

УДК 539.3:620.1:519.61

doi: 10.32620/aktt.2025.4sup1.17

С. Г. ІГНАТОВИЧ¹, О. І. СЕМЕНЕЦЬ², І. І. ДЖАВАДОВА²¹ ДНП Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ, Україна² АТ «АНТОНОВ», Київ, Україна

ВПЛИВ ВАРІАЦІЙ ПРУЖНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛУ НА РОЗРАХУНКОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КОНСТРУКЦІЇ

Алюмінієві сплави посідають провідне місце серед конструкційних матеріалів у авіаційній галузі завдяки поєднанню низької густини та високої міцності. Незважаючи на те, що метали зазвичай класифікуються як ізотропні матеріали з однаковими механічними властивостями в усіх напрямках, у процесі обробки тиском, зокрема прокатки, в напівфабрикаті формується текстура – орієнтація кристалографічних зерен уздовж напрямку деформації. Це призводить до появи плоскостної анізотропії, що суттєво впливає на механічну поведінку матеріалу під дією експлуатаційних навантажень. У статті розглянуто вплив варіацій пружних характеристик матеріалу – модуля Юнга E та коефіцієнта Пуассона ν – на напружено-деформований стан (НДС) конструкції з листового алюмінієвого сплаву 1163 АТВ. Під час літературного огляду проаналізовано дані щодо впливу анізотропії на механічні властивості зразків, вирізаних під різними кутами до напрямку прокатки, що підтверджує залежність пружних параметрів від орієнтації. Наведено результати лабораторних випробувань із визначення коефіцієнта Пуассона в поздовжньому та поперечному напрямках. Отримані експериментальні дані використано в чисельному моделюванні методом скінченних елементів, що дозволило оцінити вплив анізотропії на розподіл напружень і деформацій у типових тонкостінних елементах конструкцій. Моделювання проводилось для спрощеної геометрії – прямокутної пластини з граничними умовами, що імітують реальні експлуатаційні навантаження. Було розглянуто дев'ять комбінацій пружних характеристик з метою оцінки чутливості отриманих даних до змін параметрів. Результати аналізу свідчать, що навіть незначні зміни пружних характеристик можуть зумовити помітні відхилення в НДС конструкції, особливо в зонах концентрації напружень. Такі відмінності істотно впливають на оцінку залишкової міцності та довговічності елементів конструкцій. Отже, врахування анізотропних властивостей є критично важливим для підвищення точності інженерних розрахунків, зокрема в задачах ресурсної оцінки та розрахунку на міцність. Отримані результати доцільно враховувати під час моделювання, проектування й верифікації виробів авіаційної техніки.

Ключові слова: анізотропія; алюмінієві сплави; напружено-деформований стан; пружні характеристики; механічні властивості.

Вступ

Механічні характеристики матеріалів відіграють ключову роль при проектуванні конструкцій. Серед них модуль Юнга E та коефіцієнт Пуассона ν є основними характеристиками, що використовуються для опису пружних властивостей матеріалу.

Модуль E характеризує жорсткість матеріалу та його здатність чинити опір розтягу чи стиску, і є основним показником деформаційної відповіді на зовнішнє навантаження. Коефіцієнт ν , у свою чергу, описує співвідношення між поздовжніми та поперечними деформаціями під час навантаження. Обидва параметри визначають лінійне деформування матеріалу згідно з законом Гука. Зміни цих характеристик можуть суттєво впливати на розподіл напружень і деформацій у конструкції, що безпосередньо відображається на її міцності, надійності та довговічності.

Більшість металів традиційно вважаються ізотропними, тобто такими, що мають однакові механічні властивості в усіх напрямках. Проте на практиці, особливо у випадку прокатних напівфабрикатів, часто спостерігається анізотропія, зумовлена технологічними особливостями виробництва.

У технічній літературі та довідниках механічні характеристики металів, такі як границя міцності, границя текучості, відносне подовження, зазвичай наводяться окремо для трьох напрямків – поздовжнього, поперечного і висотного. Це дає змогу інженерам враховувати вплив орієнтації зерен (волокон) на поведінку матеріалу. Натомість пружні характеристики, такі як модуль E та коефіцієнт ν , частіше подаються як усереднені або універсальні значення без урахування можливої анізотропії.

У цій статті досліджується вплив варіацій пружних характеристик на результати розрахунку НДС



[Creative Commons Attribution
NonCommercial 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

конструктивного елемента з листового матеріалу. Зокрема розглядається залежність НДС від зміни модуля E та коефіцієнта ν при різній орієнтації зразка відносно напрямку прокатки.

Постановка задачі

Метою даної роботи є оцінка впливу варіацій модуля E та коефіцієнта ν на точність розрахунку НДС конструкції. У межах дослідження було проведено лабораторні випробування для визначення коефіцієнта ν на зразку, орієнтованому відповідно до поздовжнього та поперечного напрямків прокату алюмінієвого листа.

Крім того, виконано чисельне моделювання методом скінченних елементів для дев'яти комбінацій різних значень модуля E та коефіцієнта ν . Метою моделювання було виявити ступінь чутливості НДС до змін пружних характеристик, що дозволяє оцінити вплив анізотропії на точність інженерних розрахунків.

1. Матеріали та методика

1.1. Тензори напружень та деформацій

Механічна поведінка твердого тіла під навантаженням визначається взаємодією між внутрішніми силами (напруженнями) та викликаними ними деформаціями. У контексті плоского напруженого стану, що є типовим для тонколистових напівфабрикатів, розподіл навантажень і зміна форми матеріалу описується тензорами напружень T_σ і деформацій T_ϵ [1]:

$$T_\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} \\ \tau_{xy} & \sigma_y \end{bmatrix}, \quad T_\epsilon = \begin{bmatrix} \epsilon_x & \epsilon_{xy} \\ \epsilon_{xy} & \epsilon_y \end{bmatrix},$$

де σ_x, σ_y - нормальні напруження у напрямках осей X та Y ;

τ_{xy} - дотичне напруження в площині XY ;

ϵ_x, ϵ_y - нормальні деформації у напрямках осей X та Y ;

ϵ_{xy} - зсувна деформація в площині XY .

Зв'язок між напруженнями σ_i та деформаціями ϵ_i в будь-якій точці тіла визначається за допомогою закону Гука [2]. Для лінійного одноосного стану (рис. 1 а) нормальне напруження визначається як:

$$\sigma_y = \frac{P}{A}. \quad (1)$$

В свою чергу деформація у напрямку Y :

$$\epsilon_y = \frac{\sigma_y}{E}. \quad (2)$$

Для умов плоского напруженого стану (рис. 1, б) нормальна деформація у напрямку X визначається за формулою:

$$\epsilon_x = \frac{1}{E}(\sigma_x - \nu\sigma_y). \quad (3)$$

А нормальне напруження вздовж осі X відповідно:

$$\sigma_x = \frac{E}{1-\nu^2}(\epsilon_x + \nu\epsilon_y), \quad (4)$$

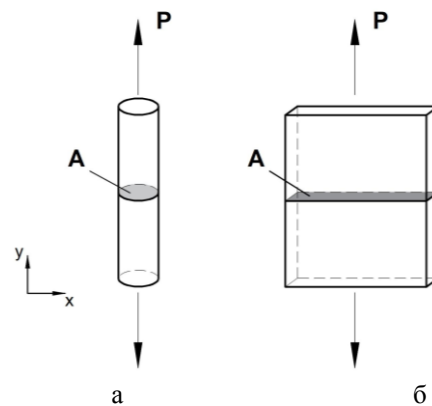


Рис. 1. Приклади напружених станів:
а – лінійний одноосний стан,
б – плоский напружений стан

Ці співвідношення демонструють, що деформації безпосередньо залежать від значень модуля E та коефіцієнта ν , тоді як напруження залежать переважно від геометрії та умов навантаження. Відмінності у впливі геометричних та матеріальних параметрів на напруження й деформації мають принципове значення для подальшого аналізу НДС.

Зважаючи на викладені основні положення, важливим етапом дослідження є експериментальне визначення фактичних значень характеристик E та для зразків із різною орієнтацією відносно напрямку прокатки.

1.2. Вплив орієнтації прокатки на властивості матеріалу

Для аналізу впливу плоскостної анізотропії на механічні та пружні характеристики алюмінієвого сплаву Д16АТ використано дані випробувань, проведених у лабораторії механічних випробувань Інституту проблем міцності ім. Г.С. Писаренка Національної академії наук України [3]. Зазначені результати отримано відповідно до рекомендацій стандарту ASTM E8 [4].

У дослідженні випробовувались гладкі зразки $S(T)$ з довжиною робочої частини 84 мм, виготовлені

з тонколистового алюмінієвого сплаву Д16АТ. Орієнтація зразків щодо напрямку прокатки варіювалась з кроком 15° у діапазоні від 0° до 90° , де 0° відповідає поздовжньому напрямку прокатки, а 90° – поперечному. Для реєстрації деформацій застосовувався екстензометр Instron моделі 2620-601 з базою 25 мм та точністю $\pm 0,002$ мм. Навантаження прикладалося зі швидкістю 0,001 мм/с, а частота зчитування даних становила 0,5 Гц. Для кожної орієнтації проводились випробування щонайменше трьох зразків з подальшим усередненням результатів.

Результати визначення границі міцності та границі плинності наведено у таблиці 1, а дані щодо модуля Е та відносного подовження – у таблиці 2. У кожній таблиці також наведено відсоткові відхилення характеристик відносно базового значення (0° – поздовжній напрямок), що дозволяє оцінити вплив орієнтації зразків на властивості матеріалу.

Таблиця 1

Механічні характеристики сплаву Д16АТ залежно від орієнтації вирізки зразків відносно напрямку прокатки

Орієнтація зразка	Границя міцності σ_B	Відхилення σ_B	Границя плинності, $\sigma_{0,2}$	Відхилення $\sigma_{0,2}$
$^\circ$	МПа	%	МПа	%
0	466,60	0,00	338,30	0,00
15	459,50	1,52	322,90	4,55
30	448,67	3,84	302,83	10,48
45	433,93	7,0	292,57	13,52
60	425,8	8,74	283,33	16,25
75	435,9	6,58	293,63	13,2
90	446,17	4,38	299,40	11,5

Таблиця 2

Пружні характеристики та показники пластичності сплаву Д16АТ залежно від орієнтації зразків відносно напрямку прокатки

Орієнтація зразка	Модуль Юнга Е	Відхилення Е	Відносне подовження, $\Delta l/l$	Відхилення $\Delta l/l$
$^\circ$	МПа	%	%	%
0	67753	0,00	14,60	0,00
15	67550	0,30	14,86	1,78
30	67767	0,02	15,65	7,19
45	67130	0,92	16,55	13,36
60	67373	0,56	19,58	34,11
75	67217	0,79	16,85	15,41
90	66833	1,36	15,92	9,04

Аналіз отриманих даних свідчить про виражену плоскостну анізотропію в механічній поведінці сплаву Д16АТ. З метою перевірки та уточнення цих результатів було прийнято рішення провести власні

лабораторні випробування зосереджені на визначенні впливу плоскостної анізотропії на коефіцієнт ν .

1.3. Визначення коефіцієнта Пуассона

З огляду на обмежену кількість експериментальних даних щодо впливу анізотропії на значення коефіцієнта ν , у межах даного дослідження проведено окремий експеримент із його визначення для зразків, орієнтованих уздовж та поперек напрямку прокатки. Методика відповідає вимогам стандарту ASTM E132 [5], який передбачає вимірювання поздовжньої та поперечної деформації під дією осьового навантаження.

Для випробування використовували квадратний зразок (рис. 2 а) з розмірами 200х200 мм, виготовлений зі листового напівфабрикату зі сплаву 1163 АТВ товщиною 1,5 мм. Геометричні параметри зразка підібрано таким чином, щоб забезпечити однорідний розподіл напружень та деформацій у центральній зоні. Для реєстрації деформацій застосовували тензорезистори КФ 5 з базою 5 мм, наклеєні у центральній частині зразка у двох перпендикулярних напрямках – поздовжньому та поперечному.

1.3.1. Процедура встановлення тензорезисторів

Поверхню зразка у зоні наклейки ретельно очищували, знежирювали ацетоном або спиртом та шліфували наждачним папером для видалення окисної плівки та покращення адгезії. Після шліфування проводилось повторне знежирення. На зворотній бік тензорезистора наносили клей «Ціакрін», після чого його прикладали до поверхні зразка відповідно до розмітки. Зразок залишали до повного висихання клею. Далі тензорезистори підключали до реєструючої апаратури НВМ РМХ, утворюючи чотириканальний тензоміст з чотирма активними елементами [6].

1.3.2. Процедура проведення випробувань

У ході експерименту було випробувано кілька зразків. Спочатку проводили випробування у конфігурації, коли напрямок прокатки збігається з напрямком прикладання навантаження, а потім – у конфігурації з поперечною орієнтацією (зразок перевертали на 90°) див. рис. 2 б.

Випробування здійснювались на машині УИМ-25 у режимі поетапного навантаження з кроком 20 МПа в діапазоні від 20 до 98 МПа. Для кожного рівня навантаження реєстрували сигнали з чотирьох тензоканалів. Результати наведено у таблицях 3 і 4 – для кожного етапу визначено середні значення поздовжніх і поперечних деформацій, а також розраховано коефіцієнт ν за формулою:



Рис. 2. Зразок для проведення випробувань з визначення коефіцієнта Пуассона:
а – перший етап (уздовж прокатки);
б – другий етап (поперек прокатки)

Таблиця 3
Значення деформацій та коефіцієнт Пуассона для зразка розтягнутого уздовж прокатки

Рівень навантаження, МПа	Поздовжня деформація (тензорезистор 3 та 4), $\mu\epsilon$	Поперечна деформація (тензорезистор 1 та 2), $\mu\epsilon$	Коефіцієнт Пуассона (ν)
20	272,5	-61,5	0,23
39	551	-131	0,24
59	831	-202,5	0,24
78	1110	-274,5	0,25
98	1392,5	-349,5	0,25
Середнє значення коефіцієнта ν_{cp}			0,24

Отримані значення коефіцієнта Пуассона для поздовжньої та поперечної орієнтацій свідчать про наявність плоскостної анізотропії пружних властивостей сплаву 1163АТВ. З урахуванням потенційного впливу таких варіацій на розподіл напружень і деформацій у конструктивних елементах було проведено чисельне моделювання для оцінки чутливості НДС до змін пружних характеристик.

Таблиця 4
Значення деформацій та коефіцієнта Пуассона для зразка, розтягнутого поперек прокатки

Рівень навантаження, МПа	Поздовжня деформація (тензорезистор 1 та 2), $\mu\epsilon$	Поперечна деформація (тензорезистор 3 та 4), $\mu\epsilon$	Коефіцієнт Пуассона (ν)
20	-76	273	0,28
39	-157,5	556,5	0,28
59	-240,5	840	0,29
78	-325	1125	0,29
98	-414	1415	0,29
Середнє значення коефіцієнта ν_{cp}			0,29

1.4. Дослідження чутливості НДС до варіації пружних характеристик

Аналіз чутливості НДС до змін пружних характеристик матеріалу проведено за допомогою методу скінчених елементів. Для цього побудовано модель гладкої прямокутної пластини розмірами 600×200×1,5 мм. Матеріал пластини - алюмінієвий сплав 1163 АТВ, який широко застосовується для обшивок авіаційних конструкцій.

На нижню грань моделі прикладено граничні умови: жорстке закріплення переміщень вздовж осі Y та обмеження обертання навколо осі Z. У верхній частині зразка передбачено зону для імітації захватів випробувальної машини: переміщення по осі X та обертання навколо осі Z у цій зоні заблоковано. На верхню грань прикладено рівномірне розподілене навантаження, яке еквівалентне номінальному напруженню 98 МПа.

У технічній літературі модуль E для листів 1163 АТВ наводиться у межах від 68 000 до 72 000 МПа, а коефіцієнт ν – у діапазоні від 0,28 до 0,35.

Для оцінки впливу цих варіацій на НДС було сформовано дев'ять комбінацій параметрів матеріалу, що охоплюють вказані межі варіації, див. таблицю 5.

Таблиця 5
Комбінації пружних характеристик сплаву 1163 АТВ

Варіант	Модуль Юнга E, МПа	Коефіцієнт Пуассона ν
1	68000	0,28
2	68000	0,33
3	68000	0,35
4	70000	0,28
5	70000	0,33
6	70000	0,35
7	72000	0,28
8	72000	0,33
9	72000	0,35

Отримані дані дозволили оцінити, як варіації у пружних параметрах можуть впливати на величини максимальних напружень, деформацій у конструкційних елементах. Це, своєю чергою, дає змогу робити висновки щодо необхідності врахування анізотропії при виконанні розрахунків на міцність.

Результати та обговорення

Аналіз впливу напрямку прокатки на механічні та пружні характеристики сплаву ДІ6АТ, проведений на основі результатів лабораторних випробувань Інституту проблем міцності, виявив чітко виражену плоскосну анізотропію.

Як свідчать дані таблиці 1, границя текучості зменшується від 338 МПа у поздовжньому напрямку (0°) до 283 МПа при орієнтації 60° , що становить максимальне відхилення - 16%. Границя міцності знижується з 467 МПа у поздовжньому напрямку до 426 при тій самій орієнтації, тобто змінюється на 9%.

Таким чином, саме при орієнтації 60° до напрямку прокатки спостерігається найменша здатність матеріалу чинити опір як початку пластичної деформації, так і руйнуванню.

Пружні характеристики демонструють інший характер змін. Модуль E залишається майже стабільним, максимальне відхилення становить лише 1,36 %, тоді як відносне подовження ($\Delta l/l$) змінюється значно сильніше – від 14,60 % до 19,58 % при орієнтації 60° , що відповідає відхиленню у 34 %.

Чисельне моделювання виявило, що напруження залишаються практично нечутливими до змін модуля Юнга та коефіцієнту ν , оскільки визначаються зовнішнім навантаженням (див. формулу (1)). Натомість деформації демонструють чітку залежність від модуля пружності (формули (2) і (3)). Навіть незначні варіації цих параметрів призводять до помітних змін у полі деформацій.

Ці спостереження підтверджуються тепловими діаграмами, побудованими за результатами моделювання. На рис. 3 представлена тепла карта відхилень деформації E_{11} (вздовж осі X) від еталонного значення. За еталон прийнято розрахунок з використанням $E=70\,000$ МПа і $\nu=0,33$. В центрі діаграми – зона, де результати збігаються з аналітичним розрахунком. Найбільшому відхиленню – -17 % відповідає модулю E 72 000 МПа та коефіцієнту ν 0,28. Відхилення 9 % відповідає модулю E 68 000 МПа та коефіцієнту ν 0,35.

Знак «-» у відсотковому відхиленні вказує на те, що розрахункове значення деформації менше за еталонне, тоді як позитивне значення відображають перевищення теоретичного рівня.

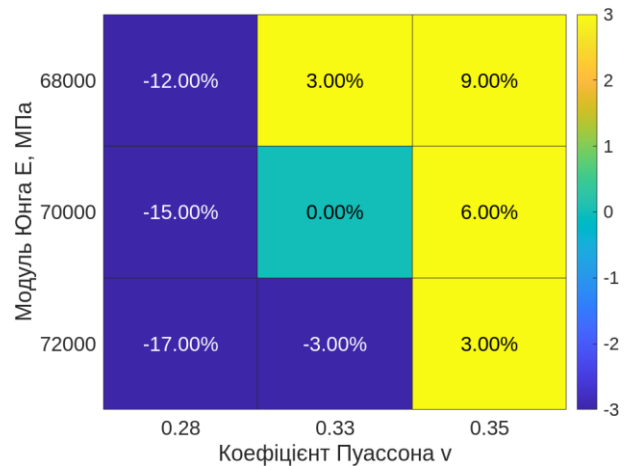


Рис. 3. Теплова діаграма варіацій деформацій E_{11} відносно еталонного значення

Рисунок 4 демонструє вплив на деформації E_{22} (уздовж осі Y), які змінюються переважно під впливом модуля E . Це відповідає теоретичному прогнозу з формули (2).

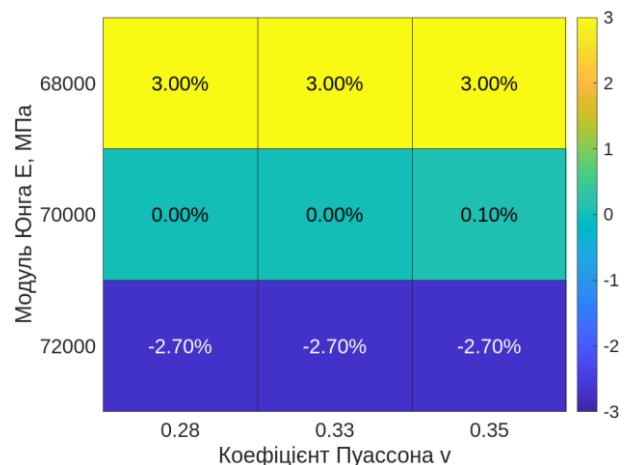


Рис. 4. Теплова діаграма варіацій деформацій E_{22} відносно еталонного значення

На рис. 5 наведено результати для площадки, орієнтованої під кутом 45° до головних осей. Відхилення: 11% відповідає модулю E 68 000 МПа та коефіцієнту ν 0.28. Відхилення -6 % відповідає модулю E 72 000 МПа та коефіцієнту ν 0,35.

Таким чином, проведені дослідження підтверджують, що варіації пружних характеристик суттєво впливають на деформаційний стан матеріалу, особливо у випадках із суттєвими відхиленнями від еталонних значень, тоді як розподіл напружень залишається практично незмінним. Це особливо важливо для задач інженерного моделювання, де точне відтворення деформацій критичне для оцінки стану конструкції.

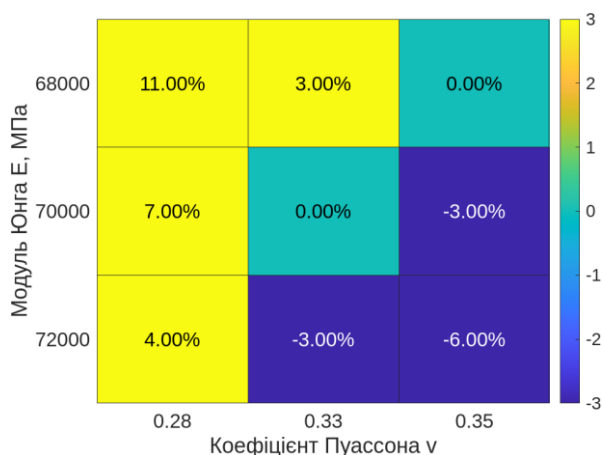


Рис. 5 Теплова діаграма варіацій деформацій E11 та E22 відносно еталонного значення для площадок під кутом 45°

Висновки

У результаті проведеного дослідження встановлено наступне:

1. Алюмінієвий сплав Д16АТ демонструє виражену плоскостну анізотропію механічних властивостей. Найменші значення границі текучості та границі міцності спостерігаються при орієнтації 60° до напрямку прокатки, що вказує на знижену здатність матеріалу чинити опір навантаженню у цьому напрямку.

2. Пружні характеристики, зокрема модуль E, змінюються незначно, що свідчить про відносну стабільність цієї характеристики в межах дослідженого діапазону орієнтацій. Водночас, відносно подовження змінюється суттєво, досягаючи 34 % відхилення, що вказує на високу чутливість до напрямку деформації.

3. Коефіцієнт Пуассона також демонструє анізотропну поведінку, змінюючись в залежності від орієнтації зразка відносно напрямку прокатки. Отримані значення 0,24 для поздовжнього напрямку та 0,29 для поперечного – підтверджують наявність анізотропії пружних властивостей.

4. Аналіз впливу варіацій модулів пружності на напружено-деформований стан показав, що напруження є нечутливими до змін модуля Юнга та коефіцієнта Пуассона, оскільки визначаються переважно прикладеним навантаженням. Водночас, деформації мають пряму залежність від цих характеристик, що підтверджено чисельним моделюванням.

5. Теплові діаграми розподілу відхилень деформацій E₁₁ та E₂₂ чітко демонструють вплив зміни пружних параметрів на розрахункові результати, що є важливим для підвищення точності інженерних розрахунків в умовах анізотропії.

Таким чином, результати дослідження можуть бути корисними для побудови більш точних моделей конструкцій у контексті ресурсних оцінок, зокрема в

галузі авіа- та машинобудування, де алюмінієві сплави використовуються у вигляді прокатних напівфабрикатів.

Внесок авторів: формулювання проблеми, постановка задачі, оцінка результатів – С.Г. Ігнатович, О.І. Семенець; числовий експеримент, формулювання висновків – І.І. Джавадова; написання статті – С.Г. Ігнатович, І.І. Джавадова.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що немає конфлікту інтересів щодо цього дослідження, фінансового, особистого, авторського чи іншого, який міг би вплинути на дослідження та його результати, представлені в цій статті.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Рукопис не має пов'язаних даних.

Використання засобів штучного інтелекту

Автори підтверджують, що не використовувала технології штучного інтелекту при створенні представленої роботи.

Подяка

Автори висловлюють подяку канд. техн. наук Ігорю Ліманському, співробітнику акціонерного товариства «АНТОНОВ», за консультативну допомогу.

Автори прочитали та погодились з опублікованою версією рукопису.

Література

1. Yao, W. *Symplectic elasticity [Text]* / W. Yao, W. Zhong, & C. W. Lim. – Singapore : World Scientific Publishing, 2009. – 316 с. doi: 10.1142/6656.
2. Hibbeler, R. C. *Mechanics of Materials [Text]* / R. C. Hibbeler. – 11-те вид. – Гобокен : Pearson, 2022. – 886 р.
3. *Методика експрес-оцінки тріщиностійкості тонколистових металів авіаційних конструкцій [Текст] : звіт про науково-дослідну роботу за договором № АН 01-59(08) від 31.10.2008 р. / Національна академія наук України, Інститут проблем міцності ім. Г. С. Писаренка. – Київ, 2008.*
4. ASTM E8/E8M – 24. *Standard test methods for tension testing of metallic materials [Текст]*. – На заміну ASTM E8/E8M – 22 ; чинний від 20.05.2024. – West Conshohocken, PA : ASTM International, 2024. – 28 р.
5. ASTM E132 – 17. *Standard test method for Poisson's ratio at room temperature [Text]*. – На заміну ASTM E132 – 04R10 ; чинний від 08.09.2017. – West Conshohocken, PA : ASTM International, 2017. – 4 р.

6. Hoffmann K. *Strain Gauges Absolute precision from HBM* [Text] / K. Hoffmann. – Дармштадт : Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, – 88 p.

References

1. Yao, W. *Symplectic elasticity*. Singapore, World Scientific Publishing Publ., 2009. 316 p. doi: 10.1142/9789812778727.
2. Hibbeler, R. C. *Mechanics of Materials*. Hoboken, Pearson Publ., 2022. 886 p.
3. *Metodyka ekspres-otsinky trishchynostiynosti tonkolystovykh metaliv aviatsiynykh konstruktsiy : zvit pro naukovo-doslidnu robotu za dohovorem no. AN 01-59(08) vid 31.10.2008 r.* [Methodology for Rapid Assess-

ment of Fracture Toughness of Thin-Sheet Metals in Aircraft Structures : report on research work under the contract no. AN 01-59(08) vid 31.10.2008 y.] / *Natsional'na akademiya nauk Ukrainy, Instytut problem mitsnosti im. H. S. Pysarenka - G.S. Pisarenko Institute for Problems of Strength of the National Academy of Sciences of Ukraine*. – Kyiv, 2008. (In Ukrainian, unpublished).

4. ASTM E8/E8M – 24. *Standard test methods for tension testing of metallic materials*. West Conshohocken, PA : ASTM International Publ., 2024. 28 p.

5. ASTM E132 – 17. *Standard test method for Poisson's ratio at room temperature*. West Conshohocken, PA : ASTM International Publ., 2017. 4 p.

6. Hoffmann, K. *Strain Gauges Absolute precision from HBM*. Darmshtad, Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH Publ. 88 p.

Надійшла до редакції 25.06.2025, розглянута на редколегії 18.08.2025

EFFECT OF ELASTIC PROPERTY VARIATIONS ON THE STRESS-STRAIN STATE CALCULATION OF A STRUCTURE

Sergey Ignatovich, Oleksandr Semenets, Iryna Dzhavadova

Aluminium alloys are key materials in the aerospace industry because of their combination of low density, high specific strength, and excellent corrosion resistance. Metals are generally considered isotropic materials, exhibiting uniform mechanical properties in all directions. However, plastic deformation processes, such as rolling, can induce texture formation, whereby crystallographic grains align along the direction of deformation. This leads to planar anisotropy, which significantly affects the mechanical behavior of the material under service loads. This study investigates how variations in elastic properties – Young's modulus E and Poisson's ratio μ – affect the stress-strain state (SSS) of a 1163 ATB aluminium alloy sheet structure. A literature review was conducted on analyze the effect of anisotropy on the mechanical properties of specimens cut at various angles to the rolling direction. This confirmed the dependence of the elastic parameters on the orientation. This study presents laboratory test results for Poisson's ratio in the longitudinal and transverse directions. The experimental data obtained were implemented in finite element modelling to assess the influence of anisotropy on the stress and strain distribution in typical thin-walled structural elements. Modelling was performed using a simplified geometry – a rectangular plate with boundary conditions that simulate real service loads. Nine combinations of elastic parameters were considered to evaluate the sensitivity of the calculated results to variation in these parameters. The analysis revealed that slight changes in the elastic properties can result in significant deviations in SSS, especially in the stress concentration zones. Such deviations considerably impact the assessment of the structural components' residual strength and durability. Therefore, accounting for anisotropic behavior is critical for improving the accuracy of engineering calculations, particularly in strength and life assessment tasks. Therefore, accounting for anisotropic behavior is critically important to improve the accuracy of engineering calculations, particularly in tasks involving strength and life assessment. The obtained results are recommended for use in modelling, designing, and verifying aerospace components.

Keywords: anisotropy; aluminum alloys; stress-strain state; elastic properties; mechanical properties.

Ігнатович Сергій Ромуальдович – д-р техн. наук, проф. каф. конструкції літальних апаратів, ДНП Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ, Україна.

Семенець Олександр Іванович – канд. техн. наук, головний конструктор з міцності, АТ «АНТОНОВ», Київ, Україна.

Джавадова Ірина Ікрамівна – інженер- конструктор, АТ «АНТОНОВ», Київ, Україна.

Sergey Ignatovich – Doctor of Science, Professor of the Design Department State University “Kyiv Aviation Institute”, Kyiv, Ukraine,
e-mail: ignatovich@nau.edu.ua, ORCID: 0000-0001-9322-2195, Scopus Author ID: 6603696962.

Oleksandr Semenets – PhD, Chief Strength Design Engineer, «Antonov» JSC, Kyiv, Ukraine,
e-mail: semenets@antonov.com, ORCID: 0000-0002-9117-2494.

Iryna Dzhavadova – Design Engineer, «Antonov» JSC, Kyiv, Ukraine,
e-mail: 296961@stud.kai.edu.ua, ORCID: 0009-0007-1525-5769.