

УДК 669.176, 621.643

А.П. Олійник<sup>1</sup>, В.М. Коваль<sup>1</sup>, В.М. Дніпренко<sup>2</sup>

## Оцінка впливу текстури матеріалу на напружено-деформований стан трубопроводів

<sup>1</sup>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, 76019, вул.Карпатська, 15, Івано-Франківськ, Україна, тел.4-80-00, e-mail: [duol@il.if.ua](mailto:duol@il.if.ua)

<sup>2</sup>Інститут металофізики НАН України, м.Київ, e-mail: [vdniepr@imp.kiev.ua](mailto:vdniepr@imp.kiev.ua)

Досліджено вплив анізотропії властивостей матеріалу на напружено-деформований стан трубопроводів з урахуванням різних типів його текстури. Для оцінки величини вказаного впливу розглянуто тестові задачі. Подано та прокоментовано результати обчислення компонентів тензора напружень, наведено узагальнюючі висновки.

**Ключові слова:** текстура, монокристал, усереднення, анізотропія, навантаження, напружено-деформований стан.

*Стаття постуила до редакції 27.01.2003; прийнята до друку 27.05.2003*

### I. Вступ

При вивченні особливостей зміни напружено-деформованого стану магістральних трубопроводів необхідно враховувати весь комплекс факторів, що обумовлюють його зміну. Проведені дослідження показали [1], що сталі, з яких виготовлено магістральні трубопроводи, які проходять через територію України, характеризуються значною анізотропією властивостей, проте в діючих нормативних документах [2] немає залежностей, які б враховували фактор анізотропії. Для підвищення точності оцінки напружено-деформованого стану необхідно визначити ступінь впливу кристалографічної текстури матеріалу, яка обумовлює його анізотропію, на параметри міцності трубопроводу. При цьому слід звернути увагу як на типи текстур, так і на способи навантаження трубопроводу, а також встановити кількісний характер співвідношення між компонентами тензора напружень та параметрами анізотропії, виділити клас напружень, що зазнають найбільшого впливу анізотропії.

### II. Стан питання

На даний час відомими є результати, які стосуються розподілу напружень в кругових циліндричних порожнистих тілах, виготовлених з анізотропних матеріалів [3], обумовлених навантаженнями різних типів. Якщо дослідження напруженого стану провдяться в рамках моделі

пружного тіла, то сумарна оцінка напружень може бути одержана згідно з принципом суперпозиції розв'язків задач теорії пружності, які описують найпростіші схеми навантажень. Використання встановлених залежностей для практичних розрахунків потребує задання величини компонент матриці піддатливості  $S_{ij}$ ,  $i,j=1,\dots,6$ , або компонент матриці пружних модулів  $C_{ij}$ . Матриці  $S_{ij}$ ,  $C_{ij}$  є взаємнооберненими, вони можуть бути визначені експериментально [4-6], з урахуванням типу текстури матеріалу та способу прокатки сталі. Значення компонент  $C_{ij}$  залежать від швидкостей та напрямків поширення ультразвукових хвиль в матеріалі, причому з часом ця залежність змінюється. Питання про кількісні характеристики впливу компонент  $S_{ij}$ ,  $C_{ij}$  на напруження в матеріалі залишається недостатньо вивченим, що не дозволяє робити висновки про вплив анізотропії на напружено-деформований стан та характер цього впливу. При переході від однієї системи координат до іншої компоненти  $S_{ij}$  та  $C_{ij}$  змінюються згідно відомих законів перетворення координат [7], що дозволяє визначати фізико-механічні параметри матеріалу  $S_{ij}$ ,  $C_{ij}$  для широкого класу текстур, а отже, обраховувати напружено-деформований стан трубопроводів із сталей, при виготовленні яких використовувались різні технології прокатки.

### III. Мета роботи

Визначити кількісну величину впливу різних типів текстури матеріалу на напружено-деформований стан виробу з нього, який знаходиться під дією різних силових факторів, для уточнення оцінки значень діючих напружень.

### IV. Типи текстур

#### 4.1. Монокристал.

Розглядається модель труби, умовно виготовленої з монокристалу сталі, із заданими типами кристалографічної текстури:

А)  $\langle 100 \rangle$ ,  $\theta_0 = 0$ ,  $\psi_0 = 0$ ;

Б)  $\langle 110 \rangle$ ,  $\theta_0 = 45^\circ$ ,  $\psi_0 = 0$ ; (1)

В)  $\langle 111 \rangle$ ,  $\theta_0 = \arccos(1/\sqrt{3})$ ,  $\psi_0 = 0$ ,

де  $\langle hkl \rangle$  – тип кристалографічної текстури матеріалу,  $\theta_0$ ,  $\psi_0$  – кути детермінованого повороту з метою встановлення співпадання вибраного кристалографічного напрямку з віссю текстури. Приймаючи, що кути випадкових поворотів  $\psi, \theta$  відносно осі текстури рівні нулю, одержуємо величину компонент матриці податливості  $S'_{ij}$  при переході до системи координат, в якій проводиться дослідження, відносно третього з кутів Ейлера  $\varphi$  [7]:

для текстури  $\langle 100 \rangle$ :

$$\begin{aligned} S'_{11} &= S_{11} - 2S \cos^2 \varphi \sin^2 \varphi \\ S'_{22} &= S_{11} - 2S \cos^2 \varphi \sin^2 \varphi \\ S'_{33} &= S_{11} \\ S'_{12} &= S_{12} + 2S \cos^2 \varphi \sin^2 \varphi \end{aligned} \quad (2)$$

$$S'_{13} = S'_{23} = S_{12}$$

$$S'_{44} = S'_{55} = S_{44}$$

$$S'_{66} = S_{44} + 8S \cos^2 \varphi \sin^2 \varphi$$

для текстури  $\langle 110 \rangle$ :

$$\begin{aligned} S'_{11} &= S_{11} - 2S(\cos^2 \varphi \sin^2 \varphi + 0,25 \sin^4 \varphi) \\ S'_{22} &= S_{11} - 2S(\cos^2 \varphi \sin^2 \varphi + 0,25 \sin^4 \varphi) \\ S'_{33} &= S_{11} - 0,5S \\ S'_{12} &= S_{12} + 1,5S \cos^2 \varphi \sin^2 \varphi \end{aligned} \quad (3)$$

$$S'_{13} = S_{12} + 0,5S \sin^2 \varphi$$

$$S'_{23} = S_{12} + 0,5S \cos^2 \varphi$$

$$S'_{44} = S_{44} + 2S \cos^2 \varphi$$

$$S'_{55} = S_{44} + 2S \sin^2 \varphi$$

$$S'_{66} = S_{44} + 6S \cos^2 \varphi \sin^2 \varphi$$

для текстури  $\langle 111 \rangle$ :

$$S'_{11} = S_{11} - 0,5S$$

$$S'_{22} = S_{11} - 0,5S$$

$$S'_{33} = S_{11} - (2/3)S$$

$$S'_{12} = S_{12} + S/6 \quad (4)$$

$$S'_{13} = S'_{23} = S_{12} + S/3$$

$$S'_{44} = S'_{55} = S_{44} + (4/3)S$$

$$S'_{66} = S_{44} + (2/3)S,$$

де  $S_{11}, S_{12}, S_{44}, S = S_{11} - S_{12} - 0,5 S_{44}$  – компоненти матриці податливості в кристалографічній системі координат. Для всіх типів текстур інші величини  $S'_{ij} = 0$ .

#### 4.2. Аксиальна текстура.

У випадку моделі труби з матеріалів, які характеризуються різними типами аксіальних текстур, із врахуванням того, що величини кутів  $\theta_0, \psi_0, \varphi, \theta$  приймають значення:

А)  $\langle 100 \rangle$ ,  $\theta_0 = 0$ ,  $\psi_0 = 0$ ,  $\varphi = \theta = 0$ ;

Б)  $\langle 110 \rangle$ ,  $\theta_0 = 45^\circ$ ,  $\psi_0 = 0$ ,  $\varphi = \theta = 0$ ; (5)

В)  $\langle 111 \rangle$ ,  $\theta_0 = \arccos(1/\sqrt{3})$ ,  $\psi_0 = 45^\circ$ ,  $\varphi = \theta = 0$ ,

одержуємо значення компонент матриці податливості  $S_{ij}$  як функцію кута  $\psi$ . Після чого проводиться усереднення  $S_{ij}(\psi)$  за формулою:

$$\langle S'_{ij} \rangle = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} S'_{ij}(\psi) d\psi. \quad (6)$$

Для усереднених компонент матриці податливості  $\langle S'_{ij} \rangle$  одержуємо:

для аксіальної текстури  $\langle 100 \rangle$ :

$$\langle S'_{11} \rangle = S_{11} - 0,25S$$

$$\langle S'_{22} \rangle = S_{11} - 0,25S$$

$$\langle S'_{33} \rangle = S_{11}$$

$$\langle S'_{12} \rangle = S_{12} + 0,25S \quad (7)$$

$$\langle S'_{13} \rangle = \langle S'_{23} \rangle = S_{12}$$

$$\langle S'_{44} \rangle = \langle S'_{55} \rangle = S_{44}$$

$$\langle S'_{66} \rangle = S_{44} + S,$$

для аксіальної текстури  $\langle 110 \rangle$ :

$$\langle S'_{11} \rangle = S_{11} - 0,4375S$$

$$\langle S'_{22} \rangle = S_{11} - 0,4375S$$

$$\langle S'_{33} \rangle = S_{11} - 0,5S$$

$$\langle S'_{12} \rangle = S_{12} + 0,1875S \quad (8)$$

$$\langle S'_{13} \rangle = \langle S'_{23} \rangle = S_{12} + 0,25S$$

$$\langle S'_{44} \rangle = \langle S'_{55} \rangle = S_{44} + S$$

$$\langle S'_{66} \rangle = S_{44} + 0,75S,$$

для аксіальної текстури  $\langle 111 \rangle$ :

$$\langle S'_{11} \rangle = S_{11} - 0,5S$$

$$\langle S'_{22} \rangle = S_{11} - 0,5S$$

$$\langle S'_{33} \rangle = S_{11} - (2/3)S$$

$$\langle S'_{12} \rangle = \langle S'_{13} \rangle = \langle S'_{23} \rangle = S_{12} + S/3 \quad (9)$$

$$\langle S'_{44} \rangle = \langle S'_{55} \rangle = \langle S'_{66} \rangle = S_{44} + (4/3)S.$$

Інші усереднені компоненти дорівнюють нулю.

#### 4.3. Текстура прокатки.

Якщо для виробу, виготовленого з матеріалу, який характеризується текстурою  $\langle 100 \rangle$ , реалізовано напрямок прокатки [110], то для компонент матриці податливості одержуємо:

$$S'_{11} = S_{11} - 0,25S$$

$$S'_{22} = S_{11} - (7/16)S$$

$$S'_{33} = S_{11} - 0,5S$$

$$S'_{12} = S_{12} + 0,25S$$

$$S'_{13} = S_{12} \quad (10)$$

$$S'_{23} = S_{11} + 0,25S$$

$$S'_{44} = S'_{55} = S_{44} + S$$

$$S'_{66} = S_{44} + 0,75S.$$

При вивченні пружної рівноваги анізотропних тіл, обмежених деякою циліндричною поверхнею, використовуються нелінійні комбінації  $b_{ij}$  [3], які обчислюються за формулою:

$$b_{ij} = S_{ij} - \frac{S_{i3}S_{j3}}{S_{33}}, \quad (11)$$

називаються приведеними пружними сталими. Формули перетворення приведених пружних сталих  $b_{ij}$  одержуються аналогічно з (2)-(4), (7)-(9), (10)

шляхом заміни  $S_{ij}$  на  $b_{ij}$ , а  $S'_{ij}$  - на  $b'_{ij}$ . Крім того, у випадку використання циліндричної або будь-якої іншої ортогональної криволінійної системи координат для постановки та розв'язання задачі визначення напружено-деформованого стану трубопроводу, необхідно враховувати зв'язок між фізичними та коваріантними або контраваріантними компонентами тензора будь-якого рангу [8]. У випадку тензора четвертого рангу між фізичними та

коваріантними компонентами існує наступний зв'язок:

$$T_{ijkl(\phi)} = T_{ijkl} \sqrt{g^{ii}g^{jj}g^{ll}g^{kk}}, \quad (12)$$

де  $T_{ijkl(\phi)}$  - фізична компонента тензора,  $T_{ijkl}$  - коваріантна компонента тензора,  $g^{ss}$  - контраваріантна компонента метричного тензора криволінійної ортогональної системи координат, в якій проводиться дослідження. Для циліндричної системи координат контраваріантні компоненти метричного тензора обчислюються за формулами:

$$g^{11}=1, g^{22} = \frac{1}{r^2}, g^{33}=1, \quad (13)$$

а інші компоненти дорівнюють нулю.

## V. Силіві фактори

### Розподіл напружень в порожнистому однорідному циліндрі під дією внутрішнього та зовнішнього тиску.

Якщо порожнистий циліндр закріплений нерухомо на кінцях і деформується тисками  $p_{вн}$  та  $p_{зовн}$ , розподіленими рівномірно по внутрішній та зовнішній поверхнях, яким відповідають в системі циліндричних координат  $x_1 = r$ ,  $x_2 = \theta$ ,  $x_3 = z$  рівняння  $r=a$ ,  $r=b$  відповідно, то він знаходиться в стані узагальненої плоскої деформації. З урахуванням розглянутих типів текстур та виведених формул компонент матриці податливості кожного з цих типів одержано залежності для визначення компонент тензора напружень  $\sigma_{ij}$  в циліндричній системі координат:

$$\begin{cases} \sigma_{rr} = \frac{p_{вн}c^{k+1} - p_{зовн}\rho^{k-1}}{1-c^{2k}}\rho^{k-1} + \frac{p_{зовн}c^{k-1} - p_{вн}c^{k+1}\rho^{-k-1}}{1-c^{2k}}; \\ \sigma_{\theta\theta} = \frac{p_{вн}c^{k+1} - p_{зовн}k\rho^{k-1}}{1-c^{2k}} - \frac{p_{зовн}c^{k-1} - p_{вн}kc^{k+1}\rho^{-k-1}}{1-c^{2k}}; \\ \sigma_{zz} = -\frac{1}{S_{33}}[S_{13}\sigma_{rr} + S_{23}\sigma_{\theta\theta}]. \end{cases} \quad (14)$$

решта компонент тензора напружень задовільняють співвідношенням:

$$\sigma_{rz} = \sigma_{\theta z} = \sigma_{r\theta} = 0, \text{ в системі (14) } c = \frac{a}{b}; \rho = \frac{r}{b},$$

( $c < 1, c \leq \rho \leq 1$ ),  $k = \sqrt{\frac{b_{11}}{b_{22}}}$ ,  $S_{ij}$  - компоненти матриці

податливості в системі координат, в якій проводиться дослідження. Формули (14) одержуються за

відомими залежностями [3] з використанням виведених співвідношень для компонент матриці податливості. Аналогічний результат можна одержати шляхом розв'язання відповідної задачі теорії пружності в переміщеннях, приймаючи, що компоненти вектора переміщень  $w_i$  в циліндричній системі координат мають вигляд:

$$w_1 = w(r), w_2 = w_3 = 0, \quad (15)$$

вважаючи, що :

$$S_{ij} = \text{const.} \quad (16)$$

**Розподіл напружень в порожнистому однорідному циліндрі під дією осової сили**

Відомим є розв'язок [3] задачі про пружну рівновагу труби з однорідного матеріалу, що

деформується зусиллями, розподіленими по торцях, приведеними до сили, величина якої дорівнює  $P$ , направленої вздовж осі труби. При цьому напруження визначаються за формулами:

$$\begin{cases} \sigma_{rr} = \frac{Ph}{T} \left( 1 - \frac{1-c^{k+1}}{1-c^{2k}} \rho^{k-1} - \frac{1-c^{k-1}}{1-c^{2k}} c^{k+1} \rho^{-k-1} \right); \\ \sigma_{\theta\theta} = \frac{Ph}{T} \left( 1 - \frac{1-c^{k+1}}{1-c^{2k}} \rho^{k-1} k + \frac{1-c^{k-1}}{1-c^{2k}} c^{k+1} \rho^{-k-1} k \right); \\ \sigma_{zz} = \frac{P}{T} - \frac{1}{S_{33}} [S_{13} \sigma_{rr} + S_{23} \sigma_{\theta\theta}]; \end{cases} \quad (17)$$

$$\sigma_{rz} = \sigma_{\theta z} = \sigma_{r\theta} = 0 \quad \text{де } h = \frac{S_{23} - S_{13}}{b_{11} - b_{22}}, \quad (18)$$

$$T = \pi b^2 (1-c^2) + \frac{2\pi h b^2}{S_{33}} \left[ \frac{1-c^2}{2} (S_{13} + S_{23}) - (1-c^{k+1})^2 \frac{S_{13} + k S_{23}}{k+1} - (1-c^{k-1})^2 c^2 \frac{S_{13} - S_{23} k}{k-1} \right]. \quad (19)$$

При цьому вважається, що  $b_{11} \neq b_{22}$ ,  $k \neq 1$ . У випадку ізотропного тіла, а також анізотропії, для якої  $S_{11} = S_{22}$ ,  $S_{23} = S_{13}$ , розподіл напружень одержується з (17) з урахуванням  $h=0$ :

$$\begin{cases} \sigma_{zz} = \frac{P}{\pi b^2 (1-c^2)}; \\ \sigma_{\theta\theta} = \sigma_{rr} = \sigma_{r\theta} = \sigma_{rz} = \sigma_{z\theta} = 0. \end{cases} \quad (20)$$

Вивід вказаних формул проводиться також з урахуванням допущення (16). У випадку невиконання цієї умови відповідні компоненти тензора напружень повинні задовільняти трьом рівнянням рівноваги в циліндричній системі координат:

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma^{11}}{\partial r} + \frac{\partial \sigma^{12}}{\partial \theta} + \frac{\partial \sigma^{13}}{\partial z} - r \sigma^{22} + \frac{1}{r} \sigma^{11} = -F_r \\ \frac{\partial \sigma^{12}}{\partial r} + \frac{\partial \sigma^{22}}{\partial \theta} + \frac{\partial \sigma^{23}}{\partial z} + 3 \sigma^{21} \frac{1}{r} = -F_\theta \\ \frac{\partial \sigma^{31}}{\partial r} + \frac{\partial \sigma^{32}}{\partial \theta} + \frac{\partial \sigma^{33}}{\partial z} + \frac{1}{r} \sigma^{13} = -F_z \end{cases} \quad (21)$$

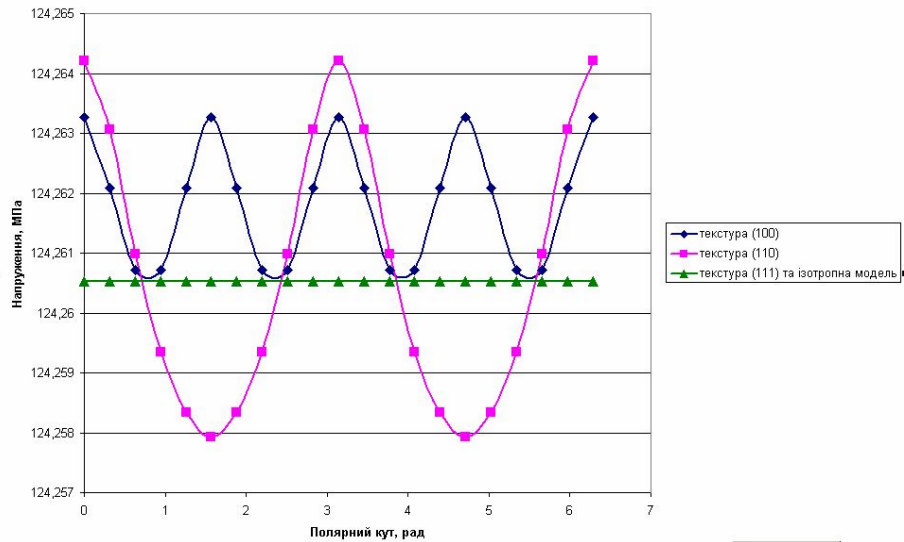
де  $F_i$  – компоненти вектора масових сил, що діють у відповідних напрямках, з відповідними граничними умовами, які задають спосіб навантаження тіла.

**VI. Результати розрахунків та аналіз**

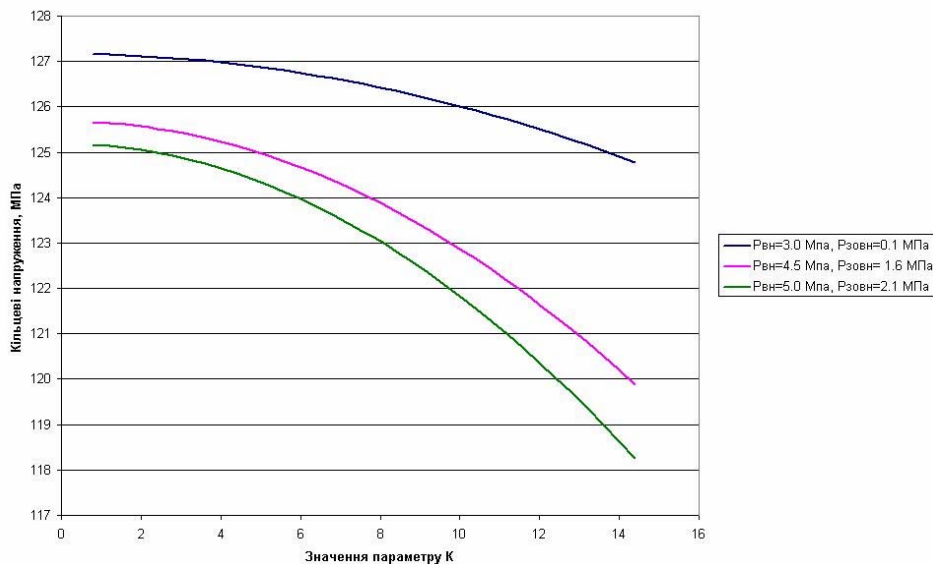
Одержано та проаналізовано розподіл напружень (14) та (17) для різних типів текстури. Модельні розрахунки проведено для наступних матеріалів:

залізо, для якого  $S^{11} = 0,762 \times 10^{-11} \text{ Па}^{-1}$ ,  $S^{12} = -0,279 \times 10^{-11} \text{ Па}^{-1}$ ,  $S^{44} = 0,858 \times 10^{-11} \text{ Па}^{-1}$ , та ніобій, для якого  $S^{11} = 0,690 \times 10^{-11} \text{ Па}^{-1}$ ,

$S^{12} = -0,249 \times 10^{-11} \text{ Па}^{-1}$ ,  $S^{44} = 3,42 \times 10^{-11} \text{ Па}^{-1}$  для монокристалічної моделі, аксіальної текстури та текстури прокатки. Оскільки інтегрування системи (21) в загальному випадку пов'язане із значними труднощами, було висунуто гіпотезу про можливість використання в формулах (14) та (17) величини  $k$  при умові, що відповідні компоненти матриці податливості залежать від полярного кута. Це характерно для випадку монокристалічної моделі. Підставляючи формули (2)-(4) в (14) та (17), одержано розподіл напружень для фіксованого значення координати  $r = b$  як функції полярного кута. Встановлено (рис.1), що за абсолютними значеннями кільцевих напружень результати відрізняються на величину, що на кілька порядків менша за величину



**Рис.1.** Розподіл кільцевих напружень для моделі монокристалічної труби, навантаженої внутрішнім та зовнішнім тиском, в залежності від полярного кута, внутрішній тиск 3.0 МПа, зовнішній тиск 0.1 МПа,  $a=0.71$  м, товщина стінки 16 мм.



**Рис.2.** Залежність кільцевих напружень від параметру К для різних значень внутрішнього та зовнішнього тиску.

напружень, що діють в реальному трубопроводі. Залежність кільцевих та радіальних напружень від параметра  $k$  наведено на рис. 2. Приймаючи до уваги, що для реальних трубопровідних сталей  $0.5 < k < 2$ , можна зробити висновок, що на величину кільцевих та радіальних напружень анізотропія властивостей сталей впливає мало, і при оцінці напружено-деформованого стану таких об'єктів цими ефектами в даному випадку можна знехтувати, проводячи всі розрахунки в рамках моделі ізотропного тіла. Вказаний висновок не стосується осьових напружень, які для обох досліджених способів навантаження тіла суттєво залежать від типу текстури. Наведені результати справедливі як для аксіальних текстур, так і для текстури прокатки (рис.3, 4), причому в силу того, що формулами (7)-(10) задаються

усереднені значення компонент матриці податливості, вказані залежності вивчаються як функції параметра  $\rho$ . Слід зазначити, що різниця в значеннях осьових напружень  $\sigma_{zz}$  для задач, розв'язок яких задається залежностями (14) та (17), не дозволяє робити висновок про тенденцію до монотонної зміни величини напружень в залежності від типу текстури. Однак на абсолютні значення вказаних напружень текстура впливає суттєво. Це, зокрема, може бути пояснено тим, що формули для компонент кільцевих  $\sigma_{\theta\theta}$  та радіальних  $\sigma_{rr}$  напружень залежать лише від параметру  $k$ , який характеризує відносну залежність приведених пружних сталей, тоді як у формули для осьових напружень входять абсолютні значення компонент

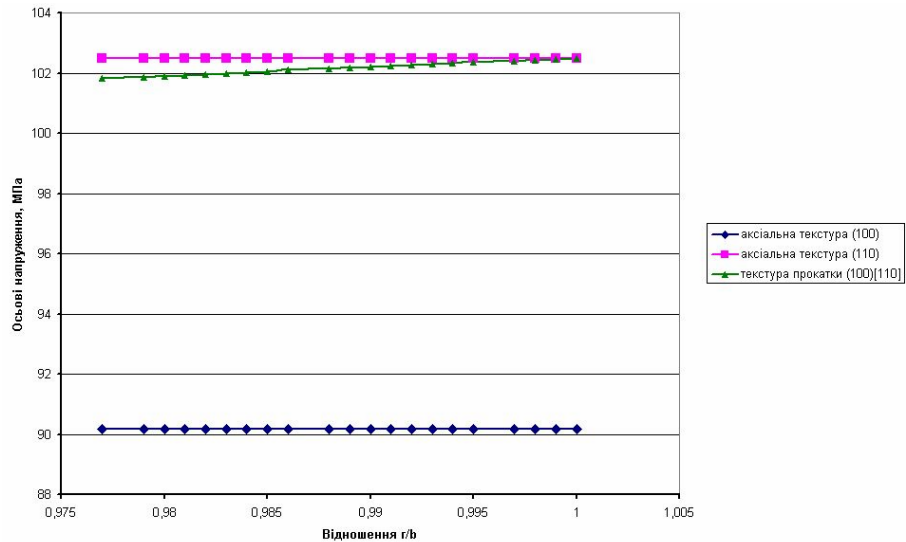


Рис.3. Залежність осьових напружень від параметру  $\rho$  для труби, навантаженої внутрішнім та зовнішнім тиском.

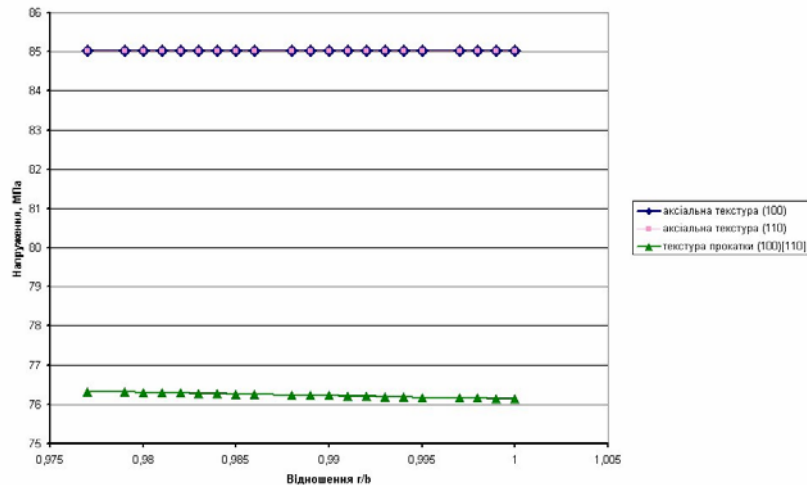


Рис.4. Залежність осьових напружень від параметру  $\rho$  для труби, що знаходиться під дією осьової сили.

матриці податливості. У формулах (17) компоненти радіальних та осьових напружень лінійно залежать від комбінації  $h/T$ , яка при значеннях параметра  $s$ , що оцінюються для порожнистого циліндра в межах 0.98, ..., 1, приймає значення близькі до нуля. А осьові напруження за рахунок першого доданку  $P/T$  в (17), а також тому, що другий член в цій сумі залежить від абсолютних значень компонент матриці податливості, приймають значення, які суттєво залежать від типу текстури. Крім того, для багатьох типів текстур  $S_{23}=S_{13}$ , що обумовлює рівність нулю радіальних та кільцевих напружень.

## VII. Висновки

1. Для об'єктів типу магістральних трубопроводів вплив анізотропії матеріалу необхідно враховувати при оцінці осьових напружень, що є

особливо важливим для ділянок, які зазнають факторів силового впливу, які мають осьовий характер розподілу. На кільцеві та радіальні напруження вплив анізотропії несуттєвий.

2. З метою уточненої оцінки компонент тензора напружень важливим є питання про безпосереднє визначення компонент тензора пружних модулів за даними вимірювань швидкостей поширення ультразвукових хвиль. І, як наслідок, уточнення компонент матриці податливості, які визначаються шляхом знаходження матриці, оберненої до матриці пружних модулів. При цьому слід звернути особливу увагу точності вимірювань компонент тензора пружних модулів, оскільки при обертанні матриці з великими значеннями визначників можлива суттєва втрата точності.

3. При створенні апаратури для безпосередньої оцінки напружень за допомогою методів різної фізичної природи необхідно підвищувати точність

вимірювань, оскільки вплив анізотропії оцінюється в межах 10-20% від напружень, оцінених в рамках ізотропної моделі, що в багатьох випадках співпадає з характерними величинами похибки вимірювань напружень.

4. При аналізі одержаних чисельних результатів встановлено, що вплив аксіальної текстури на напружений стан досліджуваного тіла не може бути визначений конкретним знаком зміни напружень - вони можуть як зростати, так і спадати, що підвищує важливість питання про вплив внутрішньої кристалічної структури матеріалу на напружено-деформований стан тіла, яке з нього виготовлено.

### Подяка

Роботи по дослідженню впливу текстури матеріалу на напружено-деформований стан трубопроводів виконані за фінансової підтримки Українського науково-технічного центру (проект №630).

*А.П. Олійник* – кандидат технічних наук, докторант кафедри комп'ютерних технологій в системах управління і автоматики ІФНТУНГ;

*В.М. Коваль* – доктор технічних наук, провідний науковий співробітник ІФНТУНГ;

*В.М. Днепренко* – кандидат фізико-математичних наук.

- [1] Р.П. Полянский, В.И. Пастернак. *Трубы для нефтяной и газовой промышленности за рубежом*. Недра, М., 346 с. (1979).
- [2] СНиП 2.05.06-85. *Магистральные трубопроводы*. М., ЦИТП Госстроя, 125 с. (1985).
- [3] С.Г. Лехницкий. *Теория упругости анизотропного тела*. Наука, М., 415 с. (1977)
- [4] Т.Д. Шермергор. *Теория упругости микронеоднородных сред*. Наука, М., 475с. (1977)
- [5] A.I. Allen, M.T. Hutchings, C.M. Sayers, D.R. Allen, R.I. Smith Use of neutron diffraction texture measurements to establish a model for calculation of ultrasonic velocities in highly oriented austenitic weld material // *J.Appl.Phys.* **54**(2), pp. 555-560 (1983).
- [6] C.M. Sayers. Ultrasonic velocities in anisotropic polycrystalline aggregates. // *J.Phys.D:Appl.Phys.*, **15**, pp. 2156-2167 (1982).
- [7] В.Н. Днепренко, Л.Н. Лариков, А.И. Щирица. Усреднение упругих констант и модуля Юнга поликристаллов с кубической решеткой при наличии аксиальной текстуры. // *Металлофизика*, Наукова думка, К. **8**(3), сс. 87-90 (1986).
- [8] Б.Е. Победря. *Лекции по тензорному анализу*. Из-во Московского Университета, М., 264 с. (1986).

A.P. Olijnyk, V.M. Koval, V.M. Dniprenko

## The Material's Texture Influence on the Pipeline's Stress-Strained State Estimation

<sup>1</sup>*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,*

*76019, Karpatska Str., 15, Ivano-Frankivsk, Ukraine, tel.4-80-00, E-mail: [duol@il.if.ua](mailto:duol@il.if.ua)*

<sup>2</sup>*Institute of the Physics of Metal NAS Ukraine, Kyiv, Ukraine, E-mail: [vdniepr@imp.kiev.ua](mailto:vdniepr@imp.kiev.ua)*

The influence of the material's properties anisotropy on the pipeline's stress-strained state is investigated taking to consideration the different kinds of one's texture. The test problems are considered to estimate the value of such influence. The results of stress tensor component's calculation are presented and discussed. The summary conclusions are given.