В.А.Каминскас. Влияние толщины клеевого слоя на сопротивляемость изгибу трехслойной конструкции // *Прочность и долговечность. Механическая технология*. Т. 13. V.: Pauge, 1983, с. 53-63.
11. В.А.Радионова, Н.А.Фомина. Точное решение и программа расчета на прочность трехслойной шарнирно опертой балки // *Вестник ЛГУ. Серия мат., мех., астрон.* Л., 1995.

Įteikta 1997 02 20

STRAINS AND STRESSES OF THREE - LAYER COMPOSITE BARS AND BEAMS

J.Bareišis, D.Garuckas, A.Mikulskas, D.Striukienė

Summary

New composite anisotropic materials (CM) glass, carbon and boric plastics are more and more frequently used in engineering construction. By tuning strength and stiffness characteristics of CM under tension or bending with their density or price it is possible to get laminated construction of maximum strength and stiffness and minimum mass or price.

The purpose of this work is to analyse regularity of distribution of stiffness or strains and stresses in three-layer bars, subjected to tension or bending by changing geometric characteristics of layer, materials and their position in cross-section of bars. The bar layers were formed of carbon plastic (A), hot (S_k) and cold hardening (S_c) glass plastics and epoxy resin (D).

Equations were obtained describing the alteration of bar and beam stiffness and the alteration of normal stresses, all depending on relative thickness Ψ of bar or beam. The relative thickness Ψ is the ratio of middle layer height to the whole height.

It has been shown that maximum stresses in exterior and middle layers (with elasticity modules E_1 and E_2 accordingly) become equal when $\Psi = E_1/E_2$. The intensity of stiffness alteration depends on the magnitude of $|E_2 - E_1|$. In the case of positive magnitude, the bar or beam stiffness increases while increasing Ψ . In the opposite case the stiffness decreases with decrease of Ψ .

For the example of structure $A - S_k - A$ and $\Psi = 0,5$, the price economy for 42% and mass reduction for 4% have been shown and compared with carbon plastic beam.

Jonas BAREIŠIS. Professor, Doctor Habil. Kaunas University of Technology (KTU). Panevėžys Polytechnic Faculty. Research interests: the strength and fracture investigations of plastic, composite materials and make up from it's laminated structural elements, effected by static and cyclic loading.

Danas GARUCKAS. MSc working on doctoral thesis at KTU. Research interests: investigation into strength, stress and strain of laminated structural elements into.

Alvydas Antanas MIKULSKAS. Senior Assistant KTU Panevėžys Polytechnic Faculty. Research interests: static and cyclic strength of materials.

Danguolė STRIUKIENĖ. Assistant. KTU Panevėžys Polytechnic Faculty. Research interests: laminated structural elements.