

Міністерство науки і освіти України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Механіко-машинобудівний інститут



s-conf.mmi.kpi.ua

ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ – МАШИНОБУДУВАННЮ

МАТЕРІАЛИ

**ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
МОЛОДИХ ВЧЕНИХ ТА СТУДЕНТІВ**

«ІННОВАЦІЇ МОЛОДІ – МАШИНОБУДУВАННЮ»

Секція «ДИНАМІКА І МІЦНІСТЬ МАШИН»

Київ
2017

Збірка матеріалів Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів «Інновації молоді – машинобудуванню», секція "Динаміка і міцність машин" / Укладач Сидоренко Ю.М. – К: НТУУ "КПІ", 2017. – 95с.

Укладач: Сидоренко Юрій Михайлович, д.т.н., доцент
кафедри динаміки і міцності машин та опору матеріалів
НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського"

За редакцією авторів

ББК 34.5
УДК 621

© Авторський колектив, 2017
© Жук О.Ю., Фролов В.К., логотип, 2017
© НТУУ "КПІ ім. І. Сікорського", 2017

УДК 539.3

Нос Є.М., наук.кер. *Абрамов В.І.*, к.т.н., доц., *Трубачев С.І.*, к.т.н., доц.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», м.Київ, e-mail: abramov-kpi@i.ua

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАННИЙ СТАН ТА ОПТИМІЗАЦІЯ КРОНШТЕЙНА КРІПЛЕННЯ ГОНДОЛИ ТРАНСПОРТНОГО ЛІТАКА

Силова установка літального апарата містить повітрозабірник, який закріплений на вхідному фланці двигуна на пілоні літального апарату. Бічні панелі силової установки закріплені між кінцевим шпангоутом повітрозабірника і стінкою реверсивного пристрою двигуна та містять передні і задні вузли кріплення панелей.

Вузли кріплення включають кронштейни, що розташовані на стінці кінцевого шпангоута повітрозабірника, а також кронштейни із сферичним підшипником, які встановлені на бічних панелях і стінці кінцевого шпангоута повітрозабірника.

Зусилля, що виникають від аеродинамічних навантажень в процесі польоту літального апарату в шарнірних вузлах навішування капотних кришок, сприймаються балками, які включені в конструкцію панелей, та передаються до передньої площини на кінцевий шпангоут повітрозабірника через швидкознімні шпильки шарнірного вузла, закріпленого в балку, на кронштейн, встановлений на кінцевому шпангоуті повітрозабірника.

Таким чином, визначення напружено-деформованого стану (НДС) кронштейна та його оптимізація є актуальним питанням вдосконалення конструкції літака.

Для дослідження НДС конструкції кронштейна розроблено розрахункову схему (синім кольором позначено поверхні з жорстким закріпленням, червоним – поверхню та напрямком прикладення навантаження) (рис. 1).

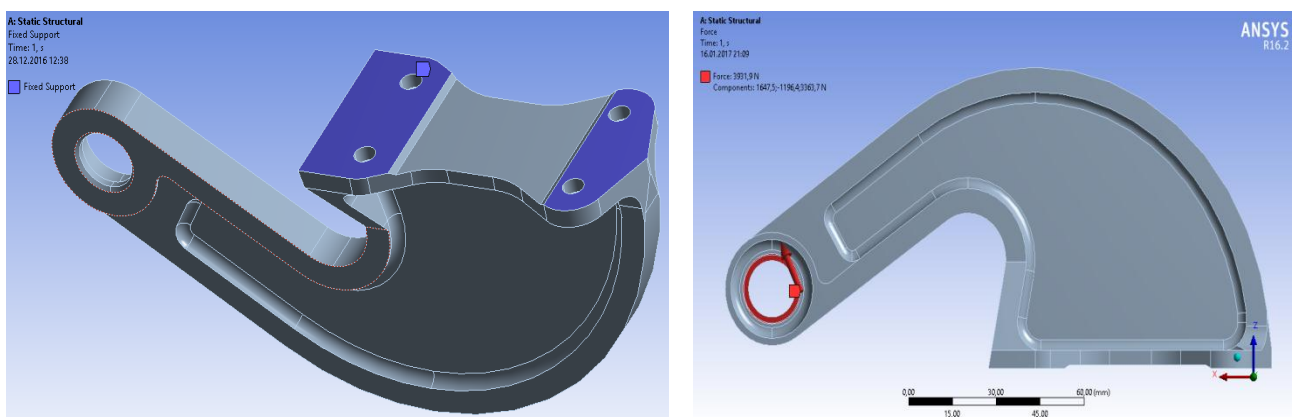


Рис. 1. Розрахункова схема кронштейна

Матеріал кронштейна – сталь 1933ТЗ, границя міцності – 420 МПа, навантаження – 4000 Н.

Для формулювання початково-крайової задачі використані рівняння рівноваги, рівняння сумісності деформацій та фізичні рівняння у формі закону Гука [1].

Трьохвимірною геометричною моделлю кронштейна побудована відповідно до конструкторської документації літака в системі автоматизованого геометричного моделювання. Отримана трьохвимірною твердотільною моделлю була експортована в програмний комплекс скінчено-елементного аналізу для розрахунку НДС. Для розрахунку використовувався тетраедричний скінченний елемент (рис. 2а). В результаті розрахунку були визначені еквівалентні напруження за Мізесом (рис. 2б).

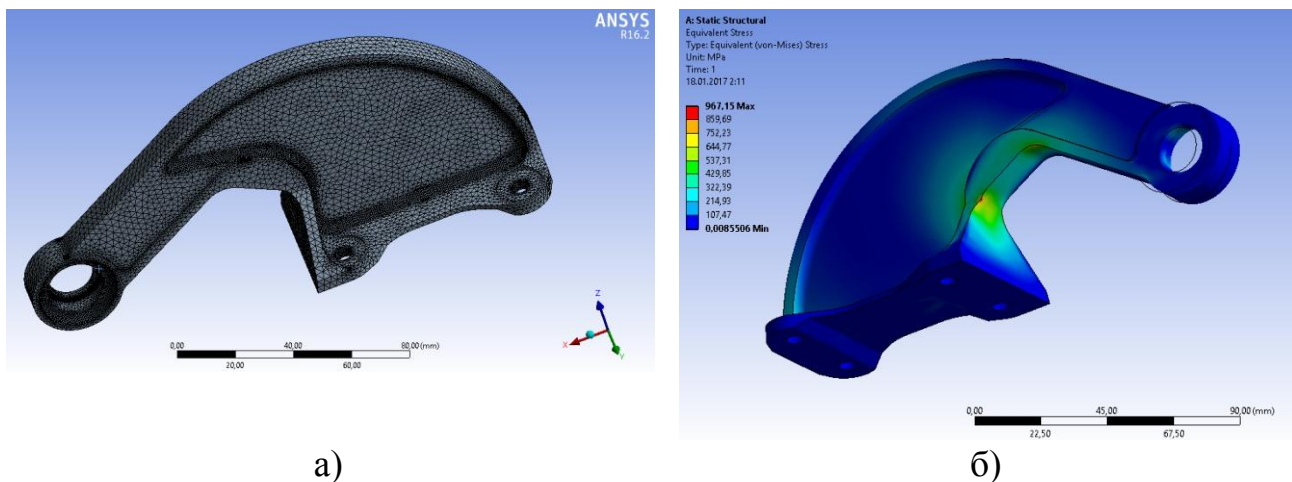


Рис. 2. Вихідна конструкція кронштейна: а) скінчено-елементна сітка, б) поле еквівалентних напружень за Мізесом

Для вдосконалення конструкції було запропоновано зменшити вагу кронштейна за рахунок зміни геометричних розмірів. Аналогічно були проведені розрахунки НДС для оптимізованої моделі кронштейна (рис. 3). Умови закріплення та навантаження були однаковими для двох моделей.

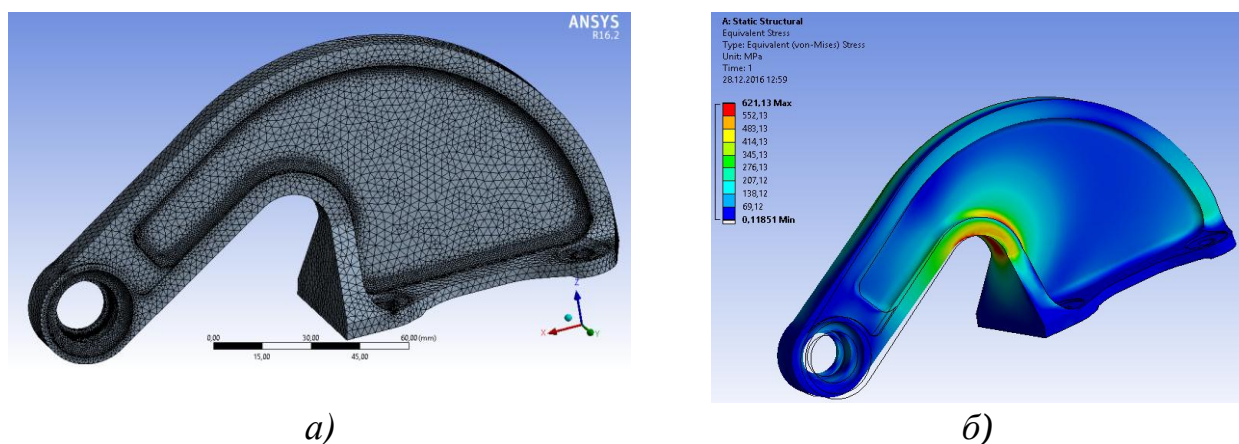


Рис. 3. Оптимізована конструкція кронштейна: а) скінчено-елементна сітка, б) поле еквівалентних напружень за Мізесом

У таблиці 1 наведено дані для порівняльного аналізу НДС вихідної та оптимізованої конструкції кронштейна.

Таблиця 1. Порівняльний аналіз НДС кронштейна

Параметр	Модель	
	Початкова	Оптимізована
Маса, г	221	190
Кількість СКЕ	353411	327584
Переміщення, мм	6,64	6,58
Еквівалентні напруження за Мізесом, МПа	967	621

Таким чином, в ході роботи був зроблений розрахунок НДС конструкції кронштейна. На основі аналізу НДС була створена оптимізована конструкція та зроблені рекомендації по зменшенню ваги кронштейна.

Список використаних джерел:

1. Бабенко А.Є., Бобир М.І., Бойко С.Л., Боронко О.О. Теорія пружності. Частина 1: Підруч. – К.: Основа, 2009. – 244 с.

УДК 539.3

Отмахов М.О., *наук. кер. Абрамов В.І., к.т.н., доц., Трубачев С.І., к.т.н., доц.*
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», м. Київ, e-mail: abramov-kpi@i.ua, strubachev@i.ua

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ЗМІШУВАЧА-РОЗПОДІЛЮВАЧА ТРАНСПОРТНОГО ЛІТАКА

Підвищення надійності та експлуатаційних якостей сучасного вітчизняного літального апарату потребує вдосконалення конструкції змішувача-розподільювача системи життєзабезпечення літака АН-178 на основі аналізу його напружено-деформованого стану під дією експлуатаційних навантажень та розробки практичних рекомендацій по оптимізації елементів конструкції.

В роботі розглядається елемент системи забезпечення транспортного літака – змішувач-розподільювач кисневої системи. Необхідно визначити напружено-деформований стан (НДС) конструкції за різних умов закріплення та експлуатації.

Робота є актуальною в плані розрахунків елементів систем забезпечення літаків та трубопроводів в цілому. Схожі змішувачі-розподільювачі (рис. 1) є невід'ємною частиною систем подачі повітря чи рідини у багатьох установках та транспортних засобах. Отримані дані можна використовувати для подовження ресурсу та забезпечення надійності експлуатації схожих елементів.

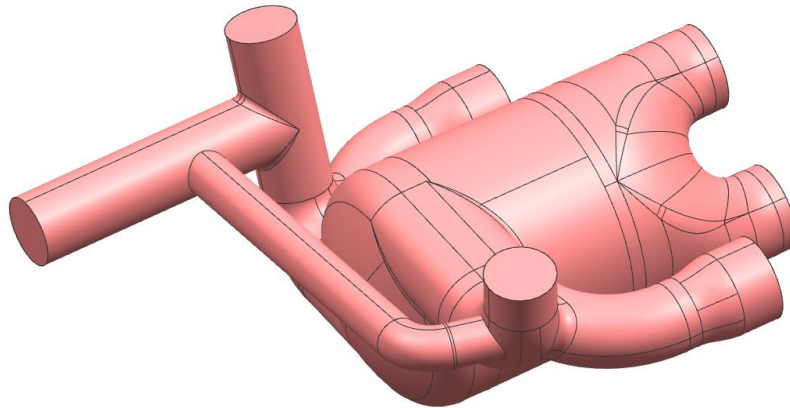


Рис. 1. Спрощена геометрична модель змішувача-розподільвача

Система кондиціонування літака є бортовою системою життєзабезпечення і призначена підтримувати температуру і тиск повітря в герметичній кабіні літака на рівні, що дозволяє забезпечити нормальну життєдіяльність пасажирів і екіпажу.

Система працює на повітрі, яке відбирається від компресорів працюючих авіаційних двигунів. Температура такого повітря досягає $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, тиск – $1,6\text{ МПа}$. При цьому повітря розділяється на два потоки. Перший потік (холодна лінія) проходить крізь систему охолодження в змішувач. Другий потік йде в змішувач безпосередньо.

У змішувачі відбувається змішування обох потоків, це повітря спрямовується в гермокабіні. Щоб охолодити повітря, використовують теплообмінники.

Для дослідження НДС конструкції кронштейна розроблено розрахункову схему (рис. 2, червоним позначено внутрішній надлишковий тиск).

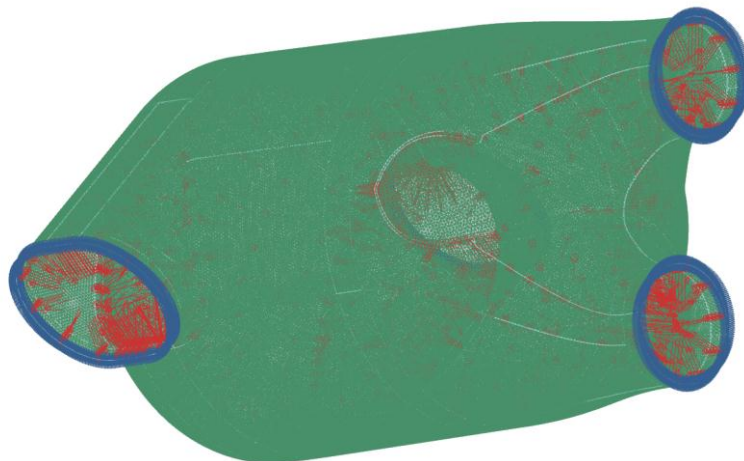


Рис. 2. Розрахункова схема

Для формулювання початково-крайової задачі використані рівняння рівноваги, рівняння сумісності деформацій та фізичні рівняння у формі закону Гука [1].

Розрахунок НДС змішувача-розподільвача виконаний за допомогою сучасного програмного комплексу скінчено-елементного аналізу з використанням геометричної моделі (рис.1) та розрахункової схеми (рис.2).

Скінчено-елементна модель зроблена з використанням 3D-моделі змішувача. Скінчено-елементну модель створено з використанням чотирьохвузлових оболонкових елементів, що дозволяють моделювати плоский напружений стан, згин, зсув. Середній розмір елементів склав 4×4 мм. Кількість елементів – 146173.

У місцях сполучення деталей змішувача-розподільвача у скінчено-елементній моделі виконана склейка за допомогою функції «з'єднання поверхня-поверхня».

Розглянемо НДС конструкції при реальних експлуатаційних навантаженнях літака.

Розрахунковий випадок 1. Надлишковий тиск прикладається на всю внутрішню поверхню конструкції. Закріплення здійснюється за допомогою інерційного врівноваження, заснованого на використанні маси моделі для створення інерційних сил, що врівноважують прикладені навантаження. Розподіл еквівалентних напружень за Мізесом наведено на рис. 3.

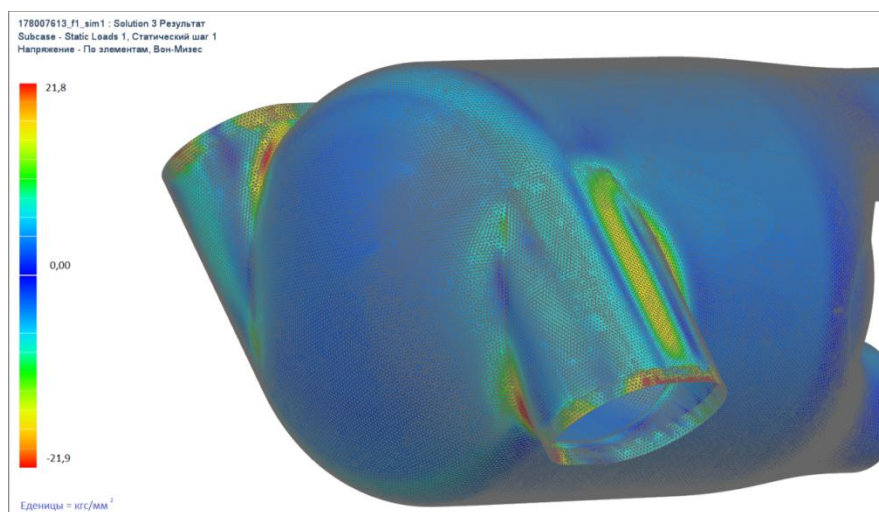


Рис. 3. Поле еквівалентних напружень за Мізесом при інерційному врівноваженні

Таблиця 1. Максимальні еквівалентні напруження і коефіцієнти запасу міцності в кришці змішувача-розподільвача при інерційному врівноваженні

№ точки	σ_p , МПа	η_p	$\sigma_{ст}$, МПа	$\eta_{ст}$
1	218	1,86	-219	1,44
2	158	>2	-80	>2
3	138	>2	-67	>2
4	203	1,99	-143	1,78
5	206	1,97	-163	1,6

Розрахунковий випадок 2. Навантаження від внутрішнього надлишкового тиску прикладалося з середини змішувача-розподільювача на всю поверхню. Закріплення здійснюється у вузлах кріплення фланців до фюзеляжу літака. Розподіл напружень показаний на рис. 4.

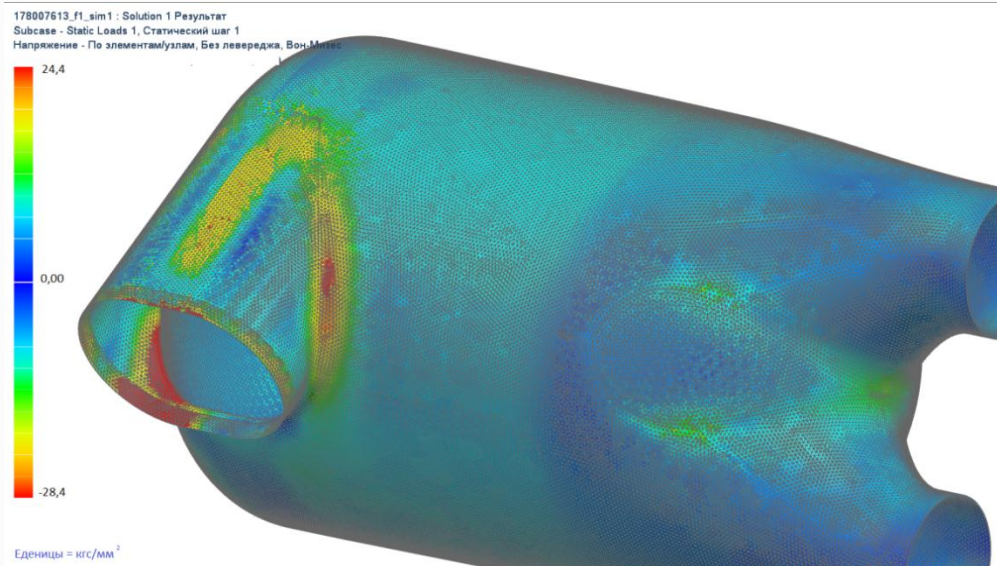


Рис. 4. Поле еквівалентних напружень за Мізесом при закріпленні на фланцях

Таблиця 2. Максимальні еквівалентні напруження і коефіцієнти запасу міцності в кришці змішувача-розподільювача при закріпленні фланців

№ точки	σ_p , МПа	η_p	$\sigma_{ст}$, МПа	$\eta_{ст}$
1	133	>2	-224	1,4
2	116	>2	-192	1,64
3	203	1,99	-158	1,99
4	207	1,95	-284	1,1
5	244	1,78	-150	>2

Таким чином, в результаті проведених розрахунків можна зробити висновок, що більш доречним обрати тип закріплення, що здійснюється у вузлах кріплення фланців до фюзеляжу літака.

Список використаних джерел:

1. Бабенко А.Є., Бобир М.І., Бойко С.Л., Боронко О.О. Теорія пружності. Частина 1: Підруч. – К.: Основа, 2009. – 244 с.

УДК 539.3

Гризівський М. І., *наук. кер. Рудаков К.М., д.т.н., проф.*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», м. Київ, e-mail: knrudakov@ukr.net

ПРО ВПЛИВ РОЗШАРУВАННЯ ТА ФОРМУЛИ ШАРІВ ПКМ ПРИ НАВАНТАЖЕННІ ЗРАЗКІВ БОЛТОВОГО З'ЄДНАННЯ

На сьогоднішній день техніка набирає все більших темпів розвитку. У людства змінюються пріоритети, і це суттєво впливає на промисловість. Такі сучасні галузі, як авіаційна та космічна, потребують використання нових матеріалів, нових методів розрахунку і збільшення економічності при розробці нових апаратів. Велику популярність з кожним роком здобувають так звані полімерні композиційні матеріали (ПКМ). Але їх використання збільшує кількість задач, поставлених перед розробниками. Пов'язано це з тим, що ПКМ мають неоднорідну структуру, для якої виникнення дефектів при механічній обробці є нормальним явищем.

Найпоширенішим типом з'єднання деталей з ПКМ є болтове з'єднання. Але для нього відсутній універсальний методичний апарат для визначення міцності та довговічності. А це призводить до великих затрат при виконанні натурних експериментів, тому доцільно використовувати тривимірне скінченно-елементне моделювання, яке дозволяє зменшити натурний експеримент.

На основі існуючих методів і публікацій було прийнято рішення використовувати 3D моделі розрахунків напружено-деформованого стану болтових з'єднань в програмному комплексі FEMAP/Nastran. В цьому середовищі можна розглядати ПКМ як 3D-ортотропний шаруватий матеріал; враховувати величини натягу/зазору при установці болтів в отвори, попереднє затягування болтів, зміни температури елементів з'єднання, тертя в з'єднанні, наявність припустимих відхилень виконання отворів у ПКМ, контактний характер взаємодій між елементами з'єднання. Кінцевою метою таких розрахунків є кількісна оцінка впливу декількох технологічних факторів на статичну й циклічну міцність з'єднання.

Залишається відкритими (майже не дослідженими) декілька питань, зокрема, питання про вплив формули розташування та розшарування при поверхневих шарів ПКМ на характеристики напружено-деформованого стану ПКМ в болтових з'єднаннях в зоні отворів.

В результаті 3D моделювання в середовищі FEMAP/Nastran одно зрізного дворядного болтового з'єднання "титан - ПКМ" було зроблено такі висновки:

- пошарове моделювання ПКМ дає можливість більш детально розглянути розподіл напружень в пластині в зоні отвору.
- в залежності від попереднього зазору в посадці болта в отвір маємо різну картину розподілу напружень;
- структура ПКМ впливає на розподіл напружень в зоні отвору: мак-

симальні напруження стиснення (σ_z) зменшуються, якщо зміщувати шари з напрямком укладання 0 градусів ближче до нейтрального шару пластини;

- розшарування, симетричні відносно осі отворів та різних діаметрів, розташоване між 2-м та 3-м шарами, незначно впливає на розподіл напружень в ПКМ в зоні отворів.

Тому необхідним є створення рекомендацій щодо вибору мінімальних та оптимальних зон більш точного моделювання ПКМ з урахуванням впливу конструктивно-технологічних факторів. Це дозволить створити певну методику розрахунків та довідкові матеріали, які є необхідними в різних галузях промисловості, зокрема в авіабудуванні.

Список використаних джерел:

1. Gordon Kelly. Quasi-static strength and fatigue life of hybrid (bonded/bolted) composite single-lap joints. *Composite Structures*, 2006. – 72. – PP.119-129
2. Gordon Kelly, Stefan Hallström. Bearing strength of carbon fibre/epoxy laminates: effects of bolt-hole clearance. – *Composites. Part B: Engineering*, 2004. – 35. – PP. 331-343
3. Johan Ekh, Joakim Schön, Gunnar Melin. Secondary bending in multi fastener, composite-to-aluminium single shear lap joints. – *Composites. Part B: Engineering*, 2005. – 36. – PP. 195-208.
4. Межслойные эффекты в композитных материалах // Под ред. Н. Пейгано / Пер. с англ. – М.: Мир, 1993. – 346 с.
5. Рудаков К.Н., Шукаев С.Н. Моделирование болтовых соединений из ПКМ в программном комплексе FEMAP/NX Nastran // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Машинобудування. – 2013. – № 67. – С. 199-206.
6. Кривов Г.А., Матвиенко В.А., Рудько А.Н., Василевский Е.Т., Романович Г.Н., Рудаков К.Н., Шукаев С.Н., Добронравов А.А. Численные исследования напряженно- деформированного состояния высоконагруженных соединений элементов конструкций планера самолета // Технологические системы. – К.: УкрНИИАТ, 2013. – №4(65). – С. 7-16.
7. Рудаков К.М., Шандура А.С. Чисельне обґрунтування застосування змішаних 3D- моделей ПКМ при розрахунках болтових з'єднань // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Машинобудування. – 2015. – №2(74). – С. 67-76.
8. Рудаков К.М., Добронравов О.А. Про вплив величини зазору між болтом та отвором на напружений стан болта однозрізного болтового з'єднання в зоні "зрізу" // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Машинобудування. – 2013. – №3 (69). – С. 62-71.
9. Шукаев С.М., Рудаков К.М., Корнєв П.А. Вплив технологічних факторів на міцність болтових з'єднань із композиційних матеріалів // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2013. – №5. – С. 93-97.
10. Broughton W.R., Crocker L.E., Gower M.R.L. Design Requirements for Bonded and Bolted Composite Structures // NPL Report MATC (A) 65, 2002. – 50 s.

УДК 539.3

Приходько М.В., наук. кер. *Бабенко А.Є*, д.т.н., проф., Лавренко Я.І., к.т.н., доц., Тимошенко О.В., к.т.н., доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», м. Київ, e-mail: babenko.ae@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРУЖНИХ ОПОР ЛАБОРАТОРНИХ ЦЕНТРИФУГ

Будь-яка сучасна машинобудівна конструкція у процесі експлуатації зазнає інтенсивних вібраційних навантажень. Це явище порушує нормальні умови експлуатації, а в деяких випадках призводить до руйнування. Тому дослідження коливань конструкцій є необхідним.

В існуючих методах досліджень коливання центрифуг, як правило, розрахунки проводяться тільки в лінійній постановці. Дослідження лінеаризованих систем хоча і дають змогу зробити корисні висновки про коливання, але не враховують нелінійні властивості віброопор, і тому не відображають повної характеристики реальних коливальних процесів.

Проведені статичні випробування гумових опор для визначення пружних властивостей. Дослідження проведені на випробувальній машині TIRAtest-215 (рис. 1) із записом відповідної діаграми згідно ГОСТ 23326-78 [1]. Випробування проведені при жорсткому режимі навантаження.



Рис. 1. Випробувальна машина TIRAtest-215

Характеристики визначалися на реальних пружних опорах, які використовуються в лабораторних центрифугах. Опори являють собою гумові циліндри зі спеціальними металевими пластинами, які використовуються для закріплення опор (рис. 2).



Рис. 2. Зразки пружних опор діаметрами 14,5 мм, 19,5 мм, 17 мм та довжиною 14,5 мм, 25 мм та 20 мм, відповідно

В результаті експерименту було отримано залежності в графічному вигляді, на яких видно, що не співпадаючі лінії навантаження і розвантаження діаграми "напруження – деформація" утворюють петлю гістерезису. Петля гістерезису характеризує здатність матеріалу поглинати енергію при коливанні конструкцій. Пружні властивості були визначені з діаграми "розтяг-стиск" для кожного зі зразків, один з них для зразку №1 наведений на (рис. 3) [2].

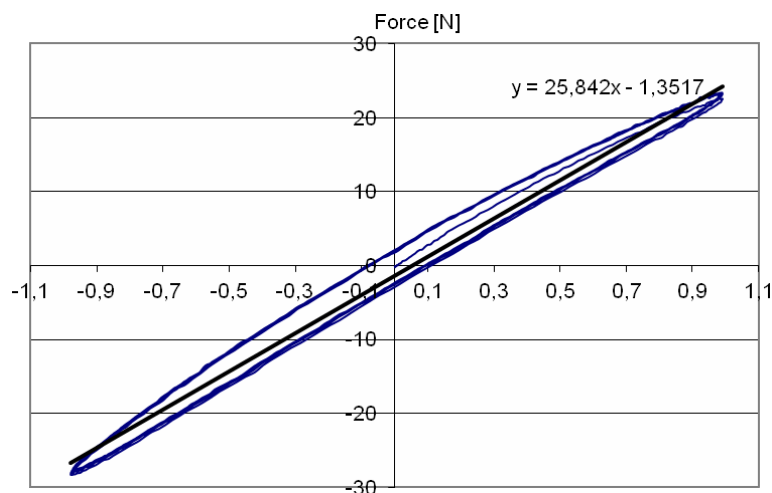


Рис. 3. Петля гістерезису

Площа петлі характеризує розсіювання енергії за один цикл. Чим більше площа петлі гістерезису, тим більше енергії розсіюється в матеріалі, і тим швидше коливання затухають.

Список використаних джерел:

1. ГОСТ 23326-78 «Резина. Методы динамических испытаний. Общие требования».
2. Бабенко А.Є., Лавренко Я.І. Експериментальне дослідження механічних характеристик опор та руху центрифуги PICO21// Вісник НТУУ «КПІ». Серія Машинобудування – 2013. – №3 (69). – С. 84-88.

УДК 621

Тріфонов С.О.¹, *наук. кер. Заховайко О.П.¹, к.т.н., доц., Дуб С.М.², к.т.н., с.н.с.*¹ Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, e-mail: gambitec1@gmail.com² Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НІТРИДУ АЛЮМІНІЮ В ПОЛІКРИСТАЛІ

Нітрид алюмінію (AlN) привертає увагу дослідників не тільки своїми унікальними теплофізичними властивостями, зокрема високою теплопровідністю та термостабільністю [1], а й завдяки високій ударостійкості. З іншого боку, інтерес до AlN обумовлений перспективністю використання його як широкозонного напівпровідника в фотодіодах та фотодетекторах синього та ультрафіолетового діапазону

Було зроблено кілька спроб визначити експериментально та оцінити з теоретичної точки зору пружні характеристики нітридів. Складність одержання монокристалів нітридів є стримуючим фактором для прямого визначення цих характеристик. Звичайно для оцінки опору матеріалу дії пластично-пружної деформації користуються таким комплексним параметром як твердість. Різноманітні методи оцінки твердості за допомогою індентування дають можливість досліджувати механічні характеристики матеріалів на різних (макро-, мікро- та нано-) рівнях. Метод наноіндентування [2] дозволяє визначати характеристики плівок, монокристалів малих розмірів та зерен полікристалічних матеріалів, зокрема обчислили за методикою Олівера і Фарра [3] твердість та модуль Юнга індивідуальних зерен, а також визначити параметр пластичності матеріалу як відношення роботи пластичної деформації до загальної роботи пружної та пластичної деформації [4].

Звичайно при одержанні полікристалічного AlN застосовують такі активатори спікання як оксид кальцію, гідрид або оксид ітрію. Спікання нітриду алюмінію відбувається в присутності рідкої фази і супроводжується очисткою матричного матеріалу від домішкового кисню. Теплопровідність полікристалічного матеріалу AlN при цьому зростає [5]. Досліджуючи щільні полікристалічні зразки AlN різної теплопровідності і, відповідно, певного рівня чистоти за киснем, можна оцінити механічні характеристики чистого AlN. В результаті дослідження отримали дані, наведені в таблиці 1.

Зразки, одержані з нанопорошку AlN, не демонструють підвищення теплопровідності після відпалу протягом 100 год (табл. 1). Цей факт обумовлений тим, що концентрація кисню в структурі полікристалічного матеріалу, одержаного з нанопорошку AlN без спеціальних домішок, які очищають основну фазу, не змінюється [6]. Механічні характеристики окремих зерен AlN визначали методом наноіндентування при швидкості переміщення індентора 10 нм/с і глибини відбитка не більше 200 нм. За кривими наноіндентування були обчислені модуль пружності E і твердість H зерен AlN (табл. 1).

Таблиця 1. Теплопровідність, модуль пружності, нанотвердість та параметр пластичності зразків кераміки AlN

Склад кераміки та технологія отримання	Тривалість відпалу при 1800°C, год	λ , Вт/(м·К)	E , ГПа	H , ГПа	δ
нано AlN (вільне спікання)	0	47	260	16,5±2,5	0,60
нано AlN (вільне спікання)	100	50	248	21,3±1,3	0,48
95AlN–5Y2O3 (гаряче пресування)	0	80	220	14,8±6,9	0,58...0,61
95AlN–5Y2O3 (гаряче пресування)	5	100	229	16,1	0,57

Як видно з табл. 1, величина нанотвердості нітриду алюмінію складає 14,8...16,5 ГПа.

З використанням кривих навантаження індентора Берковича для одержаних зразків обчислено параметр пластичності δ як відношення роботи пластичної деформації до повної роботи деформації при індентуванні (табл. 1).

При аналізі даних, представлених в табл. 1, можна зробити висновок, що параметр пластичності нітриду алюмінію не залежить від об'ємного вмісту таких точкових дефектів як вакансії алюмінію. Про це свідчить сталість значень δ для зразків нітриду алюмінію, що відрізняються вдвічі за теплопровідністю, а отже і за концентрацією кисню.

Отже, в даній роботі було визначено на рівні зерен методом наноіндентування такі механічні характеристики полікристалічного AlN як твердість, модуль пружності та параметр пластичності.

Список використаних джерел:

1. Oliver W. C., Pharr G. M. An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments // J. Mater. Res. – 1992. – 7, №6. – PP. 1564–1583.
2. С.Н. Дуб, Н.В. Новиков Испытания твердых тел на нанотвердость. Сверхтвердые материалы. – 2004. – № 6. – С. 1-18.
3. Slack G. A. Nonmetallic crystals with high thermal conductivity // J. Phys. Chem. Solids. – 1973. – 34. – PP. 321–335.
4. Галанов Б. А., Мильман Ю. В., Чугунова С. И., Гончарова И. В. Исследование механических свойств высокотвердых материалов методом индентирования // Сверхтвердые материалы. – 1999. – № 3. – С. 25–38.
5. Kurokawa Ya., Utsumi K., Takamizawa H. Development and microstructural characterization of high-thermal-conductivity aluminum nitride ceramics // J.Amer. Ceram. Soc. – 1988. – 71. – P. 588–594.
6. Фесенко І. П., Дуб С.М. Механічні властивості AlN в полікристалі // Сверхтвердые материалы. – 2004. – № 4. – С. 42-49.

УДК 539.3

Ружицький А.В., наук. кер. Бабак А.М., асистент.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, e-mail: a.babak@kpi.ua

ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗМІЦНЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ОТВОРІВ З КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ЇХ ВТОМНУ ДОВГОВІЧНІСТЬ

Основною метою авіабудування є полегшення маси самого літака та його експлуатаційна здатність. Тому в конструюванні сучасних, цивільних, літаків широко використовуються титанові та алюмінієві сплави. Частка титанових сплавів в загальній масі планера сучасних цивільних літаків (на прикладі літака Boeing 787 Dreamliner) складає 15%. Частка алюмінієвих сплавів в загальній масі планера сучасних цивільних літаків (на прикладі літака Boeing 787 Dreamliner) складає 20% [1].

Данні матеріали чутливі до різних концентраторів напружень. Одним з найбільш розповсюджених концентраторів напружень – є функціональні отвори (дренажні, для перетікання палива, для встановлення елементів кріплення). В сучасних літаках тільки отворів для елементів кріплення кількість складає близько 1 мільйона. Тому однією з основних проблем сучасного літакобудування є створення в зоні функціональних отворів сприятливого напружено-деформованого стану, яке знижує рівень концентрації напружень поблизу отворів.

В даній роботі наведені окремі результати експериментальних досліджень, спрямованих на підвищення втомної міцності високонавантажених авіаційних конструкцій з титанових та алюмінієвих сплавів.

В якості досліджувальної моделі приймемо пластини прямокутної форми з титанового сплаву BT6C, [2] та алюмінієвого сплаву Д16чТ. Було розглянуто 2 типи зразків кожного матеріалу: з незміцненими отворами та зміцненими дорнуванням в один прохід з величиною натягу 3%. Зразки виготовлялись веслоподібної форми згідно ГОСТ 25.502-79 [3], наведені на рис. 1 [4], а механічні характеристики представлені в таблиці 1 [5].

Таблиця 1 Механічних характеристик титанового сплаву BT6C та алюмінієвого сплаву Д16чТ

Матеріал	BT6C	Д16чТ
Номінальний діаметр отвору	D=8мм	D=4мм
Густина ρ , г/см ³	4,43	2.8
Границя міцності σ_B , МПа	830-1030	480
Відносне видовження δ , %	6-12	12
Модуль пружності E, ГПа	115-120	72

Випробування для зразків титанової та алюмінієвої групи випробовувались згідно ГОСТ 25.502-79 [3]

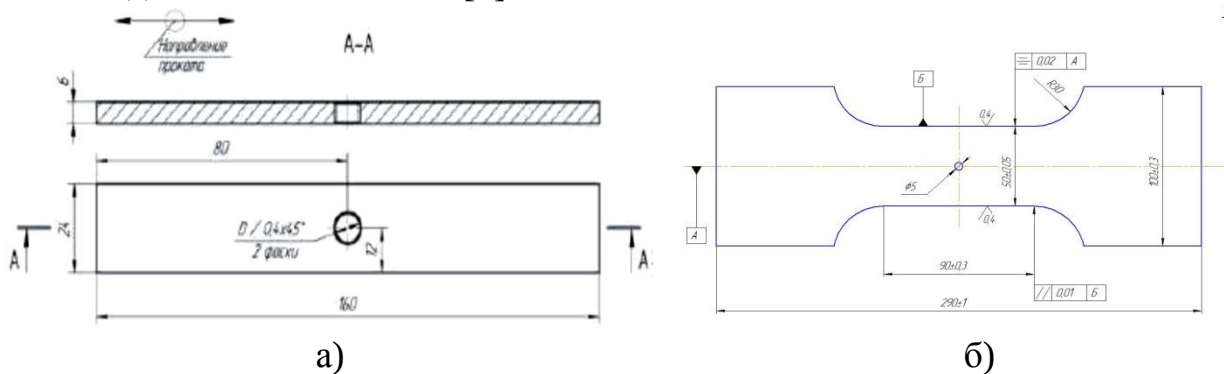


Рис. 1. Зразок пластини а) з титанового сплаву; б) з алюмінієвого сплаву

За результатами випробувань [2, 4, 6] окремих груп зразків будувались криві втоми в напівлогарифмічних координатах, які описуються відомим степеновим рівнянням [7]. Результати випробувань та описуючі їх криві втоми зображені на рис. 2, 3.

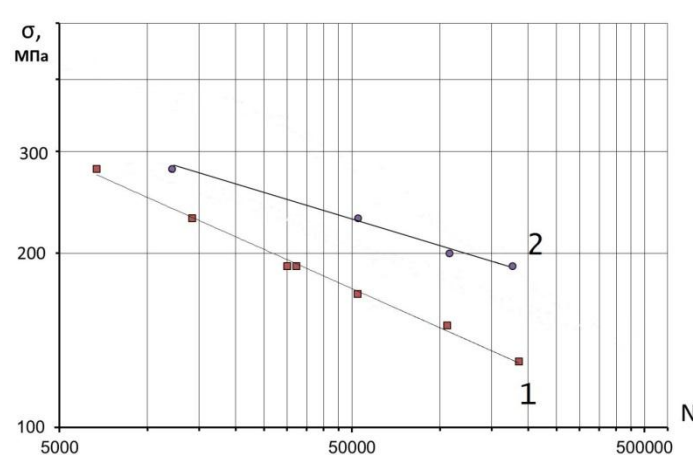


Рис. 2. Криві малоциклової втоми для алюмінієвого сплаву Д16ЧТ:
1 – 0% початкової пластичної деформації;
2 – 3% початкової пластичної деформації

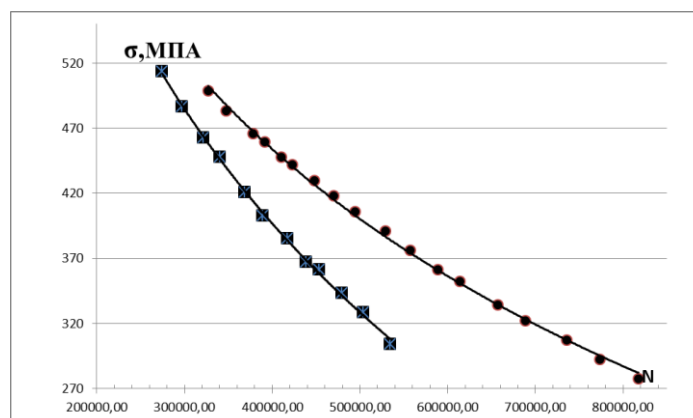


Рис. 3. Криві малоциклової втоми для титанового сплаву ВТ6С:
1 – 0% початкової пластичної деформації;
2 – 3% початкової пластичної деформації

2 – 3% початкової пластичної деформації [2]

Довговічність зразків після зміцнення дорнуванням значно підвищилась. Наприклад, на рівні навантаження 300 Н/мм^2 , на якому випробувано найбільша кількість зразків, кількість циклів до руйнування після дорнування в титановому сплаві збільшився з 45000 до 180000, а в алюмінієвому сплаві рівні навантаження 280 Н/мм^2 збільшився з 7000 до 12000.

З проведеного попереднього аналізу можна зробити висновок, що механічна зміцнююча обробка отворів в зразках, з титанового сплаву ВТ6С та алюмінієвого сплаву Д16ЧТ, шляхом дорнування може збільшити їх втомну довговічність в декілька разів в порівнянні з зразками з незміцненими отворами.

Список використаних джерел:

1. Конструктивно-технологические методы повышения усталостной долговечности элементов конструкции планера самолета в зоне функциональных отверстий /Д.С. Кива, Г.А. Кривов, В.Ф. Семенцов, А.Г. Гребеников, В.А. Матвиенко, Е.Т. Василевский, А.М. Гуменный. - К: КВИЦ, 2015. - 188с.
2. Оценка влияния упрочнения отверстий в пластинах из титанового сплава на их усталостную долговечность/Г.А. Кривов, В.Н. Шулепов, Е.Г. Шитова, В.В. Харченко, В.Э.Филатов, А.Г. Маляр. Технологические системы. – 2009. – Выпуск 49. – С.113-116.
3. ГОСТ 25.502-79 Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость.
4. Піманов В.В., Тимошенко О.В., Бабак А.М. Исследование процесса дорнирования технологических отверстий в авиационном сплаве Д16ЧТ // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Машинобудування. – 2015. – №1 (75). – С.144-150.
5. Александров В.Г. Справочник по авиационным материалам. М.: Транспорт, 1972. – 328с.
6. Коваль В.В. Довговічність конструктивних елементів в умовах малоциклової втоми з урахуванням пошкоджуваності XIII Международная научно-техническая конференция "Прогрессивная техника и технология". Севастополь, 11-15 июня 2012 г.: Материалы конференции – Киев: 2012 г.
7. В. Вейбул. Усталостные испытания и анализ их результатов. – М.: Машиностроение, 1964. – 168 с.

УДК 519.6; 531 (075); 539.3

Шокрута М.С., *наук. кер. Рудаков К.М., д.т.н., проф.*

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», м. Київ, e-mail: shokruta_ms@ukr.net

ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПРОСТАВКИ ВЕРХНЬОЇ ГОЛОВНОГО ЦИРКУЛЯЦІЙНОГО НАСОСУ «ГЦН-195М» ПРИ СТАТИЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

На сьогоднішній день в Україні є 15 діючих енергоблоків атомних електростанцій (АЕС). Проектний строк експлуатації шести з них вже скінчився і продовжений після оцінки їх технічного стану. В 2022 році свій проектний ресурс вичерпають 12 із 15 енергоблоків. В зв'язку з цим сьогодні ведеться широка робота по продовженню ресурсу реакторних установок (РУ) АЕС. Одним з видів розрахунків, що входить в оцінку технічного стану РУ, є розрахунок на статичну міцність.

Для проведення розрахунків верхньої проставки головного циркуляційного насоса (ГЦН) методом скінченних елементів (МСЕ) з використанням тривимірних скінченних елементів (Solid) необхідно створити комп'ютерну тривимірну (3D) геометричну модель. Така модель була створена в CAD-системі КОМПАС-3D, далі з допомогою операцій експорту-імпорту передавалась в ANSYS. Створена 3D модель представлена на рис. 1. Побудова скінченно-елементної моделі виконувалась в середовищі ANSYS. Дана модель приведена на рис. 2 і має наступні характеристики якості:

Orthogonal quality – 0,8263; Skewness – 0,25868.

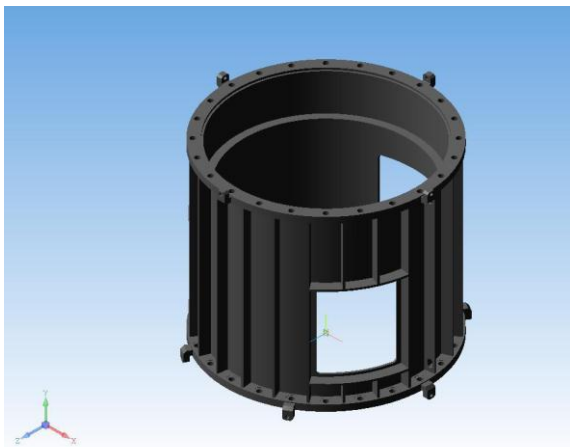


Рис. 1. Комп'ютерна геометрична 3-D модель верхньої проставки ГЦН

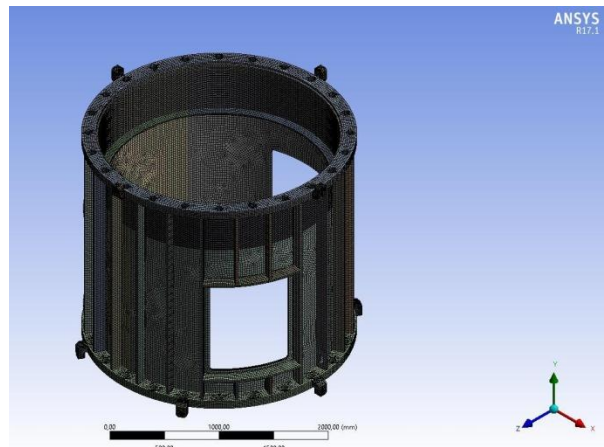


Рис. 2. Скінченно-елементна модель верхньої проставки

Основне навантаження, яке несе верхня проставка – це вага електродвигуна ВАЗ 215/109 – 6 А МО5, його маса 49800 кг, саме на це зусилля був виконаний розрахунок. Для більшої точності врахування діючих навантажень до розрахункової моделі були прикладені зусилля від натягу шпильок.

Тому сформульовані наступні граничні умови:

- відсутність вертикальних переміщень нижнього торця проставки;
- вага електродвигуна;
- зусилля від натягу шпильок.

Розрахункова схема приведена на рис. 3. На рис. 4 показані отримані в результаті розрахунку в програмному коді ANSYS 17.1 поля еквівалентних напружень за четвертою теорією міцності.

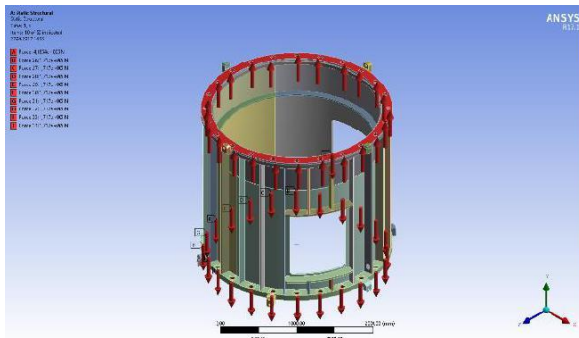


Рис. 3. Розрахункова схема верхньої проставки

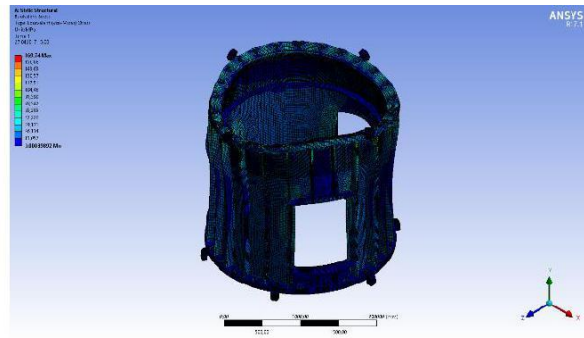


Рис. 4. Приведені напруження за четвертою теорією міцності, МПа

В подальшому результати даної роботи планується використовувати при оцінці технічного стану головних циркуляційних насосів четвертого енергоблоку Запорізької АЕС.

Список використаних джерел:

1. ПНАЭ Г-7-002-86. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок, 1989.
2. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: Учеб. пособ. / В.А. Бруйка, В.Г. Фокин, Е.А. Солдусова, Н.А. Глазунова, И.Е. Адеянов. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – 271 с.: ил.

УДК 539.3

Булка Т.Б.¹, *наук. кер.* **Бабенко А.Є.¹**, *д.т.н., проф.*, **Лавренко Я.І.¹**, *к.т.н., доц.*

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», м. Київ, e-mail: babenko.ae@gmail.com

РОЗРАХУНОК ХВИЛЬОВИХ ПЕРЕДАЧ

Підвищення потужностей машин і обладнання, при одночасному зменшенні їхніх габаритних розмірів, металомісткості, енергоспоживання є актуальною проблемою машинобудування. Найкращих показників приводу можна досягти, якщо застосувати механічні передачі з великим передатним відношенням і високим ККД, якими є хвильові передачі (ХП).

Дана робота присвячена створенню методики визначення напружено-деформованого стану (НДС) гнучкого колеса (ГК), яке розглядається, як тонкостінна циліндрична оболонка.

Спочатку була створена ефективна розрахункова модель гнучкого колеса та зубчастого вінця ГК хвильової зубчатої передачі по прикладу серійної ХП ХЗП-160. Далі виконано чисельне дослідження НДС в два етапи.

Перший етап – розрахунок гнучкого колеса, як оболонки. Результати на рис. 1, 2 на яких показано розподіл напруження в поперечному перерізі в зоні, відповідній розташуванню зубчастого вінця, при згині і крученні відповідно.

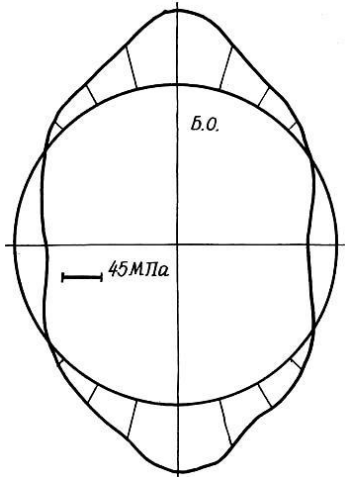


Рис. 1. Розподіл напружень в ГК, в круговому напрямі, у зоні зубчастого вінця. Згин.

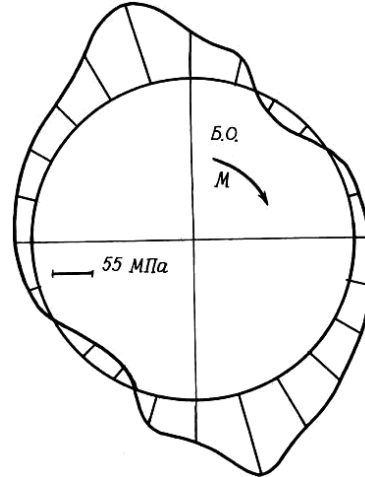


Рис. 2. Розподіл напружень в ГК, в круговому напрямі, у зоні зубчастого вінця. Кручення.

На другому етапі вирішується задача визначення напружено-деформованого стану в зубчастому вінці ГК ХЗП як тривимірна задача теорії пружності [1, 2] з використанням рішень першого етапу в якості граничних умов.

Аналіз НДС дозволив встановити наступне: еквівалентні напруження досягають максимуму в западині зуба зубчастого вінця і не перевищують 136 МПа при заданих робочих параметрах, на внутрішній стороні гнучкого колеса, тобто по нижній кромці зубчастого вінця напруження не перевищують 31 МПа, в зоні прикладання навантаження вони знаходяться на рівні 100 МПа. По твірній зубчастого вінця, яка проходить по западині зуба розподіл напружень носить слабо виражений сідловидний характер з явною симетрією відносно серединної зони розташування вінця.

Список використаних джерел:

1. Василенко Н.В., Бабенко А.Е., Каменичный И.Д., Чирков А.Ю. Эффективный метод решения трехмерной задачи теории упругости для ступенчато-призматических тел. – Киев, 1988. – 9 с. – Рукопись деп. в УкрНИИ-ИНТИ, № 706 УК88.
2. Марчук Г.И., Агошков В.И. Введение в проекционно-сеточные методы. - М.: Наука, 1981. – 416 с.

УДК 623.451:519.6

Каранкевич В. С., *наук. кер. Боронко О.О. д.т.н .проф.*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, e-mail: karankevic95@gmail.com, boronko@gmail.com**МАЯТНИКОВИЙ ГАСНИК КОЛИВАНЬ ВОДОНАПІРНОЇ ВЕЖІ**

Для гасіння коливань механічних систем використовують додаткові динамічні пристрої, які не входять в основний конструктивний ланцюг. Такі пристрої можуть бути корисні при коливаннях різних видів: повздовжніх, крутильних та згинних [1].

В даній роботі розглядається принцип роботи маятнікового гасника коливань водонапірної вежі (рис. 1, рис. 2) в залежності від зміни маси вежі з наступними параметрами:

$M = 1000 \text{ кг}$, $F_0 = 240 \text{ Н}$ $M_1 = 100 \text{ кг}$, частота поривів вітру при $10 \text{ м/с} = 0,4 \text{ Гц}$, $h = 20 \text{ м}$.

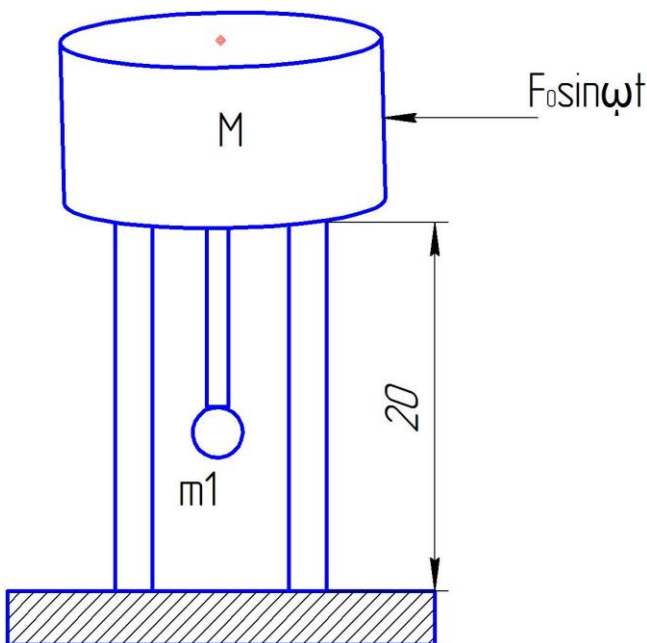


Рис. 1. Конструктивна схема вежі

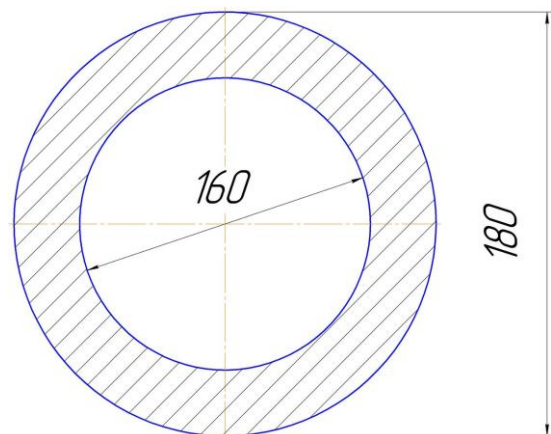


Рис. 2. Поперечний переріз опори

Опора: труба з зовнішнім діаметром $D = 180 \text{ мм}$; внутрішнім $d = 160 \text{ мм}$ (рис. 2). Момент інерції круглого перерізу:

$$I = 0.05D^4(1 - c^4) \quad c = \frac{d}{D}; \quad (1)$$

Реальна конструкція замінюється розрахунковою схемою з одним ступенем вільності (рис. 3) [2]. В залежності від зміни маси вежі визначається довжина маятника для гасіння коливань.

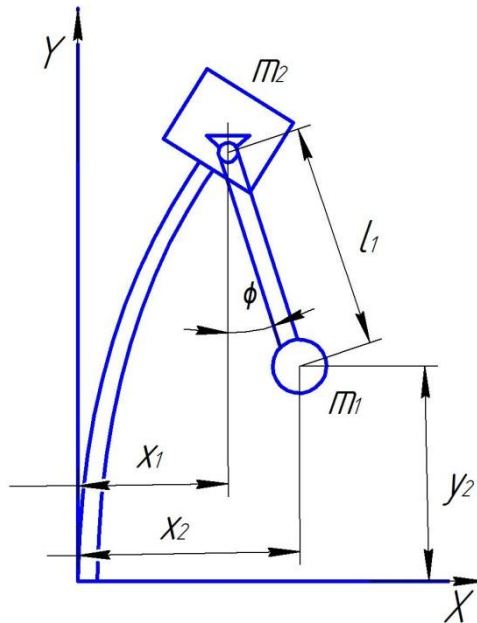


Рис. 3. Розрахункова модель

Визначення власних частот коливання вежі.

Сумарна жорсткість опор, з'єднаних паралельно:

$$c = c_1 + c_2 + c_3 + c_4 = 4c_1 = \frac{12EI}{l^3} = 6303.35 \frac{H}{cm}; \quad (2)$$

Власна частота:

$$\bar{\omega} = \sqrt{\frac{c}{m}} = \sqrt{\frac{6303.35}{1000}} = 2,510 \text{ } c^{-1}; \quad (3)$$

Частота поривів вітру $\nu = 0,4$ Гц. (при швидкості 10 м/с).

Колова частота зовнішньої сили:

$$\omega = 2\pi \cdot \nu = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,4 = 2,512; \quad (4)$$

$$F = 240 \sin 2,512t; \quad (5)$$

Спростимо задачу, розглянувши опори як єдиний стрижень (рис. 3).

Координати основної маси виражаємо через кут повороту маятника:

$$\begin{aligned} x_1 &= x_2 + l_1 \sin \varphi \\ y_1 &= l_1 (1 - \cos \varphi); \end{aligned} \quad (6)$$

Для виведення рівнянь малих коливань скористаємось методом Лагранжа:

$$\begin{aligned} T &= \frac{m_1 \cdot \dot{x}_1^2}{2} + \frac{m_1 \cdot \dot{y}_1^2}{2} + \frac{m_2 \cdot \dot{x}_2^2}{2} \\ \Pi &= m_1 g l (1 - \cos \varphi) + \frac{c x_2^2}{2} \end{aligned} \quad (7)$$

Після перетворень отримаємо систему диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} (m_1 + m_2) \ddot{x}_2 + c x_2^2 + m_1 l_1 \ddot{\varphi} = 240 \sin 2,512 t \\ m_1 l_1 \ddot{x}_2 + m_1 l_1^2 \ddot{\varphi} + m_1 g l_1 \varphi = 0 \end{cases} \quad (8)$$

Рішення будемо шукати у вигляді:

$$\begin{aligned}x_2 &= A \sin \omega t \\ \varphi &= B \sin \omega t\end{aligned}\quad (9)$$

Тоді за допомогою метода Крамера амплітуда коливань маси M_1

$$A = \frac{1}{\Delta} [F_0 (gl_1 - l_1^2 \omega^2) m_1], \quad (10)$$

де Δ - визначник системи диференціальних рівнянь.

З формули (10) витікає що амплітуда коливань вежі рівна нулю при:

$$\begin{aligned}gl_1 - l_1^2 \omega^2 &= 0; \\ \omega^2 &= \frac{g}{l_1}.\end{aligned}\quad (11)$$

Звідки:

$$l_1 = \frac{g}{\omega^2} = \frac{9.81}{2.512^2} = 1.55(\text{м}) \quad (12)$$

Отже для того щоб амплітуда коливань башти була наближена до нуля необхідно щоб довжина маятника була 1,55 метрів.

Але так як маса вежі не буде постійною, необхідно й змінювати довжину маятникового гасника.

Залежність між довжиною і масою:

$$l = \frac{m \cdot g}{c} = \frac{9.8}{6303.35} (м) \quad (13)$$

Представимо залежність у вигляді графіка (рис. 4).

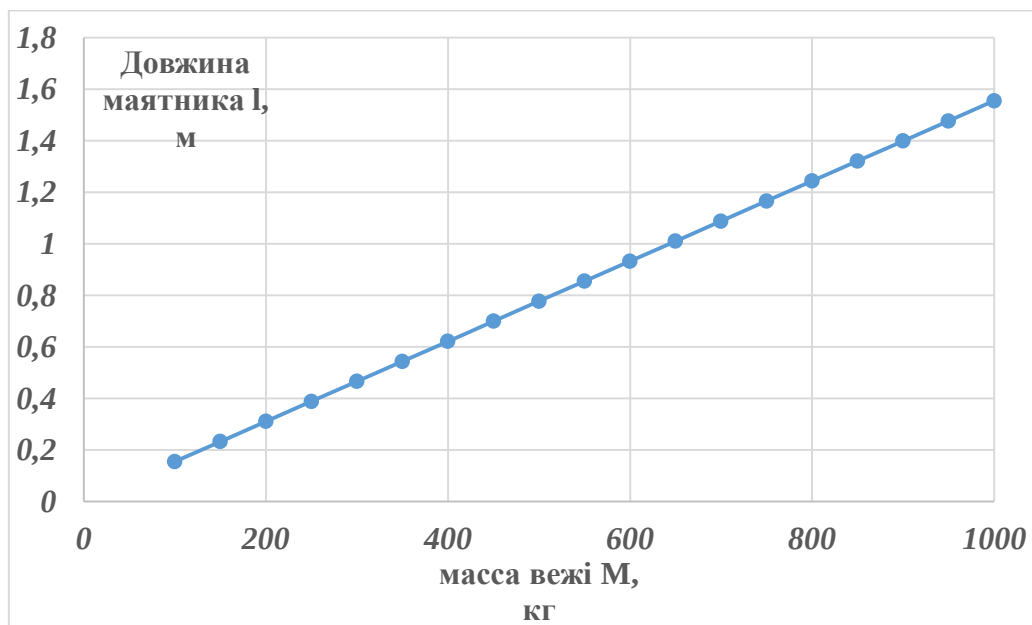


Рис. 4. Графік залежності довжини маятника від зміни маси

Висновок: Для повного погашення коливань основної маси власна частота коливань гасника повинна рівнятись круговій частоті збуджуючої сили.

$$p_1 = \omega \quad \text{або} \quad \omega^2 = \frac{g}{l_1}. \quad (14)$$

Список використаних джерел

1. Василенко М.В. Теория колебаний: Учебное пособие. – К.: Вища школа, 1992. – 430 с.
2. Светлицкий В.А. Стасенко И. В. Збірник задач з теорії коливань. – М.: Вища школа, 1973. – 451 с.

УДК 539.3

Яковлєва С.І.¹, *наук. кер. Лавренко Я.І.², к.т.н., доц.*

¹Спільний українсько-німецький факультет машинобудування Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» і університету ім. Отто-фон- Геріке м. Магдебурга, м. Київ, e-mail: sonyaigr@gmail.com

²Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», м. Київ, e-mail: lavrenko.iaroslav@gmail.com

РОЗРАХУНОК ТРИШАРОВИХ ПЛАСТИН ПРИ НАЯВНОСТІ ВЕЛИКИХ ЗСУВІВ СЕРЕДНЬОГО ШАРУ

Сонячні батареї зазвичай підлягають значним навантаженням внаслідок зміни погодних умов. Це можуть бути як навантаження внаслідок вітру чи опадів, так і циклічні денні чи сезонні зміни температури. Це може призводити до порушення герметичності між шарами, утворенню тріщин в крихких матеріалах і, як наслідок, до зниження ефективності. Тому чисельне моделювання та дослідження поведінки окремих шарів, як і всієї пластини, є необхідним та дуже актуальним питанням сьогодення [1, 2].

Типова структура сонячних батарей складається з зовнішніх шарів зі скла та внутрішніх – м'яких полімерних шарів, які виконують захисну функцію для дуже тонких та крихких кремнієвих сонячних панелей (рис. 1) [3, 4, 5].

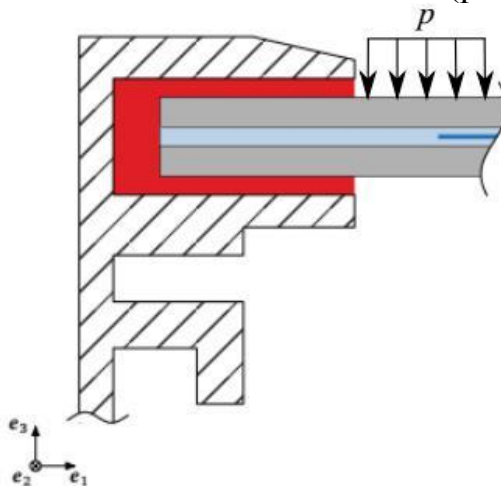


Рис. 1. Закріплення сонячної батареї [3]

Чисельне моделювання було проведено за допомогою програмного пакету ABAQUS в інституті механіки Отто-фон-Геріке Університету Магдебурга (Німеччина). На рис. 1 зображено типову структуру сонячної батареї, яка по периметру вбудована в алюмінієвий профіль, всередині якого знаходиться м'який прошарок. В даній задачі припускається, що всі шари композиту можуть довільно провертатись та переміщуватись в площині. Тому в якості граничних умов взято лише нульові переміщення в напрямку товщини на всіх чотирьох гранях в кожному з шарів.

Для дослідження збіжності результатів було побудовано п'ять скінченно-елементних сіток з різною кількістю елементів та проведено порівняння значень максимального прогину пластини для кожної сітки за різних температур. Результати наведені на рис. 2-4.

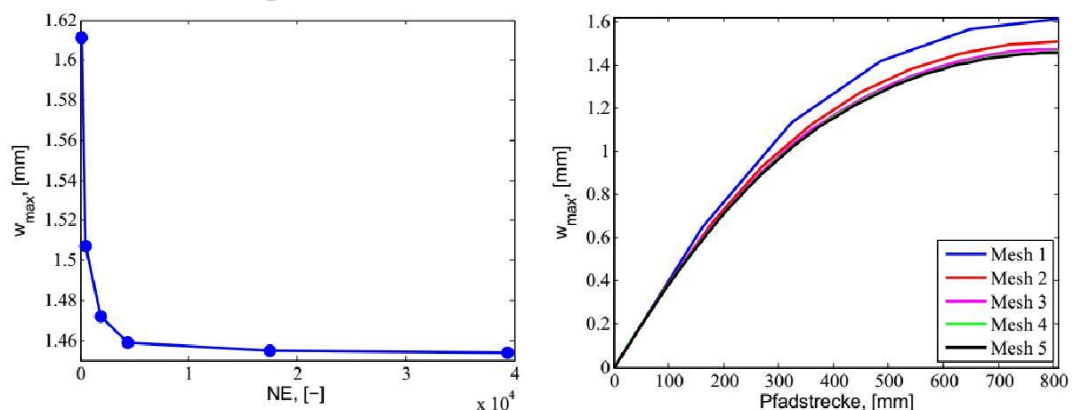


Рис. 2. Збіжність прогинів пластини, $T = +23\text{ }^{\circ}\text{C}$

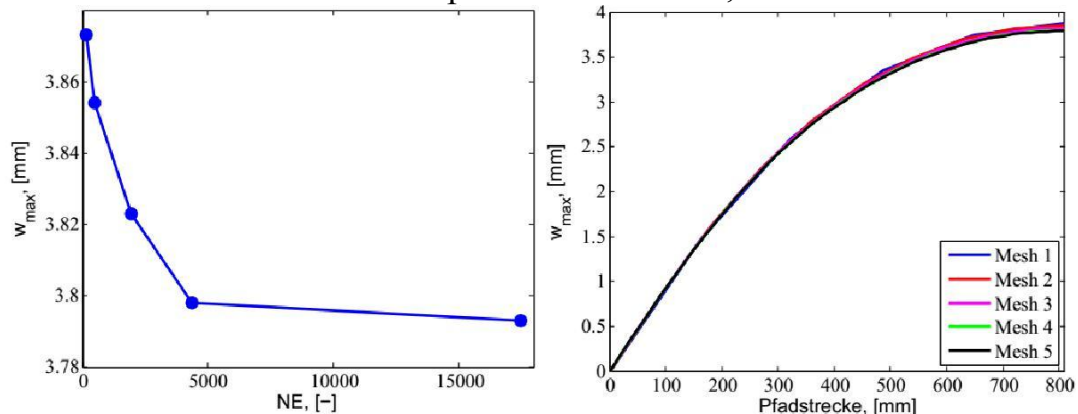


Рис. 3. Збіжність прогинів пластини, $T = +80\text{ }^{\circ}\text{C}$

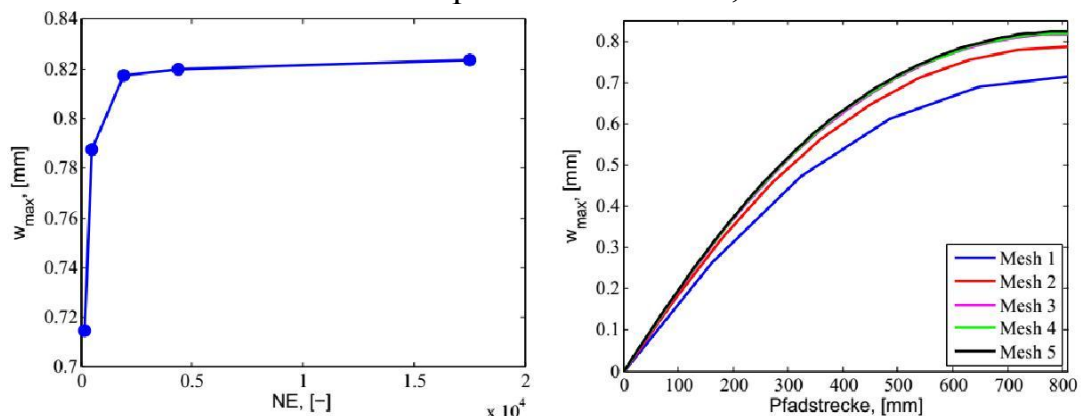


Рис. 4. Збіжність прогинів пластини, $T = -40\text{ }^{\circ}\text{C}$

Числові результати залежності максимального прогину пластини від кількості елементів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Основні результати розрахунків

№	NE	$w_{\max}$ (T=+23°C)	$w_{\max}$ (T=+80°C)	$w_{\max}$ (T=-40°C)
1	150	1,611	3,873	0,7149
2	486	1,507	3,854	0,7874
3	1944	1,472	3,823	0,8176
4	4374	1,459	3,798	0,8201
5	17496	1,455	3,793	0,8238

Як видно з рис. 2, рис. 3 та з табл. 1, максимальний прогин зменшується зі збільшенням кількості елементів. З фізичної точки зору така залежність не відповідає реальності, оскільки при більшій кількості елементів пластина мала б стати менш жорсткою. Відповідно, прогин мав би збільшуватись.

На противагу цьому при температурі -40°C збіжність показує фізично коректні результати, тобто зі згущенням сітки прогин зростає.

Список використаних джерел:

1. K. Naumenko und V. A. Eremeyev, „A layer-wise theory for laminated glass and photovoltaic panels“, Compos. Struct., Bd. 112, Nr. 1, S. 283–291, 2014.
2. S.-H. Schulze, M. Pander, K. Naumenko, und H. Altenbach, „Analysis of laminated glass beams for photovoltaic applications“, Int. J. Solids Struct., Bd. 49, Nr. 15–16, S. 2027–2036, 2012.
3. M. Aßmus, K. Naumenko, und H. Altenbach, „A multiscale projection approach for the coupled global-local structural analysis of photovoltaic modules“, Compos. Struct., Bd. 158, S. 340–358, 2016.
4. J. Eisenträger, K. Naumenko, H. Altenbach, und H. Köppe, „Application of the first-order shear deformation theory to the analysis of laminated glasses and photovoltaic panels“, Int. J. Mech. Sci., Bd. 96–97, S. 163–171, 2015.
5. J. Eisenträger, K. Naumenko, H. Altenbach, und J. Meenen, „A user-defined finite element for laminated glass panels and photovoltaic modules based on a layer-wise theory“, Compos. Struct., Bd. 133, Nr. December, S. 265–277, 2015.

УДК 535.2:536.4

Сависько О.С., наук. керівник Кришук М.Г, д.т.н., проф,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», м. Київ, e-mail: krys@ukr.net

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОАБЛЯЦІЇ КЛІТИН ПЕЧІНКИ ЛЮДИНИ З МЕТОЮ ОЦІНКИ ДЕСТРУКЦІЇ ПУХЛИН

Вступ. В сучасному світі рак печінки входить до першої десятки найрозповсюдженіших онкологічних захворювань. Первинним називають рак, який розвивається саме з печінкових клітин, і зустрічається він набагато рідше, ніж рак вторинний (метастатичний) – коли ракові клітини пухлин інших органів мігрують з током крові в різні частини тіла, зокрема в печінку [1].

Термічна абляція – це техніка точкового руйнування пухлинних клітин в організмі з використанням радіочастотної енергії, зі збереженням функцій навколишніх тканин та органів [2]. Під контролем ультразвукового сканера або комп'ютерного томографа в центр пухлинної тканини крізь шкіру вводять електрод голчастого типу, який нагрівають до певної температури, спричиняючи таким чином руйнування злоякісних клітин. Експериментальні дослідження теплофізичних процесів печінки проводились Кориченським О.М. (Українська Асоціація фахівців з ультразвукової діагностики, www.ultrasound.net.ua) для умов локалізованого електротермічного нагріву прототипів-аналогів тваринного походження *ex vivo* без урахування відводу тепла рідиною крові.

Для ефективного і безпечного процесу термічної абляції печінки, максимальна температура стінки повинна бути меншою, ніж 43°C, щоб уникнути денатурації білків і загибель клітин.

Мета дослідження. Визначити температурний стан та час деградації тканин печінки *ex vivo* та *in vivo* в околі відстані 11 мм від нагрівального елемента (електроду).

Матеріали та методи. Для вирішення задачі нестационарної теплопровідності побудована імітаційна модель контрольованого об'єму тіла печінки *ex vivo* та *in vivo*, яка представлена у вигляді паралелепіпеду з характерними розмірами: висота 30мм, ширина 40мм, довжина 50мм. Теплофізичні властивості тканин печінки (табл.1), що використані в даній роботі досліджені в межах експериментально визначеного фізіологічного діапазону фізико – механічних властивостей та представлені середньостатистичними величинами.

Таблиця 1. Теплофізичні властивості тканин печінки (усереднені літературні дані)

Густина ρ , г/см ³	Теплопровідність λ , Вт/(м · К)	Теплоємність C , Дж/(кг · К)
1,06	0,49	3024

Під час дослідів температура зовнішнього середовища була кімнатною - 24°C , тому зовнішня поверхня печінки мала постійну температуру (рис. 1а).

В середину моделі помістили сталений стрижень круглого поперечного перерізу (електрод) з діаметром 3мм, початкова температура якого була 24°C (рис 1В). За умовами чисельного експерименту електрод протягом перших 97 секунд нагрівався від 24°C до 70°C за лінійним законом (рис. 2) та мав сталу температуру 70°C в подальшому часовому діапазоні.

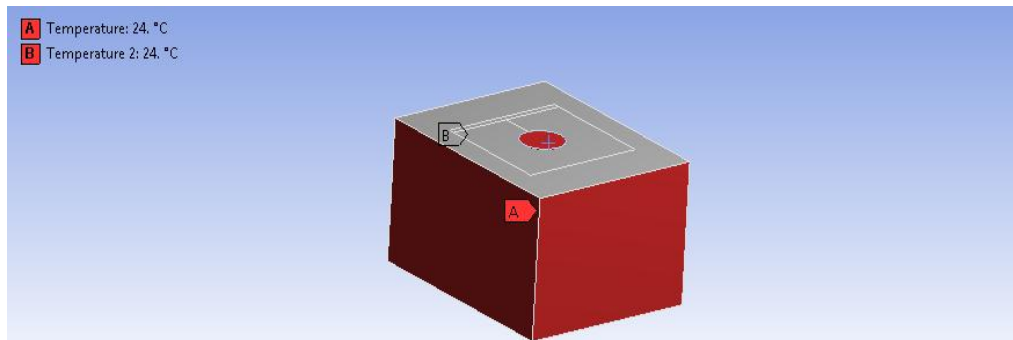


Рис. 1. Граничні та початкові умови для імітаційної моделі печінки та тіла електроду

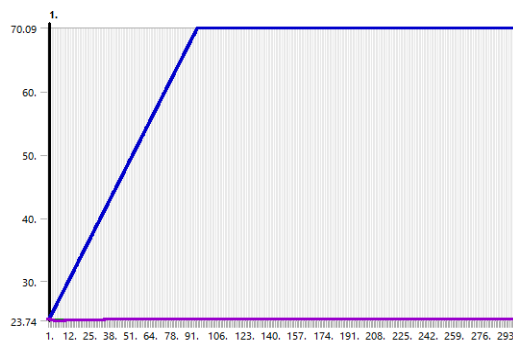


Рис. 2. Закон зміни температури електроду при нагріві тіла печінки

За рахунок теплопровідності тепло поширювалось від електроду всередині тіла печінки. Протягом залишкового часу температура на електроді підтримувалася постійна 70°C , а тепло розповсюджувалося всередині печінки від центра в напрямку зовнішньої поверхні печінки, збільшуючи температуру в кожній точці печінки. Поширення теплоти і зміна температури точок відбувались доти, поки не встановилась теплова рівновага.

При побудові імітаційної моделі та проведенні чисельних експериментів використана учбова версія програми інженерного аналізу *WB ANSYS 17.2* [4]. Проведено три варіанти нестационарного нагрівання моделі тканин печінки *ex vivo*, з інтервалом у 200 секунд. Протягом першого дослідів процес нагрівання та розповсюдження тепла тривав загалом 200 секунд, другий та третій дослідів – у вигляді концентричних кіл різного діаметру в плоского перетині системи сполучених тіл (рис. 3).

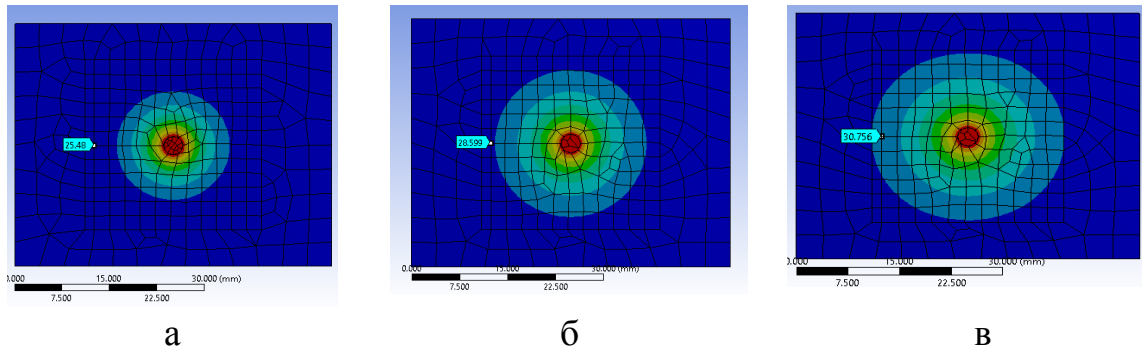


Рис. 3. Температурні поля при локальному нагріванні тіла печінки протягом 200 сек (а), 400 сек (б), та 600 сек (в)

В першому наближенні відтворено модель печінки *in vivo*, яка має однорідну температуру 38°C. За умовами даного чисельного експерименту електрод нагрівався на протязі 113 секунд від 38°C до 92°C, а потім температура його залишалась сталою. Встановлено, що через 240 секунд після початку прогрівання тіла печінки відбувається деструкція її тканин. Температура вище 41°C буде в межах кола з радіусом 12,5мм, з яких 1,5мм – радіус електроду. Тобто, фактично відбувається деструкція живих тканин з пухлиною на відстані 11мм від краю нагрівального елемента.



Рис.4. Залежність температури тканин печінки від часу нагрівання для двох точок: 5,5 мм та 11 мм від краю електроду

Висновки

1. Створені розрахункові схеми для оцінки процесів термоабляції біологічних тканин потребують уточнення енергетичних характеристик нагрівача, використання нелінійних математичних моделей термодифузії з урахуванням переносу тепла рідиною крові.

2. Проведені чисельні експерименти для визначення температури тканин печінки *ex vivo* на відстані 11мм від поверхні нагрівного елемента (електроду) використані при вивченні закономірностей змін її теплового стану експериментальними методами.

3. Встановлена кінетика змін температур печінки в околі нагрівача визначеної потужності для процесів дифузії тепла в часовому діапазоні від 200с до 600с.

4. Необхідний час локального нагріву тіла печінки *ex vivo* вибраним типом електроду з використанням спрощеної математичної моделі для досягнення температури деструкції її тканин становить 1250 секунд.

5. В першому наближенні необхідний час локального нагріву печінки *in vivo* вибраним типом електроду з використанням спрощеної моделі для досягнення температури деструкції її тканин становить 240 секунд.

Список використаних джерел:

1. <https://www.euroonco.ru/oncology/onkologiya-zhkt/rak-pecheni>
2. <http://www.hadassah.ru/o-klinike/novosti/radiochastotnaja-destrukcija-opuholevyh-kletok.aspx>
3. Коваленко А. Д. Введение в термоупругость / Анатолий Дмитриевич Коваленко. – Киев, Наукова думка, 1965. – 204 с
4. <http://www.ansys.com/products/academic/ansys-student>

УДК 539.3

Лосєв В.О., *наук. кер. Бабак А.М., асистент*

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: a.babak@kpi.ua

ВПЛИВ ДОРНУВАННЯ НА ВТОМНУ МІЦНІСТЬ ПРИ РІЗНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

Механічні з'єднання, в які входять болти, заклепки або штифти, широко використовуються в конструкціях, особливо в літаках. Такі з'єднання, незалежно від того, чи є вони постійними (наприклад, з заклепувальним з'єднанням) або тимчасовими (наприклад, за допомогою шарнірного з'єднання) вимагають використання просвердлених отворів. Однак ці з'єднання за своєю природою уразливі до втоми, оскільки наявність отвору викликає концентрацію навантаження, і, таким чином, навантаження викликають локалізоване збільшення напруження.

Одним із способів, збільшення терміну служби конструкцій в умовах дії циклічних навантажень розтягу (втома) є внесення позитивного стискаючої залишкового напруження навколо отвору, що може бути досягнуто дорнуванням. Для цього через отвір примусово протягується або конусоподібний штифт [1, 2] для негабаритного об'єкта, або кулька [3, 4] для інших об'єктів. Це дозволяє створити в матеріалі зону пластичності та віддалити від краю отвору область максимальних (небезпечних) напружень, що виникають під час роботи конструкції.

Крім того, тертя кульки або штифта вздовж поверхні отвору може згладити його поверхню, що, в свою чергу, може справити позитивний вплив на збільшення довговічності. Але такий метод обробки отворів може викликати їх поверхневе пошкодження. З метою запобігання виникнення даного негативного явища між поверхнею отвору та доном встановлюється змащена тверда або роздільна втулка.

Для оцінки впливу процесу дорнування технологічних отворів на малоциклову втому використовувалися плоскі веслоподібні зразки з алюмінієвого сплаву Д16ЧТ товщиною 5 мм з центральним отвором (ГОСТ 25.502-79) (рис. 1) та випробувальний стенд Ві-02-112.

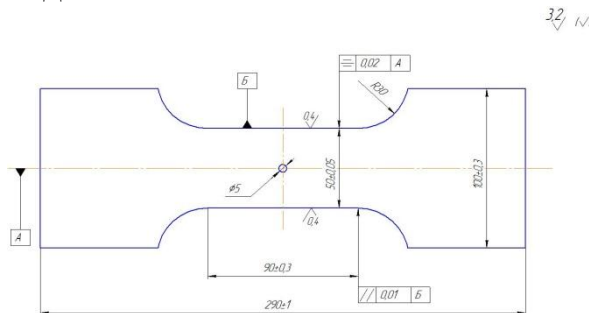
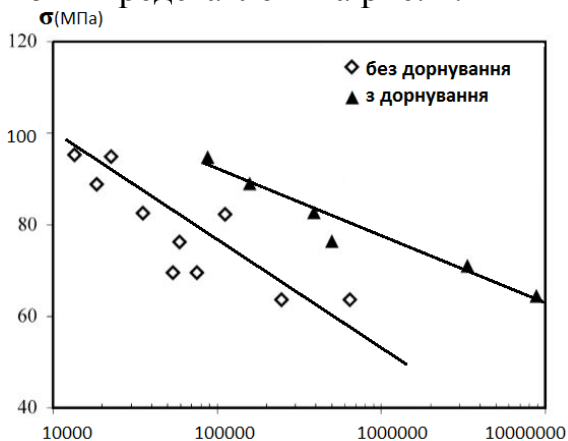


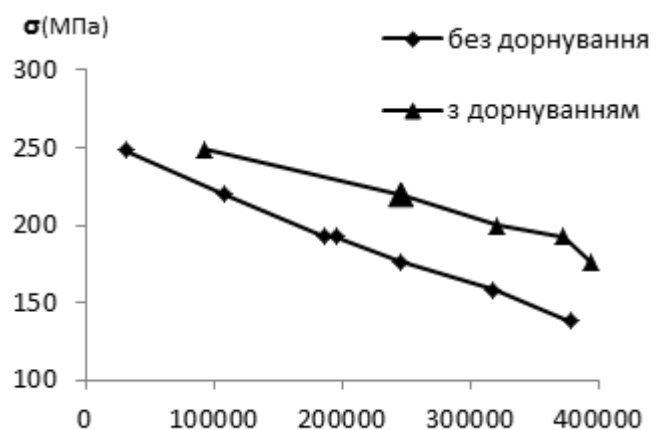
Рис. 1. Зразок для досліджень на малоциклову втому

Технологічний процес дорнування зразків до 3% пластичної деформації проводився відповідно до методики [5].

Визначення залежності кількості циклів до руйнування зразків від рівня пластичної деформації, що виникає в отворах після дорнування, проводилося при величині напружень розтягу 150...270 МПа [6]. Відповідні криві циклічної втоми представлені на рис. 2.



а)



б)

Рис. 2. Криві циклічної втоми:

а) при малих рівнях напружень [7], б) при середніх рівнях напружень [8]

Використовуючи отримані експериментальні дані за допомогою регресійного аналізу була отримана залежність значення кількості циклів до руйнування N_R при різних ступенях напруження та рівня пластичної деформації при дорнуванні. Дана залежність була степенева та має вигляд:

$$N_R \approx e^{114,76} \cdot \sigma_{\max}^{-5,45} \cdot (\varepsilon^p)^{-46,96}$$

При аналізі експериментальних результатів [7, 8], було розглянуто вплив процесу дорнування на збільшення ресурсу конструкційних матеріалів, при різних видах напруження, розглядався недорнований та дорнований зразки при малих (60...100 МПа) та середніх напруженнях (150...250 МПа). Як видно на наведених залежностях кількості циклів від значень напружень (рис. 2), дорнування позитивно впливає на збільшення кількості циклів до руйнування, як для діапазону напруження (60...100 МПа) так і при більших рівнях напружень (150...250 МПа). Також з вищенаведених графіків видно, що у дорнованого зразка кількість циклів до руйнування значно більше ніж у дорнованого, що свідчить про суттєве зростання ресурсу конструкції.

Висновок. Використання описаного процесу зміцнення отворів позитивно впливає на продовження ресурсу конструкцій та матеріалів, які працюють в широкому діапазоні навантажень.

Список використаних джерел:

1. Chandawannich N, Sharpe Jr WN. An experimental study of fatigue crack initiation and growth from cold worked holes. *Engineering Fracture Mechanics*. – 1979. – №1(1). – PP. 609-20.
2. Link RE, Sanford RJ. Residual strains surrounding split-sleeve cold expanded holes in 7075-T651 Aluminium. *J Aircraft*. – 1990. – №27(7). – PP. 599-604.
3. Lai MO, Siew YH. Fatigue properties of cold worked holes. *Journal of Material Processing Technology*. – 1995. – №48. – PP. 533-534.
4. Lai MO, Oh JT, Nee AYC. Fatigue properties of holes with residual stresses. *Engineering Fracture Mechanics*. – 1993. – №45(5). – PP. 551-557.
5. Конструктивно-технологические методы повышения усталостной долговечности элементов конструкции планера самолета в зоне функциональных отверстий /Д. С. Кива, Г. А. Кривов, В. Ф. Семенцов, А.Г. Гребеников, В. А. Матвиенко, Е. Т. Василевский, А. М. Гуменный. – Киев: КВИЦ, 2015. – 188 с.
6. Піманов В.В., Тимошенко О.В., Бабак А.М. Исследование процесса дорнования технологических отверстий в авиационном сплаве д16чт // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Машинобудування. – 2015. – №1 (75) – С.144-150.
7. T. N. CHAKHERLOU, J. VOGWELL :The effect of cold expansion on improving the fatigue life of fastener holes. *Engineering failure analysis-Elsevier*. – 2003. – vol. 10. – PP. 13-24.
8. Втомна довговічність функціональних отворів силових конструктивних елементів. Тимошенко О.В., Бабак А.М., Федосенко П.В. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». Стр 184-187 II International scientific-practical conference "Current technologies of industrial complex – 2016" September 14, 2016 - September 18, 2016

УДК 539

Рубашевський В.В.¹, Заразовський М.М.², к.т.н., наук. керв. *Шукаєв С.М.¹*, д.т.н., проф.

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: viktorrub21@ukr.net

²Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України

ОЦІНЮВАННЯ МІЦНОСТІ ВУГЛЕПЛАСТИКА ПРИ СКЛАДНОМУ НАПРУЖЕНО ДЕФОРМОВАНОМУ СТАНІ

Композити мають властивості, якими не володіють його компоненти. Варіюючи кількістю зміцнюючої фази, її розподілом в матриці, можна створювати, тобто конструювати, матеріали (або безпосередньо деталі) з наперед заданими характеристиками для певних умов експлуатації. Найбільшого розповсюдження серед композитів набрали шаруваті композиції, головною перевагою яких є надання матеріалу конкретної анізотропії механічних властивостей — шляхом вибору кількості шарів та їх напрямів укладання один відносно одного.

Розрахунок шаруватих композитів на напружено деформований стан потребує в першу чергу визначення ефективних пружних констант для пакету шарів, які визначаються як коефіцієнти, що пов'язують осереднені по об'єму компоненти тензорів напружень і деформацій, після чого можна перейти до оцінки міцності композиту в цілому.

В роботі дотримувались наступних позначень характеристик пружності $E_1, E_2, G_{12}, \nu_{12}$ — відповідно, модулі Юнга в напрямках 01 і 02 , зсуву в площині 102 і головний коефіцієнт Пуассона.

На рис. 1 показано приклад укладання шарів під різними кутами і дві системи координат: локальна 123 для кожного окремого шару, і глобальна xuz для цілого пакету шарів.

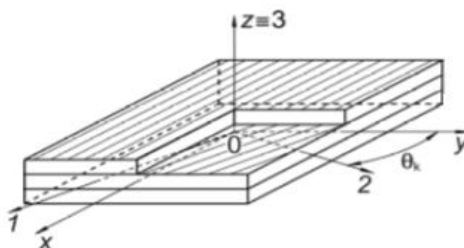


Рис. 1. Структура шаруватого композиту

За об'єкт дослідження було обрано ортотропний шаруватий вуглепластик зі схемою армування $[90^\circ/\pm 45^\circ/0^\circ]_s$ AS4/3501-6.

Для визначення ефективних характеристик пружності використовувався підхід Л.П. Хорошуна [4] згідно з яким компоненти тензора ефективної жорсткості шару, які виражаються через відповідні пружні константи $E_1, E_2, G_{12}, \nu_{12}, G_{23}$ усереднені за об'ємом для обраної композиції шарів. Після переходу від тензора ефективної жорсткості до матриці ефективної жорсткості отримаємо ефективні константи пружності матеріалу [1,5].

$$E_x = 1/A_{11}, E_y = 1/A_{22}, E_z = 1/A_{33}, G_{xy} = 1/A_{66}, G_{xz} = 1/A_{44},$$

$$G_{yz} = 1/A_{55}, \nu_{xy} = -A_{21}/A_{11}, \nu_{xz} = -A_{31}/A_{11}, \nu_{yz} = -A_{32}/A_{22}. \quad (1)$$

де $[A] = [\lambda]^{-1}$ — тензор ефективної піддатливості [1,5].

Механічні характеристики армованого шару композиту розміщені в таблиці 1. Усі характеристики були визначені експериментально [2].

Таблиця 1. Механічні характеристики армованого шару композиту

E_1 (ГПа)	E_2 (ГПа)	G_{12} (ГПа)	ν_{12}	σ_{+1} (МПа)	σ_{-1} (МПа)	σ_{+2} (МПа)	σ_{-2} (МПа)	τ_{12} (МПа)
126	11	6,6	0,28	1950	1480	48	200	79

Для прикладу знайдемо значення ефективного модуля пружності E_x для даного композиту.

$$\langle \lambda_{ij} \rangle = [2\lambda_{ij}^{90} + 2\lambda_{ij}^{-45} + 2\lambda_{ij}^{45} + 2\lambda_{ij}^0] \cdot \Delta h / H$$

$$\lambda_{11}^0 = m^4 \lambda_{11} + 2m^2 n^2 (\lambda_{12} + 2\lambda_{66}) + 4mn (m^2 \lambda_{16} + n^2 \lambda_{26}) + n^4 \lambda_{22}$$

де $\Delta h, H$ – товщина моношару і композиту,

λ_{ij}^0 – параметри жорсткості шарів ($i, j=1, 2, \dots, 6$) повернених на кут θ відносно локальної системи координат,

$\langle \lambda_{ij} \rangle$ – компоненти матриці осереднених жорсткостей, $n = \sin(\theta)$, $m = \cos(\theta)$,

$$H = 1, \Delta h = 0,125,$$

$$E_x = [2 \cdot 126 + 2 \cdot 45,68 + 2 \cdot 45,68 + 2 \cdot 11] \cdot 0,125 = 57,09 \text{ ГПа}$$

Аналогічно визначаються інші пружні характеристики. Результати розрахунку характеристик обраного композиту наведені у таблиці 2.

Таблиця 2. Розрахункові значення ефективних пружних констант

E_x (ГПа)	E_y (ГПа)	E_z (ГПа)	G_{xy} (ГПа)	G_{yz} (ГПа)	G_{xz} (ГПа)	ν_{xy}	ν_{yz}	ν_{xz}
57,09	57,09	10,1	19,76	6,6	6,6	0,288	0,276	0,276

Після отримання ефективних констант пружності шаруватого композиту можемо перейти до оцінювання міцності даного вуглепластика при різних типах навантажування.

Розрахунок проводився за методом поступового навантаження композиту із руйнуванням шарів від першого зруйнованого і до тих пір поки пакет шарів не втрачав свою несівну здатність повністю. При цьому дотримувались таких припущень [1]:

1. Всі шари композиційного матеріалу являються лінійно пружними аж до остаточного його руйнування.
2. При деформуванні композита має жорстке з'єднання між сусідніми шарами.

3. В процесі руйнування окремих шарів зв'язок між шарами не порушується.
4. Має місце однорідність поля деформацій по товщині композита та однорідність компонент тензора локальних напружень в кожному шарі.
5. Якщо в процесі деформування шару одна з компонент тензора напруження досягла відповідної границі міцності, то в цьому напрямку шар перестає чинити опір деформуванню.

Повністю весь розрахунок починаючи від визначення констант пружності і закінчуючи оцінкою несівної здатності проводився у системі MathCad. В таблиці 3 показані розраховані таким чином характеристики міцності і аналогічні величини визначені із випробувань зразків [3], де c – відношення між більшим і меншим напруженням.

Таблиця 3. Порівняння розрахункових і експериментальних значень напружень руйнування

№	c	Результати випробувань		Розрахункові дані		Похибка δ , (%)
		σ_x (МПа)	σ_y (МПа)	σ_x (МПа)	σ_y (МПа)	
1	-1,813	-369,45	203,73	-439,5	242,41	18,96
2	-1,112	-281,19	312,73	-374,37	416,2	33,14
3	-1,813	-213,46	387,1	-309,54	561,1	45,01
4	-1,608	-248,35	399,32	-330,76	531,86	33,18
5	-1,348	-300,69	405,43	-352,19	474,75	17,13
6	-2,208	-232,96	514,44	-261,5	577,4	12,25
7	-8,91	-87,23	777,26	-70,6	629,1	19,06
8	-22,44	-28,73	644,83	-22,13	495	22,97
9	2	857,4	428,7	770,5	385,25	10,14
10	18,654	721,9	38,7	662	35,49	8,23
11	3,078	677,1	220	723,9	235,23	6,91
12	3,616	730,5	202	712,1	196,96	2,52
13	37,436	677,6	18,1	656,4	17,53	3,13
14	14,222	46,9	667	46,79	665,5	0,24
15	4,588	172,2	790	152,18	698,2	11,62
16	20,056	35,8	718	33,99	681,8	5,06
17	5,577	124,8	696	123,6	689,3	0,96
18	13,266	54,5	723	50,24	666,53	7,82
19	3,04	254	774	237,87	724,78	6,35
20	1,887	450	849	412,86	779,06	8,25
21	1,801	504	908	436,38	786,36	13,42
22	1,331	728	969	637,76	848,86	12,4
23	3,358	-638	-190	-651,5	-194,02	2,12
24	-	0	652	0	651	0,15
25	-	-537	0	-532	0	0,93

Як бачимо, розглянутий метод дає змогу з високою точністю оцінити напруження руйнування за одновісного навантаження (похибка не перевищує одного відсотка). За умов двовісного навантажування (складний напружений стан) метод дав гірші результати. З представлених результатів видно, що найбільші похибки отримані в розрахунках на двовісне розтягування із стисканням ($\delta = 12 \dots 45\%$). За умов двовісного розтягання порівняння результатів розрахунку і експерименту продемонструвало кращу кореляцію, в цих випадках похибка варіюється в межах $0,24 \dots 13,42\%$.

Список використаних джерел

1. Заразовський М. М. Деформування і міцність шаруватих вуглепластиків при кімнатній і криогенних температурах : дис. канд. техн. наук : 01.02.04 / Заразовський Максим Миколайович – Київ, 2009. – 145 с.
2. Soden P.D., Hinton M.J. & Kaddour A.S. Lamina properties, lay-up configurations and loading conditions for a range of fibre-reinforced composite laminates. *Composites Science and Technology* 58 (1998) 1011±1022
3. P. D. Soden, M. J. Hinton & A. S. Kaddour . Biaxial test results for strength and deformation of a range of E-glass and carbon fibre reinforced composite laminates: failure exercise benchmark data. *Composites Science and Technology*. – 2002. – Vol. 62. – 1489-1514.
4. Механика композитов. В 12 т. / Под ред. А.Н. Гузя. Том 3. Статистическая механика и эффективные свойства материалов / Под ред. Л.П. Хорошуна. – К.: Наукова думка, 1993. – 390 с.
5. Кристенсен Р. Введение в механику композитов / Пер. с англ. Под ред. Ю.М. Тарнопольского. – Москва: Мир, 1982. – 334 с.

УДК 004.942:623.565:623.451.2

Фепа В.В., наук. кер. Сидоренко Ю. М, д.т.н., доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: yura_michael@ukr.net

ПРОЦЕС ФОРМУВАННЯ ЗАГАЛЬНОГО КУТА РОЗЛЬОТУ ТА ШВИДКОСТІ РУХУ ОСКОЛКОВОЇ МАСИ ДВОХ ДИСКІВ ЗМІННОЇ ТОВЩИНИ ПРИ ВИБУХОВОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Практично кожен день в світі відбувається терористичний акт з використанням вибухового пристрою (ВП). Одним з найбільш небезпечних для здоров'я людини є осколкове поле, що формується або в результаті руйнування корпусу ВП, або за допомогою готових уражаючих елементів.

Під час проведення судової вибухотехнічної експертизи експерт-криміналіст повинен дати відповідь на велику кількість питань [1-2]. Для цього використовуються різноманітні математичні апарати та експериментальні ме-

тоди досліджень. Оскільки вартість проведення таких експериментів досить висока, все частіше застосовуються методи комп'ютерного моделювання.

В даній роботі представлені результати математичних досліджень, метою яких було встановлення небезпечної зони осколкового ураження ВП, а саме величини осової швидкості руху та загального кута розльоту осколків. Розрахункові схеми конструкцій металевих блоків зображені на рис. 1.

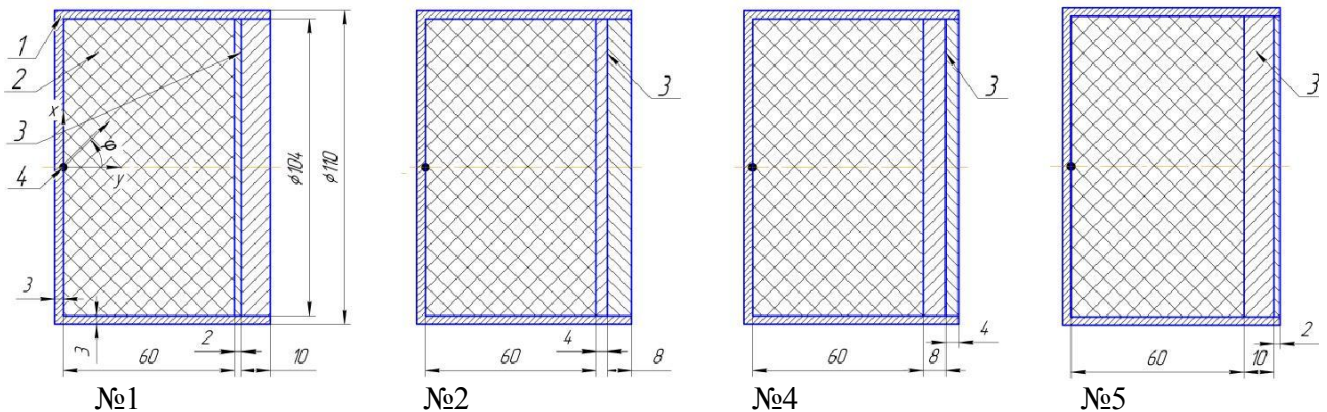


Рис. 1. Розрахункові схеми конструкцій металевих блоків з осколковими дисками природнього дроблення: №1 – 2-10 мм, №2 – 4-8 мм, №4 – 8-4 мм, №5 – 10-2 мм, 1 – корпус, 2 – заряд вибухової речовини, 3 – осколкові диски, 4 – місце ініціації детонації заряду вибухової речовини

Всі представлені на рис. 1 конструкції мають циліндричний корпус 1 товщиною стінки 3 мм із закритим дном. Діаметр його зовнішньої поверхні становить 110 мм. В середині корпусу 1 розміщується заряд вибухової речовини 2 (ВР) вибухова суміш Н-6 (RDX-40% (гексоген), TNT-30% (тринітротолуол), Al-20%, Wax-10% (пластифікатор) густиною $\rho = 1760 \text{ кг/м}^3$, швидкістю детонації $D = 7470 \text{ м/с}$, тиском на фронті детонаційної хвилі $P_{CJ} = 29 \text{ ГПа}$.

В місці контакту торцевої поверхні заряду ВР та внутрішньої поверхні дна корпусу на їх осі симетрії знаходиться точка ініціації детонації 4. В контакті з протилежним торцем заряду ВР знаходиться осколковий диск природнього дроблення. Схема №1 (рис.1), з умовною назвою 2-10 мм означає, що в контакті із зарядом знаходиться диск товщиною 2 мм (внутрішній диск), а за ним, встановлений диск товщиною 10 мм (зовнішній).

Аналогічно і для інших схем: схема №2, 4-8мм, внутрішній диск 4мм, зовнішній – 8мм, схема №4, 8-4мм, внутрішній – 8мм, зовнішній – 4мм і схема №5, 10-2мм, внутрішній – 10мм, зовнішній – 2мм. Схема №3, 6_6мм, на рис. 1 не показана, тому що процес формування кута розльоту та швидкості руху осколкової маси досліджено в роботі [11].

Для розв'язання поставленої задачі використовувався метод математичного скінченно-елементного моделювання за допомогою комп'ютерної програми "ANSYS/LS-DYNA" [3-7].

В математичній моделі задачі розширення продуктів детонації (ПД) заряду ВР описувалось за допомогою рівняння стану у формі Джонса-Уілкінса-Лі

(JWL). Поведінка повітря з початковим значенням густини $\rho_0 = 1,26 \text{ кг/м}^3$ описувалось рівняння стану у формі лінійного поліному [11].

Для матеріалу корпусу металевих блоків та осколкових дисків була обрана сталь 20, що має такі параметри: $\rho=7850 \text{ кг/м}^3$, $E=210 \text{ ГПа}$, $\mu=0,33$, $\sigma_T=288 \text{ МПа}$, $E_t=1 \text{ ГПа}$.

Підсумковий розподіл значень меридіонального кута розльоту маси осколкових та її швидкості руху для різних конструкційних схем ВП представлено на рис. 2.

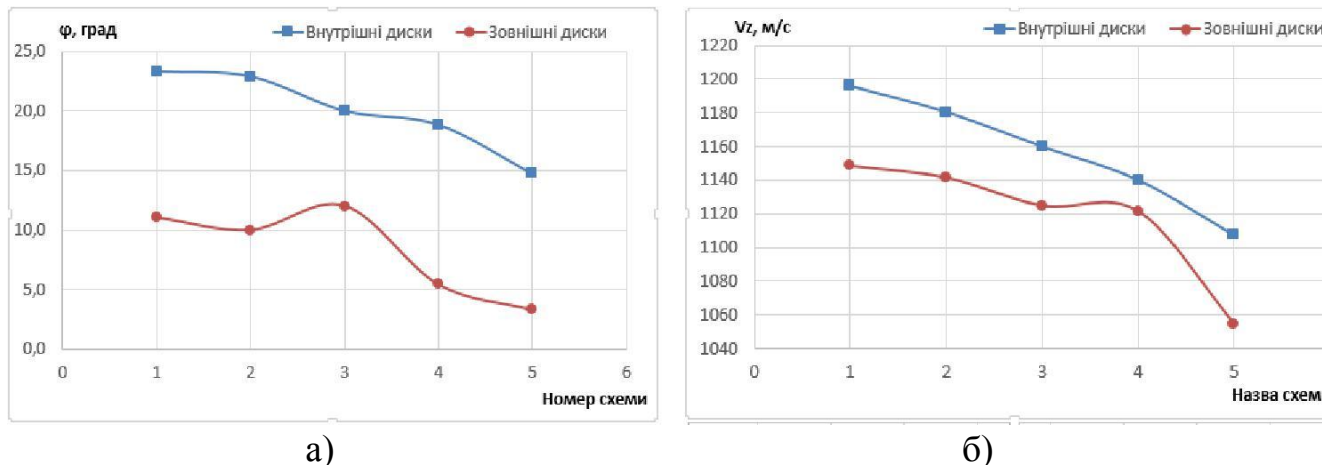


Рис. 2. Підсумковий розподіл значень меридіонального кута розльоту (а) маси осколкових дисків та її осьової швидкості руху (б)

За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Найбільші значення кута розльоту осколкової маси та її осьової швидкості руху має схема №1 які становлять 23,3 град. і 1196 м/с відповідно. Найменші значення даних параметрів має схема №5 (15 град. і 1050 м/с).

2. При збільшенні товщини внутрішнього осколкового диску і, відповідно, зменшення зовнішнього, значення кута розльоту осколкової маси зменшується практично за лінійним законом з коефіцієнтом 1 град/мм.

3. Отримана залежність зміни величини меридіонального кута розльоту від товщини осколкових дисків у блоці добре узгоджуються із результатами отриманими раніше для схеми №3 [11].

Список використаних джерел

1. Прохоров-Лукін Г.В., Пащенко В.І., Биков В.І. та ін. Методика комплексного дослідження вибухових пристроїв, вибухових речовин і слідів вибуху. – К.: МЮ України, МВС України, 2007. – 218с.
2. Сидоренко Ю.М. Особливості процесу вибухового метання осколкоутворюючих дисків, що входять до складу осколково-пучкового снаряду // Збірник наукових праць Академії ВМС імені П.С. Нахімова. – 2012. – Вип.1(9). – С.86-99.
3. LS-DYNA 971. Keyword user's manual. Livermore software technology corporation (LSTC), 2007. – Volume 1. – 2206p.

4. John O. Hallquist. LS-DYNA. Theory manual. Livermore Software Technology Corporation. March 2006. – 680p.
5. www.lstc.com
6. <http://www.ls-dyna.ru/>
7. www.ansys.com
8. Сидоренко Ю.М. К вопросу о влиянии разрушения корпуса осколочно-фугасного снаряда на процесс формирования осколочного поля // Артиллерийское стрелковое вооружение. – 2009. – №2. – С.24-30.
9. Физика взрыва / С.Г. Андреев, Ю.А. Бабкин, Ф.А. Баум и др. / Под ред. Орленко Л.П. – Изд. 3-е, перераб. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. –Т.1. – 832 с.
10. LLNL Explosive Handbook. Properties of Chemical Explosives and Explosive Simulants / B.M. Dobratz, P.C. Crawford. – California, 1985. – 541 p.
11. Сидоренко Ю.М. Комп'ютерне моделювання процесу вибухового метання диска, який розрізано з метою осколкоутворення / Сидоренко Ю.М. // Озброєння та військова техніка. – 2014. – №1. – С.34-45.

УДК 539.3

Фоменко А.С., *наук. кер. Кришук М.Г., д.т.н., проф.*

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», м. Київ, e-mail: krys@ukr.net

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН КОНСТРУКЦІЙ ТРУБОПРОВОДУ СИСТЕМИ АВАРІЙНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ НИЗЬКОГО ТИСКУ АЕС ПРИ НОРМАЛЬНИХ ТА АВАРІЙНИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Вступ. В наш час багато уваги приділяється різного роду джерелам енергії, а саме знаходженню альтернативних видів вироблення електроенергії, проте не слід забувати про вже існуючі. Серед таких одними з найважливіших є атомні електростанції (АЕС). З плином часу ми все більше і більше прямуємо до того, щоб замінити їх на більш екологічно чистіші. Але одною з проблем є підтримка в робочому стані вже існуючих. Всі ми знаємо про низку аварій та катастроф, які пов'язані з використанням мирного атому. Тому задача інженера спеціальності «Динаміка і міцність машин» є підтримати та продовжити ресурси енергоблоків. В нашій країні та по всьому світу проводяться великі заходи і дослідження, пов'язані з можливим продовженням ресурсу реакторних установок атомних електростанцій (в зв'язку зі швидким закінченням їх призначеного ресурсу експлуатації).

Об'єктом дослідження є конструкції трубопроводу першого контуру 3-го енергоблоку Рівненської АЕС «Система аварійного охолодження зони низького тиску» (рис. 1а). Вхідні дані для розрахунку на міцність обрані для конструкції трубопроводу, який виготовлено зі сталі 08X18H10T (табл. 1). Геометричні розміри взято з паспорту трубопроводу 232Т [1].

Таблиця 1. Фізико-механічні характеристики трубопроводу

Рег. №	Група	$T, ^\circ C$	R_m , МПа	$R_{0,2}$, МПа	$E \cdot 10^5$, МПа	$Z, \%$	R_{-1} , МПа	R_c , МПа	e_c
232Т	НУЕ	350	412	177	1,79	51	164,8	706,168	0,356
	ГВ	85	478	206	2,065	55	191,2	846,06	0,399

де, НУЕ - нормальні умови експлуатації, ГВ - гідровипробування, Т - температура робочого середовища, R_m - границя міцності, $R_{0,2}$ - границя текучості, E - модуль Юнга, Z - відносне звуження поперечного перерізу зразка при статичному руйнуванні, R_{-1} - границя витривалості, R_c - характеристика міцності, e_c - характеристика пластичності.

Мета роботи - провести чисельний експеримент для визначення напружено-деформованого стану елементів конструкції першого контуру 3-го енергоблоку Рівненської АЕС, а саме системи аварійного охолодження зони низького тиску (САОЗ НТ). Провести оцінку статичної та циклічної міцності.

В роботі наведені результати теплових розрахунків та гідравлічних параметрів з метою визначення напружено-деформованого стану системи аварійного охолодження зони низького тиску. Було проведено аналіз нестационарних режимів навантаження, перебіг яких може мати істотний вплив на напружений стан елементів трубопроводу. Обрані режими будуть використані при оцінці статичної міцності трубопроводу відповідно до [2]. Нодалізаційна схема і докладний опис розрахункової теплогідравлічної моделі взяті з [4]. При проведенні розрахунків нестационарних (перехідних) режимів використані вхідні дані (температура і тиск теплоносія, коефіцієнти теплопередачі у відповідних гідроелементах) представлені в [5]. Вибір перехідних режимів НУЕ, ПНУЕ і АС для подальших розрахунків здійснено за результатами якісного інженерного аналізу вихідних станів, виконаного в звіті [5].

Вибір режимів навантаження. Всі сценарії, які стосуються САОЗ НТ відповідно з [2] вказані в таблиці 2.

Таблиця 2. Перелік розрахункових сценаріїв для оцінки міцності трубопроводів

Режим	Сценарій	Назва сценарію
НУЕ		ГВ
		Робочий режим
	2	Планове відключення обох ГЦН
ПНУЕ	3	Знеструмлення всіх ГЦН
	5	Повне знеструмлення АЕС
	6	Припинення подачі живильної води в ПГ
	7	Помилкове вприскування в КТ від системи підживлення
АС	9	Ненавмисне відкриття ЗК КТ (варіант 2)
	15	Розрив трубопроводу продувки Ду 100 (варіант 2)
	19	Розрив однієї теплообмінної трубки ПГ (варіант 2)
	24	Розрив паропроводу (варіант 3)

Позначення: ПНУЕ - порушення нормальних умов експлуатації, АС - аварійна ситуація, ГЦН - головні циркуляційні насоси, ПГ - парогенератор, КТ - компенсатор тиску, ЗК - запобіжний клапан

Так як 9 режим є одним з небезпечніших, то для чисельного розрахунку термосилових навантажень конструкції трубопроводу обираємо саме його. Вихідними даними теплогідрравлічних розрахунків є поля тисків та швидкостей теплоносія. Вказані величини були використані для визначення теплового стану першого контуру реактора АЕС.

Алгебраїзація шуканих параметрів задачі термопружності виконана з допомогою методу скінченних елементів. Чисельні експерименти проведені в системі інженерних розрахунків ANSYS. Для побудови сітки MCE використовувались гексагональні елементи.

Обговорення результатів. Отримані дані використані для оцінки надійності першого контуру третього енергоблоку Рівненської АЕС. Результат розрахунку НДС конструкцій трубопроводу для оцінки на статичну міцність при аварійній ситуації зображено на рис. 1б. Для розрахунку на циклічну міцність обираються точки з розрахунку на статичну міцність, в яких спостерігаються екстремальні величини еквівалентних за Мізесом напружень, які в основному знаходяться в колінах та в трійниках конструкцій трубопроводу. Таких точок виявлено вісім. Геометричне положення точок вказано на рис. 1в. Для обраних точок були розраховані в системі інженерних розрахунків ANSYS навантаження, які використовувались для оцінки накопиченої пошкоджуваності від усіх видів циклічних навантажень, що мають місце в процесі експлуатації трубопроводу. Результат розрахунку пошкоджень (накопичених та прогнозованих) в зазначених конструкції трубопроводу показано в таблиці 3. Максимальне прогнозоване значення складає $1,77\text{E-}05$, що менше регламентованої величини $[a_N] = 1$, де $[a_N]$ - допустиме значення накопиченого втомного пошкодження.

Таблиця 3. Результат розрахунку пошкоджень

№ точки	a_j	a_j прогнозоване	Умова $a < 1$
1	0,00E+00	7,54E-05	Виконується
2	0,00E+00	7,27E-06	Виконується
3	0,00E+00	1,77E-05	Виконується
4	0,00E+00	5,76E-06	Виконується
5	0,00E+00	1,60E-08	Виконується
6	0,00E+00	2,97E-08	Виконується
7	0,00E+00	2,97E-08	Виконується
8	0,00E+00	2,61E-08	Виконується

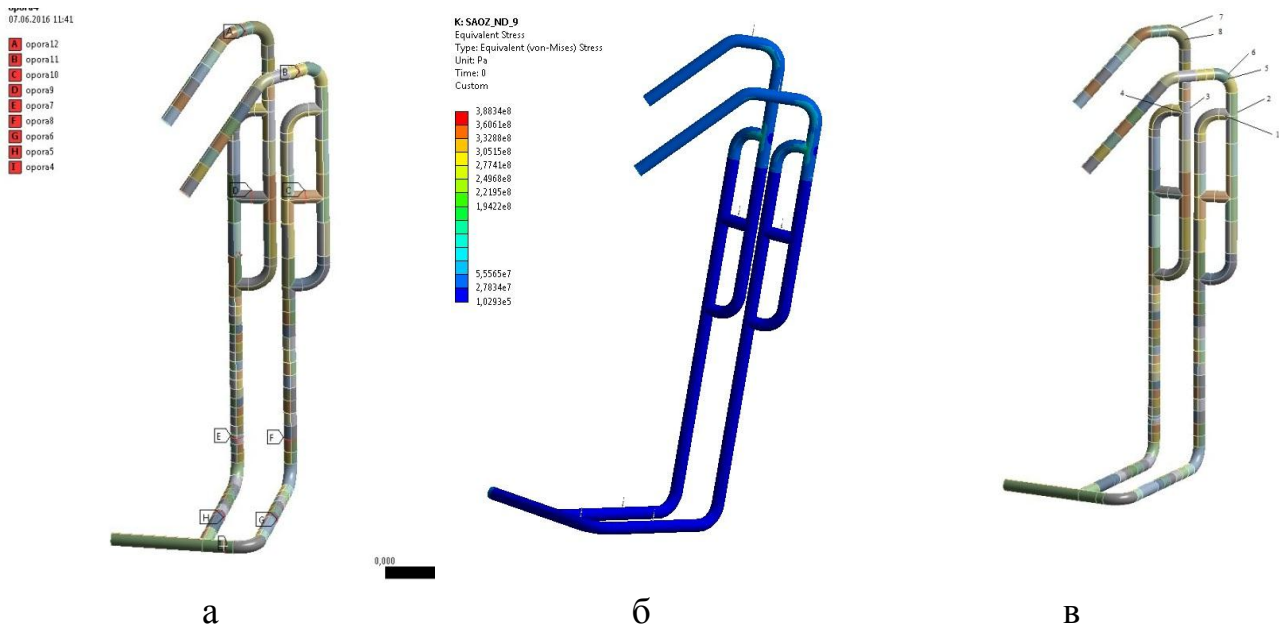


Рис. 1. Розрахункова схема конструкцій трубопроводу (а), результати розрахунку на статичну міцність (б), розташування небезпечних точок для розрахунку на циклічну міцність (в)

Висновки.

1. На даний момент застосування інформаційних технологій та систем комп'ютерного моделювання значно полегшує процеси чисельних розрахунків напружено-деформованого стану та оцінки ресурсу експлуатації конструкцій трубопроводів АЕС

2. На основі чисельних експериментів проведених автором в даній роботі отримані результати, що використані при формулюванні рекомендацій для оцінки надійності першого контуру третього енергоблоку Рівненської АЕС.

3. Встановлено, що максимальне прогнозоване значення накопиченого втомного пошкодження складає $1,77E-05$, що менше регламентованої величини $[aN] < 1$.

Список використаних джерел

1. Паспорт трубопровода. Трубопроводы планового расхолаживания от ГЦК до арм. 3TQ40S03,04,06 (вкл) и 3TQ12÷32S04,05 (вкл); напорные трубопроводы от ГЦК до арм. 3TQ13,14,23,24,33,34S07 (вкл), 3TQ13÷33S09 (вкл) и 3TQM÷34S17 (вкл) ($Dy > 50$). Регистрационный № 232Т
2. ПНАЭ Г 7-002-86 Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок / Госатомэнергонадзор СССР.-М.: Энергоатомиздат, 1989. – 525с.
3. СУБДО. Система управления базой данных оборудования ОП РАЭС.
4. 191-77-О-ОТС-15 «Описание расчетной теплогидравлической модели энергоблока №3 ОП РАЭС для компьютерного кода Relap5/Mod3.2».
5. 191-122-О-ОТС-15 «Выполнение теплогидравлических расчетов и анализов, выбор граничных условий. Энергоблок № 3».

УДК 539.4: 614.88: 616-083.98

Тітаренко Б.П., наук. кер. Тимошенко О.В., к.т.н., доцент, Коваль В.В., асис.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: timosaha@ukr.net

ВПЛИВ ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА ВЛАСТИВОСТІ КРОВОСПИННИХ ДЖГУТІВ

З кожним роком, через зростання збройних конфліктів, природних стихійних лих, та інших катастроф у світі, якісні засоби тимчасової зупинки кровотечі стають все більш потрібними. Перш за все це стосується тактичних кровоспинних джгутів (турнікетів) [1-5].

Польові умови, у яких частіш за все накладається турнікет, значно відрізняються від стерильних умов у медичному закладі. Тому постало питання дослідити вплив зовнішніх чинників, а саме рідини на властивості турнікету. Проведено ряд порівняльних випробувань вітчизняних та закордонних виробників на визначення зміни величини тиску в місці накладання турнікету протягом двох годин під дією цих чинників.

Для проведення даних випробувань була задіяна випробувальна установка TIRA test 2300. Сконструйовано муляж, який імітує форму кінцівки [6], а за допомогою консультантів з Української військово-медичної академії і волонтерів визначено початкову силу натягу турнікета. Зовнішній вигляд робочої частини установки і схема прикладання навантаження представлено на рис. 1, 2.

Для проведення випробувань на завчасно закріпленій на установці муляж накладався турнікет, який затягувався з визначеною початковою силою натягу. Після цього збільшувалося значення осьового зусилля до необхідного, яке відповідає тиску 350 мм. рт. ст. Надалі фіксувалося значення тиску кожні 15 хвилин і фінальний час протягом якого він знижувався до 300 мм. рт. ст.



Рис. 1. Зовнішній вигляд робочої частини установки для випробувань зразків турнікету на здатність довготривалого утримування навантаження

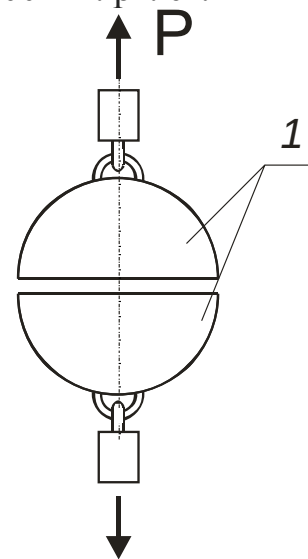


Рис. 2. Схема прикладання навантаження.
1- муляж кінцівки

Кожен турнікет, який тестувався, до накладання на муляж, піддавався дії зовнішніх чинників. Серед рідин у випробуваннях були використані вода і дизельне паливо, які найчастіше можуть впливати на турнікет у польових умовах і значно відрізняються між собою показниками в'язкості та змочування.

Результати проведених випробувань на здатність довготривалого утримування навантаження турнікетів при дії зовнішніх чинників представлені на рис. 3.

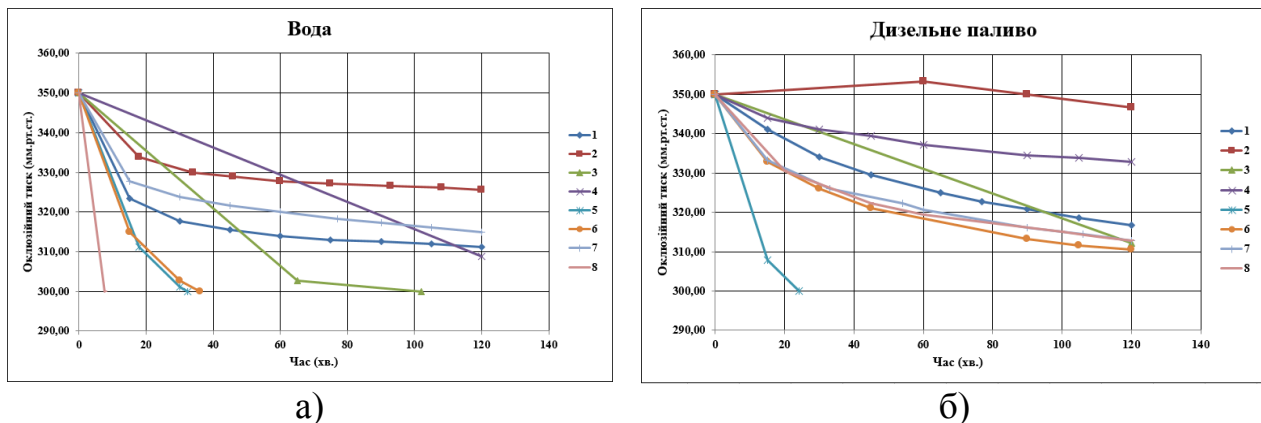


Рис. 3. Результати випробувань на здатність довготривалого утримування навантаження турнікетів: а) при впливі води, б) при впливі дизельного палива

Таким чином, проведення експериментальних досліджень відповідно комплексної програми по визначенню зміни значення тиску в місці накладання турнікету протягом двох годин під дією зовнішніх чинників, а саме води та дизельного палива при температурі $+20^{\circ}\text{C}$, які показали нездатність довготривалого утримування навантаження у деяких вітчизняних виробників турнікетів. Це дозволить у подальшому контролювати виготовлення якісних турнікетів та створити нормативні вимоги, які будуть регламентовані у стандартах на продукцію.

Список використаних джерел:

1. Tragedy Into Drama: An American History of Tourniquet Use in the Current War John F. Kragh, Jr., MD; Thomas J. Walters, PhD; Ted Westmoreland, 18D; Robert M. Miller, Ranger Medic; Robert L. Mabry, MD; Russ S. Kotwal, MD; Brandi A. Ritter, PA-C; Douglas C. Hodge, PA-C; Dominique J. Greydanus, 18D; Jeffrey S. Cain, MD; Donald L. Parsons, 18D, PA-C; Erin P. Edgar, MD; H. Theodore Harcke, MD; David G. Baer, PhD; Michael A. Dubick, PhD; Lorne H. Blackbourne, MD; Harold R. Montgomery, Ranger Medic; John B. Holcomb, MD; Frank K. Butler, MD//Journal of Special Operations Medicine. – 2013. – vol. 13. – PP. 5-25.
2. Tourniquet use in Combat Trauma: UK Military Experience, Steven Brodie, Timothy J Hodgetts, Jo Ollerton, Judith McLeod, Paul Lambert, Peter Mahoney. Academic Department of Military Emergency Medicine, Royal Centre for Defence Medicine, Department of Military Anaesthesia and Critical

- Care, Royal Centre for Defence Medicine// Journal of the Royal Army Medical Corps. – 2007. – vol. 153(4). - PP. 310-313.
3. Optimizing the use of Limb Tourniquets in Tactical Combat Casualty Care, Stacy A. Shackelford, MD; Frank K. Butler Jr., MD; John F. Kragh Jr., MD; Rom A. Stevens, MD; Jason M. Seery, MD; Donald L. Parsons, PA-C; Harold R. Montgomery, NREMT/ATP; Russ S. Kotwal, MD; Robert L. Mabry, MD; Jeffrey A. Bailey, MD// Journal of Special Operations Medicine. – 2015. – vol. 15(1). – PP. 17-31.
 4. Мазуренко О.В., Рошнін Г.Г., Волошин В.О. Тактична медицина як основна складова екстреної медичної допомоги при проведенні антитерористичних операцій // Медицина неотложных состояний. – 2014. – №8(63). – С.96-99.
 5. No Slackers in Tourniquet Use to Stop Bleeding, Ryan W. Polston; Brandon R. Clumpner; John F. Kragh, Jr.; John A. Jones, BBA, BA; Michael A. Dubick;; David G. Baer // Journal of Special Operations Medicine. – 2013. – №13(2). – PP.12-19.
 6. Визначення характеристик міцності для тактичних джгутів, Тітаренко Б.П., Тимошенко О.В / Тези доповідей всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених та студентів «інновації молоді - машинобудуванню», Київ, 2016 р. – С. 100-103.

УДК 620.171.3:616.717.8

Димань М.М., наук. кер. *Шидловський М.С., к.т.н, доц., Заховайко О.П., к.т.н., доц.*

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», м. Київ, e-mail: hateandhope@mail.ru

АНАЛІЗ ПРОСТОРОВИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ ТОЧОК ПЕРЕЛОМІВ КІСТОК ІЗ ЗАСОБАМИ ФІКСАЦІЇ ПІД ДІЄЮ НАВАНТАЖЕНЬ

Вступ. Висновок про надійність роботи систем фіксації переломів проводиться, як правило, на основі аналізу взаємних переміщень точок кісток при навантаженнях. Визначення переміщень сукупності точок цих об'єктів за допомогою звичайних технічних засобів (механічні індикатори переміщень, штангенциркулі, мікрометри тощо), а також оптичними методами (інструментальні мікроскопи, катетометри) в ряді випадків є практично неможливим. Застосування сучасної цифрової фото- та відеотехніки в біомеханічних дослідженнях – найбільш придатний та універсальний спосіб вирішення багатьох технічних задач реєстрації переміщень і деформацій анатомічних об'єктів під дією навантажень [1].

Актуальність роботи. Зазвичай ми вимірювали: 1. загальну деформацію препарату (переміщення точки прикладення навантаження відносно місця за-

кріплення кістки; 2. переміщення однієї точки перелому відносно місця закріплення кістки; 3. взаємне зміщення двох сусідніх точок перелому.

В першому випадку загальна деформація системи вимірюється за допомогою датчика переміщень, що вмонтовано в випробувальну машину. Тому, в цьому випадку загальна деформація складається з деформацій засобу фіксації, деформації кістки та деформації системи навантаження. Взаємні переміщення точок системи при такому підході виявити дуже складно.

В другому випадку переміщення вимірювали за допомогою індикатора годинникового типу. Індикатори годинникового типу поряд з високою надійністю та простотою в поводженні мають відносно великі розміри. Ніжка індикатору створює додаткове навантаження на зразок, що може привести до викривлення результатів вимірювання.

В третьому випадку вимірювання проводили за допомогою катетометра. Оскільки робоче положення катетометра В-630 – вертикальне, його застосовували виключно для вимірювання вертикальних переміщень препаратів при навантаженні. Такий підхід не гарантує, що ми правильно вибрали найбільш небезпечні точки з найбільшими взаємними зміщеннями.

Пропонується удосконалений метод. Це одночасне визначення лінійних переміщень декількох точок перелому у поздовжньому та поперечному напрямках.

Метод вимірювання переміщень відламків кістки в експерименті за допомогою цифрової фотозйомки відрізняється від відомих тим, що при цьому способі можливо визначити переміщення будь-якої вибраної точки перелому за результатами вимірювань переміщень 3-х реперних елементів, один з яких розміщений на закріпленій (нерухомій) частині кістки, інші два – на рухомій частині кістки, до якої прикладається навантаження.

Виміри здійснюються таким чином: на предметному столі випробувальної машини закріплюють досліджуваний зразок з попередньо встановленими на ньому реперними елементами (рис. 1).

На одному рівні з реперними елементами розміщують калібровану плитку. Об'єкт фотографують і надалі це зображення використовують як контрольний недеформований зразок. Досліджуваний зразок фотографують в деформованому стані під дією навантаження.

Вимірювання переміщень в пікселях проводять за допомогою програмного забезпечення для обробки цифрових зображень. Вимірювальну рамку наводять на середину реперних елементів, і отримують переміщення в пікселях.

Розрахунок переміщень проводять таким чином: 1) визначають масштабний коефіцієнт (на екрані дисплея вимірюють висоту плитки на фотознімку в пікселях; визначають кількість міліметрів в одному пікселі, тобто масштабний коефіцієнт); 2) при різних навантаженнях вимірюють взаємні зміщення реперних точок у пікселях і переводять значення в міліметри; 3) за результатами вимірювання переміщень окремих точок об'єкту розраховують величини їх взаємних переміщень.

Щоб знайти переміщення будь-якої точки перелому під дією навантаження, розглядатимемо обидві частини кістки як абсолютно тверді (їх деформації нехтовно малі у порівнянні з величиною взаємного зміщення в переломі).

Оскільки в довільній точці D (рис. 1а) репер не встановлений, то її координати після зміщення в системі, пов'язаній з точкою 1, знайдемо аналітично, розглядаючи цю точку як третю вершину жорсткого трикутника $2^*4^*D^*$ (рис. 1б) за відомими координатами двох інших вершин 2^* і 4^* .

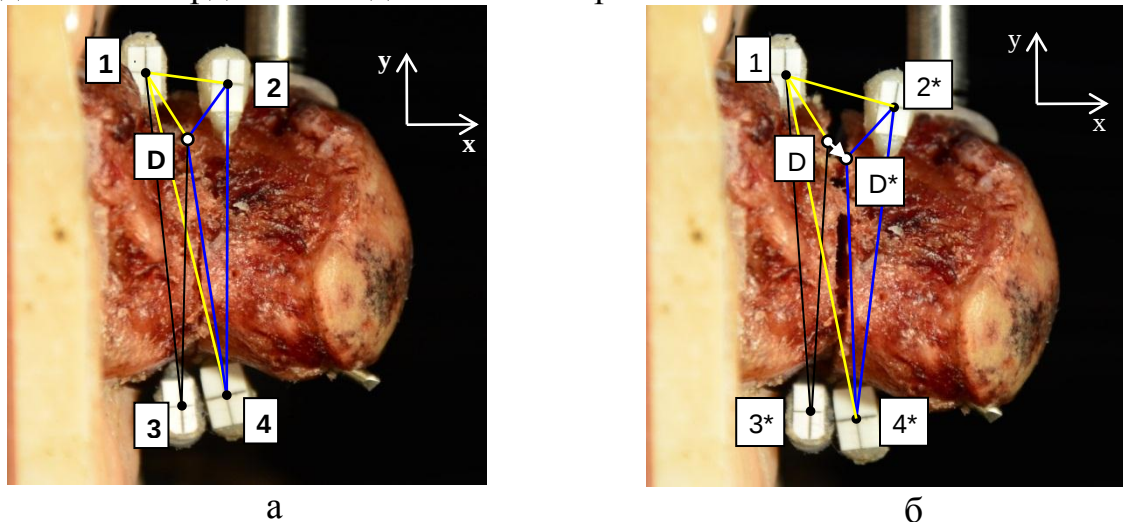


Рис. 1. Кістка з переломом в ненавантаженому (а) та навантаженому (б) станах

Послідовність дій така:

1) Позначаємо в переламі точку, переміщення якої нас цікавить (точка D на рис. 1)

2) Способом, описаним вище, знаходимо координати точок 1, 2, 4 і D : $X_1, Y_1; X_2, Y_2; X_4, Y_4; X_D, Y_D$ (рис. 1).

3) Знаходимо довжини сторін $2-D$ і $4-D$ трикутника $2-4-D$ за відомими довжинами їх проекцій на осі X і Y :

$$L_{2-D} = \sqrt{(X_2 - X_D)^2 + (Y_2 - Y_D)^2}; \quad L_{4-D} = \sqrt{(X_4 - X_D)^2 + (Y_4 - Y_D)^2}.$$

4) Навантажуємо зразок силою P . При цьому вільна частина кістки зміщується відносно зафіксованої (рис. 1б).

5) Заходимо координати точок 2^* і 4^* : $X_2^*, Y_2^*; X_4^*, Y_4^*$.

6) Знаходимо координати точки D^* як третьої вершини трикутника $2^*-4^*-D^*$ з умови, що довжини сторін трикутника при навантажуванні не змінюються:

$$\begin{cases} L_{2^*-D^*}^2 = L_{2-D}^2 = (X_2^* - X_{D^*})^2 + (Y_2^* - Y_{D^*})^2; \\ L_{4^*-D^*}^2 = L_{4-D}^2 = (X_4^* - X_{D^*})^2 + (Y_4^* - Y_{D^*})^2. \end{cases}$$

Координати точок підставляємо з урахуванням їх знака, розглядаючи систему координат X і Y з початком в точці 1 як праву.

Ми отримали систему квадратних рівнянь відносно координат точки D^* . Розв'язком даної системи буде дві групи коренів $(X_{D^*}, Y_{D^*})_1$ і $(X_{D^*}, Y_{D^*})_2$. Приймаємо ті значення, які не суперечать реальному положенню точки D^* відносно точок 2^* і 4^* .

Висновки. Переваги: підвищення точності оцінки надійності біомеханічних систем, дозволяє одночасно проводити вимірювання в різних площинах та різних точках об'єкту. Відсутній контакт між вимірювальною апаратурою та досліджуваним об'єктом.

Список використаних джерел

1. Експериментальні дослідження засобів остеосинтезу. Кол. авторів / За ред. Шидловського М.С., Лакши А.М., – К.: Ленвіт, 2017. – 277 с.

УДК 620.171.3:616.718.71

Димань М.М., Карачун В.М., наук. кер. *Шидловський М.С., к.т.н, доц., Заховайко О.П., к.т.н., доц.*

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, e-mail: vlad19960104@gmail.com

ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ТА НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ В СИСТЕМАХ ОСТЕОСИНТЕЗУ МЕТОДОМ ФОТОЗЙОМКИ

В останні роки спостерігається підйом хірургічної активності в лікуванні переломів, тому визначення відповідних технічних засобів остеосинтезу є важливою науковою та соціальною задачею, яка стоїть перед спеціалістами медичного та інженерного профілю. Ці засоби мають забезпечувати надійну фіксацію уламків кісток, максимально унеможливаючи їх взаємне зміщення в процесі транспортування та лікування пацієнтів. На сьогодні існує багато типів систем остеосинтезу та проектується нові їх схеми, і для оцінки їх придатності виникає необхідність у дослідженні характеристик жорсткості таких систем шляхом визначення зміщення уламків кісток в місцях переломів.

Відомий спосіб вимірювань зміщень уламків кісток за допомогою індикатора годинникового типу [1], який на сьогодні найчастіше використовується на практиці. Його недоліком є можливість вимірювань зміщень лише однієї точки в зоні перелому, або ж необхідність використання більшої кількості індикаторів в експерименті, що може бути проблематичним, наприклад в разі недостатніх розмірів зразка.

В лабораторії біомеханіки кафедри динаміки і міцності машин та опору матеріалів КПІ ім. Ігоря Сікорського був розроблений та впроваджений в практику метод вимірювання зміщень уламків кісток людини в експерименті, за яким за допомогою цифрового фотографування знаходять величини зміщень уламків кісток при різних типах їх фіксації [2]. При цьому пропонується вимірювати зміщення як за мітками, безпосередньо встановленими в контрольованих точках в зоні перелому, так і аналітично за положеннями точок поза зоною перелому.

Метою роботи є зіставити дані, отримані цими двома шляхами, та оцінити їх точність, порівнявши з отриманими шляхом безпосереднього вимірювання переміщень інструментальним методом, а саме з допомогою катетометра.

Коротко розкриємо суть цифрового фотографування. Вона полягає в тому, що на предметному столі випробувальної машини закріплюють досліджуваний зразок з попередньо установленими на ньому реперними елементами (рис. 1). На одному рівні з реперними елементами розміщують калібровану плитку Іогансона з відомими розмірами. Перед кісткою встановлюють пристрій для фотозйомки паралельно до досліджуваного зразка таким чином, щоб всі реперні точки знаходилися у фокусі об'єктива і були центровані. Зразок фотографують і надалі це зображення використовують як контрольний недеформований зразок.

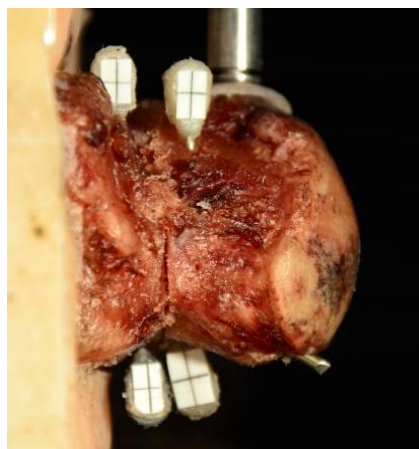


Рис. 1. Зразок з реперними елементами

Потім зразок фотографують в деформованому стані під дією навантаження. Вимірювання переміщень в пікселях проводять за допомогою програмного забезпечення для обробки цифрових зображень. Вимірювальну рамку наводять на середину реперних елементів, і отримують переміщення в пікселях (рис. 2).

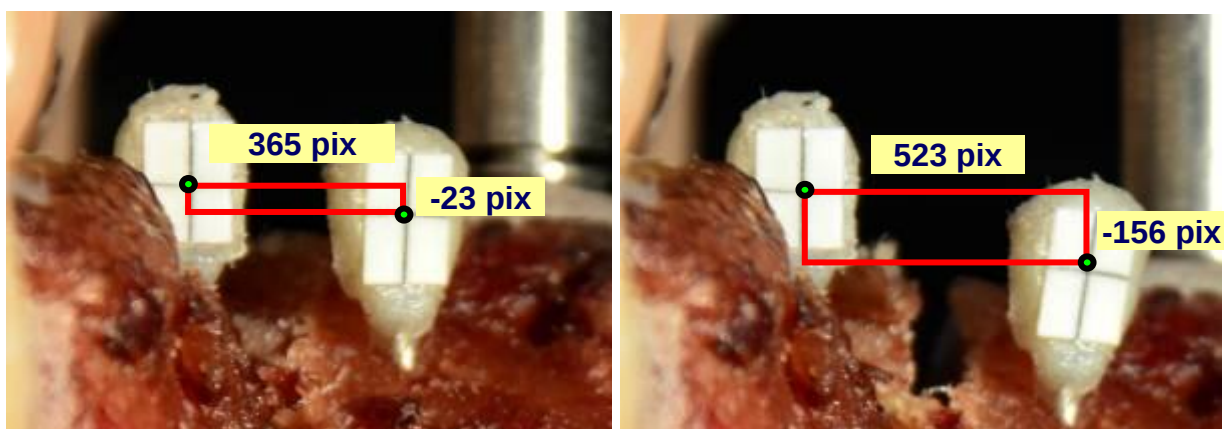


Рис. 2. Схема визначення взаємного положення реперних точок до і після навантаження за допомогою цифрового фотографування

Масштабний коефіцієнт отриманого зображення розраховується за формулою $\Delta = n/h$, (піксель/мм), де n – кількість пікселів, що відповідає висоті плити Іогансона; h – висота плити Іогансона в мм.

За цим способом точки, переміщення яких визначаються, позначаються мітками безпосередньо на зразку. Такий спосіб дозволяє визначати зміщення лише попередньо позначених мітками точок в зоні перелому. Крім того, кількість встановлених міток може обмежуватись розмірами зразка.

Щоб забезпечити можливість визначати переміщення будь-яких точок в зоні перелому без необхідності попереднього встановлення міток на зразку, був запропонований спосіб що включає закріплення на робочому столі випробувальної машини дослідного зразка з попередньо позначеними за допомогою міток на кожному з уламків двома реперними точками, вибраними поза зоною перелому. Точки уламків в зоні перелому, величини відносних зміщень яких підлягають визначенню, обираються безпосередньо на отриманих зображеннях і які утворюють з реперними точками на кожному з уламків жорсткі трикутники (рис. 3а).

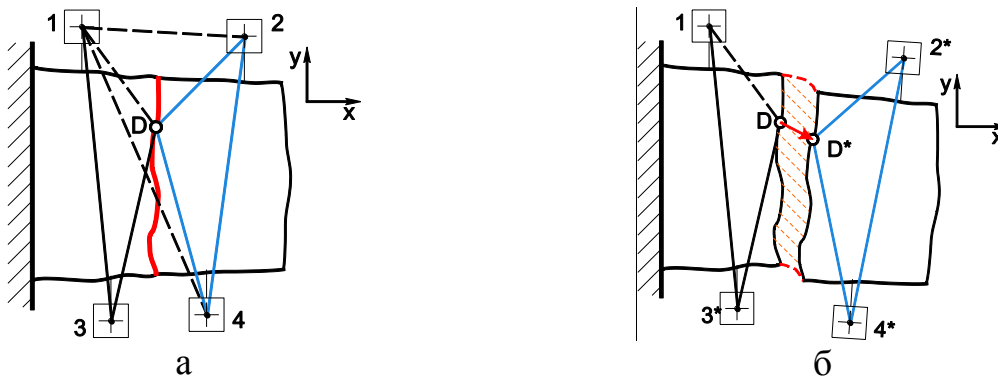


Рис. 3. Схема визначення взаємного зміщення точок в зоні перелому: а) зразок до навантаження, б) після навантаження

Навантажують зразок силою заданої величини, фіксують положення реперних точок до і після навантаження за допомогою пристрою для створення цифрових зображень у визначеному масштабі.

Визначаються координати X і Y міток 2, 3, 4 ($X_1, Y_1; X_2, Y_2; X_3, Y_3; X_4, Y_4$) в системі координатних осей, початок яких суміщається з міткою 1 (рис.3а).

В зоні перелому вибирається довільна точка D та встановлюються її координати у вибраній системі осей X_D, Y_D . Ця точка утворює жорсткий трикутник з точками 2 і 4. Довжини сторін цього трикутника $2-D$ і $4-D$ знаходяться за відомими довжинами їх проєкцій на осі X і Y :

$$L_{2-D} = \sqrt{(X_2 - X_D)^2 + (Y_2 - Y_D)^2}; \quad L_{4-D} = \sqrt{(X_4 - X_D)^2 + (Y_4 - Y_D)^2}.$$

Після навантаження зразка силою P , яка прикладається до незакріпленого в фіксаторі уламка кістки, цей уламок зміщується відносно зафіксованої частини кістки (рис. 3б). Оскільки переміщення уламків кістки набагато більші від можливих їх деформацій при дії навантаження, то ці уламки, а значить і пов'язані з ними трикутники слід вважати абсолютно жорсткими.

Після прикладання навантаження зразок знову фотографується і встановлюються нові координати точок на вільному уламку 2^* і 4^* в системі координат, пов'язаній з точкою 1: $X2^*$, $Y2^*$; $X4^*$, $Y4^*$.

Координати точки D^* знаходяться як координати третьої вершини трикутника $2^*-4^*-D^*$ з умови, що довжини сторін трикутника при навантажуванні не змінюються:

$$\begin{cases} L_{2^*-D^*}^2 = L_{2-D}^2 = (X2^* - XD^*)^2 + (Y2^* - YD^*)^2; \\ L_{4^*-D^*}^2 = L_{4-D}^2 = (X4^* - XD^*)^2 + (Y4^* - YD^*)^2. \end{cases}$$

Розв'язком отриманої системи квадратних рівнянь відносно координат точки D^* будуть дві групи коренів: $(XD^*, YD^*)_1$ і $(XD^*, YD^*)_2$. Приймаються ті значення коренів, які не суперечать реальному положенню точки D^* відносно точок 2^* і 4^* . За отриманими даними і знаходять переміщення точки D .

Щоб оцінити точність запропонованих способів визначення переміщень, крім фотографування зразка, проводилось вимірювання зміщення точки в зоні перелому за допомогою катетометра В-630 (рис. 4). Дослідженню підлягав натурний препарат у вигляді стегнової кістки з модельованим переломом у області діафізу, який був зафіксований стержневим апаратом зовнішньої фіксації. Зразок фотографувався у ненавантаженому стані та вимірювались вертикальні відстані між реперними елементами та відстані між 3-ма контрольними точками перелому. Далі об'єкт навантажувався і знову вимірювався.

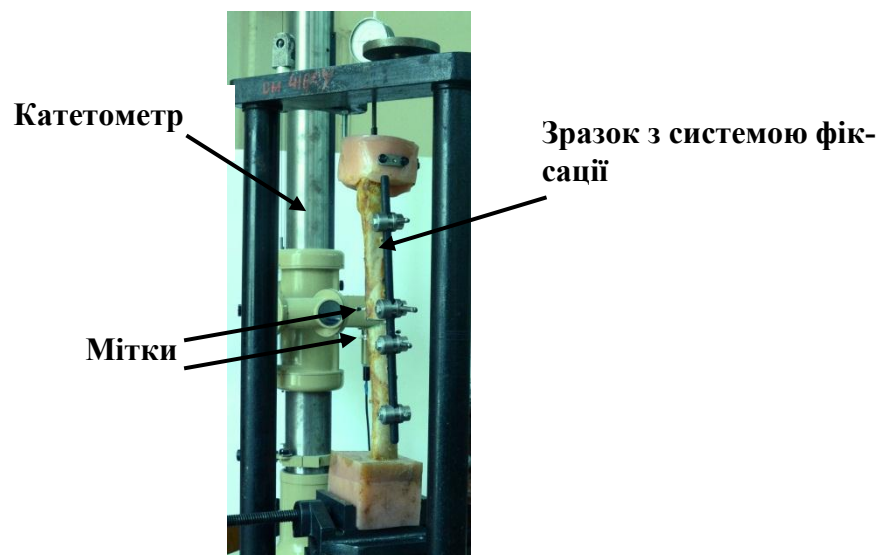


Рис. 4. Пристрій для навантаження зразка

За фотознімками визначались відстані між реперними елементами та контрольними точками, розраховувались зміни відстаней між ними. За показами катетометра також розраховувались ці відстані та їх зміни після навантаження. Після обробки отримані дані, одержані фотозйомкою, зіставлялись з результатами вимірювання катетометром.

Результат зіставлення показав придатність методу цифрового фотографування як при безпосередньому вимірюванні за мітками, встановленими в досліджуваних точках, так і аналітичним методом за положеннями реперних точок поза зоною перелому. Розходження з даними, отриманими за допомогою катетометра, знаходились в межах похибки вимірювальних приладів.

Список використаних джерел

1. Експериментальні дослідження засобів остеосинтезу. Кол. Авторів / За ред. Шидловського М.С., Лакши А.М. – К.: Ленвіт, 2017. – 277 с. : іл.
2. Пат. 68177 Україна, Спосіб вимірювання зміщень уламків кісток людини в експерименті [Текст] / винахідники Аксютін А.Г., Літун Ю.М., Радомський О.А., Шидловський М.С.; власники Шидловський М.С., Радомський О.А., Літун Ю.М., Аксютін А.Г. – № u 2012 00818; заявл. 26.01.2012 ; опубл. 12.03.2012, Бюл. № 5. – 8 с.: іл.

УДК 620.171.3:616.717.8

Димань М.М. *наук. кер. Шидловський М.С., к.т.н, доц.*

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, e-mail: n_shidlovsky@ukr.net

ВПЛИВ ЦИКЛІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ДЕФОРМАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАСОБІВ ОСТЕОСИНТЕЗУ П'ЯСНИХ КІСТОК

Вступ. Переломи п'ясних кісток є одним з найпоширеніших травматичних ушкоджень кисті. Численні системи фіксації, запропоновані для лікування даного виду травми, в багатьох випадках не забезпечують необхідної жорсткості і надійності в умовах раннього функціонального навантаження.

Актуальність проблеми. Вибір оптимального метода лікування закритих переломів 2 - 5 п'ясних кісток пов'язано з масовістю вказаних переломів. При хірургічному лікуванні, застосовуються декілька методів, зокрема, фіксація шпильками, гвинтами (для гвинтоподібних переломів), інтрамедулярними стрижнями, апаратами зовнішньої фіксації та мініпластинами з гвинтами. [1]

Мета роботи. Розробка методики проведення натурного експерименту і вивчення деформаційних характеристик засобів фіксатор-кістка при різних типах переломів п'ясних кісток в залежності від типу фіксатора та його розташування.

Об'єкти досліджень. При остеосинтезі переломів п'ясних кісток, використовували титанові мініпластини з товщиною гвинтів – 1,7 мм. Також, був проведений аналіз оперативного лікування хворих з переломами п'ясних кісток, при якому застосовувався металоостеосинтез шпильками. На рис. 1 зображено моделі систем остеосинтезу п'ясних кісток, що були випробувані.

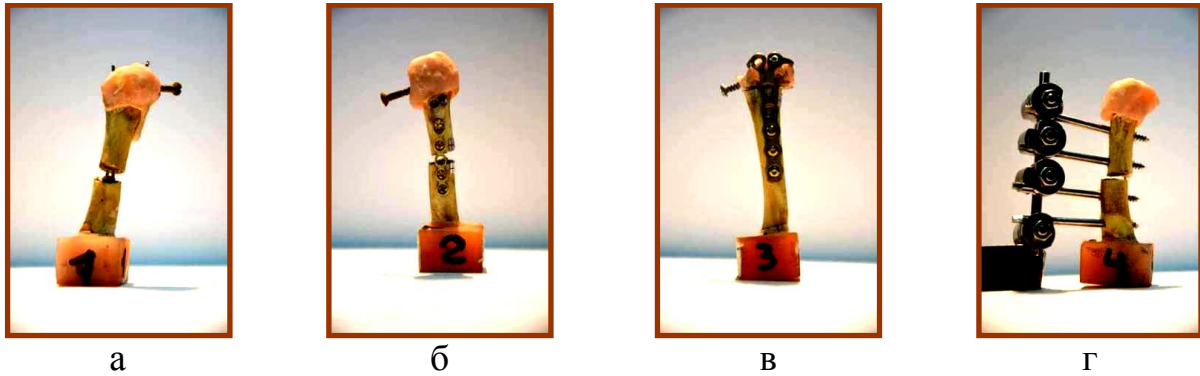


Рис. 1. Моделі систем ОС п'ясних кісток, що були випробувані, із закріпленнями: шпильками (а), титановою мініпластиною (б), титановою мініпластиною з додатковими елементами фіксації (в) та стрижньовим апаратом зовнішньої фіксації (г)

Підготовка зразків до випробувань. Для випробувань використовували курячі стегнові кістки. Попередніми випробуваннями показано, що характеристики жорсткості курячих стегнових кісток, застосованих для досліджень, мало відрізняються від п'ясткових кісток людини. Так, жорсткість непошкоджених курячих стегнових кісток при стискуванні знаходиться у діапазоні від 417 Н/мм до 588 Н/мм. Випробування на стиск непошкодженої п'яної кістки людини показали значення цієї характеристики (442 ± 31) Н/мм. Можливість застосування курячих стегнових кісток у експерименті з засобами фіксації переломів обґрунтовується також збіганням геометричних розмірів препаратів з натурними кістками. Переломи кісток моделювали шляхом розпилювання кістки та металоостеосинтезу, за допомогою вказаних металофіксаторів.

Методика випробувань. Виготовлені зразки у непошкоджену стані закріплювали на робочому столі універсальної випробувальної машини [2] за допомогою спеціальних струбцин. Зусилля на зразок при випробуваннях передавали за допомогою сталевій кульки. Для запобігання виникнення локальних деформацій кортикального шару у місці контакту на поверхню кістки наносили шар пластмаси Протакрил-М.

Швидкість деформування зразка становила 0,5 мм/хв. Попереднє навантаження становило 1 Н. Кількість циклів становила – 10. Зусилля $P_{\max} = 20$ Н. Зусилля та переміщення вимірювали динамометром, сигнал з якого поступав в мікропроцесор випробувальної машини.

Для вимірювання переміщень на відстані 280 мм від зразка встановлювали дзеркальну цифрову фотокамеру Nikon 5200.

Криві повзучості та їх обробка. Для опису процесу накопичення переміщень в часі була використана модель Кельвіна-Фойгта з трьох в'язких та одного пружного елементів, що характеризує експериментальну залежність $\Lambda = \Lambda(i)$

$$\Lambda_i = \Lambda_1 + \bar{\Lambda} \left[n - \sum_{k=1}^n \exp \left(-\frac{i-1}{T_k} \right) \right], \quad (1)$$

де i – кількість циклів, Λ_1 , $\bar{\Lambda}$, T_k - коефіцієнти, які необхідно знайти

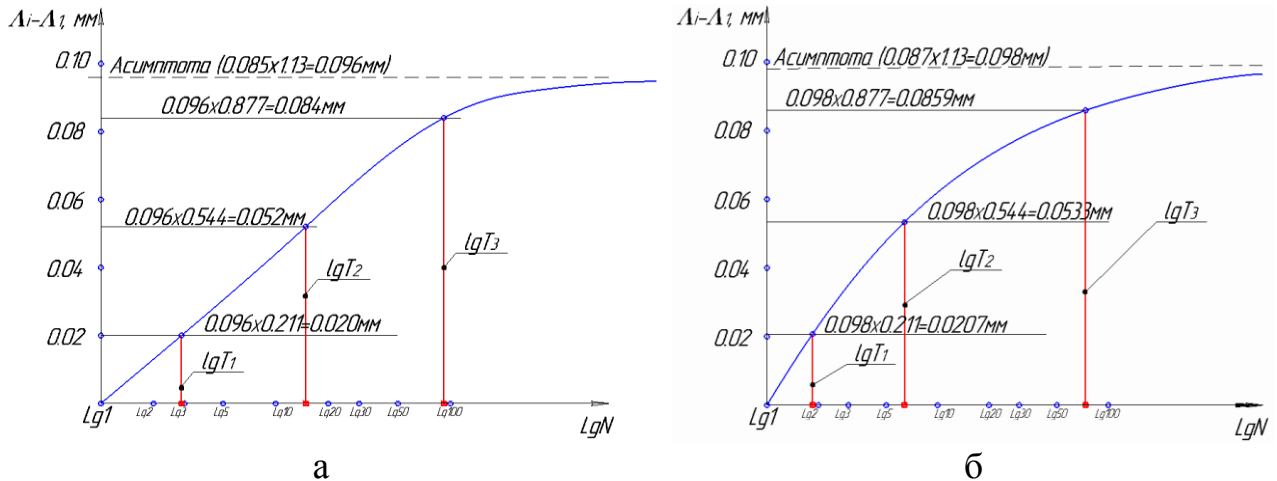


Рис. 2. Графіки залежності різниці деформацій: а) $\Delta_i - \Delta_1$ від логарифму кількості циклів для зразка № 2 точки «b» кривої 1; б) від логарифму кількості циклів для зразка МП точки «b» кривої 2

Згідно з методикою, описаною в [3], після побудови кривої та асимптоти для неї розраховуємо відповідні значення переміщень, потім відкладаємо їх на осі ординат та проводимо паралелі до перетину з кривою. З точок перетину паралелей з кривою проводимо перпендикуляри до перетину з віссю абсцис та отримуємо значення $\lg T_1$, $\lg T_2$, $\lg T_3$. На прикладі системи фіксації МП показано процес розрахунку.

Після підстановки відповідних коефіцієнтів до рівняння узагальненої моделі Кельвіна-Фойгта отримаємо відповідні значення загальних переміщень відповідних точок перелому.

На рис. 3а представлені криві накопичення затриманих переміщень (точки «с») зі збільшенням максимального за цикл навантаження $P_{\max}$. При будівництві кривих враховується припущення, що закон, за яким деформації зростають по відношенню до навантаження, є лінійним. На рис. 3а видно, що при збільшенні $P_{\max}$ на 20 Н перша крива, значення затриманої деформації якої перевищує $[\Delta] = 1$ мм, є кривою при $P_{\max} = 120$ Н, тому на рис. 3б показане більш детальне розбиття кривих в цієї області.

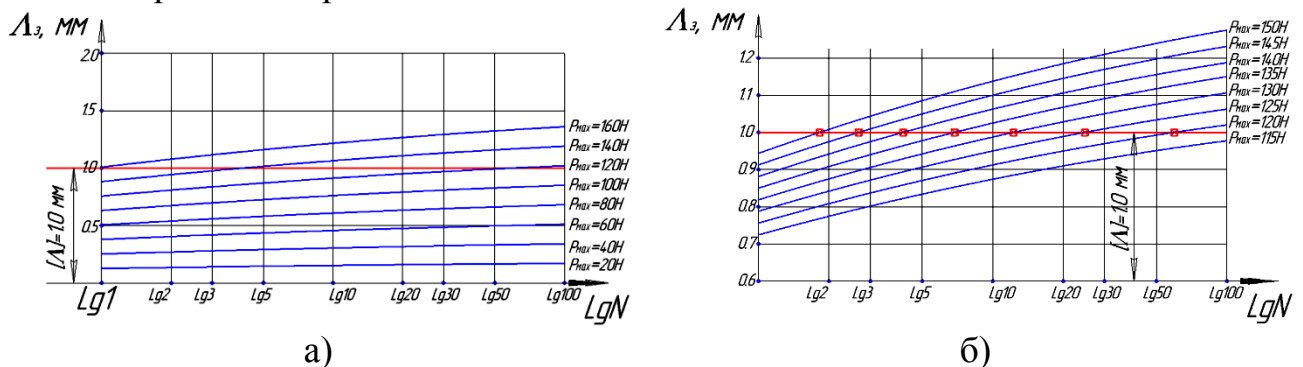


Рис. 3. Криві накопичення затриманих деформацій : а) Δ_z при зростанні максимального за цикл навантаження $P_{\max}$ на 20 Н; б) при зростанні максимального за цикл навантаження $P_{\max}$ на 5 Н

Результати випробувань. Результати експериментів та розрахунків представлені на рис.4. При дії стискаючих циклічних навантажень найбільшу жорсткість мають системи фіксації з титаново мініпластина з додатковими елементами фіксації «МПд» та апарат зовнішньої фіксації «АЗФ».

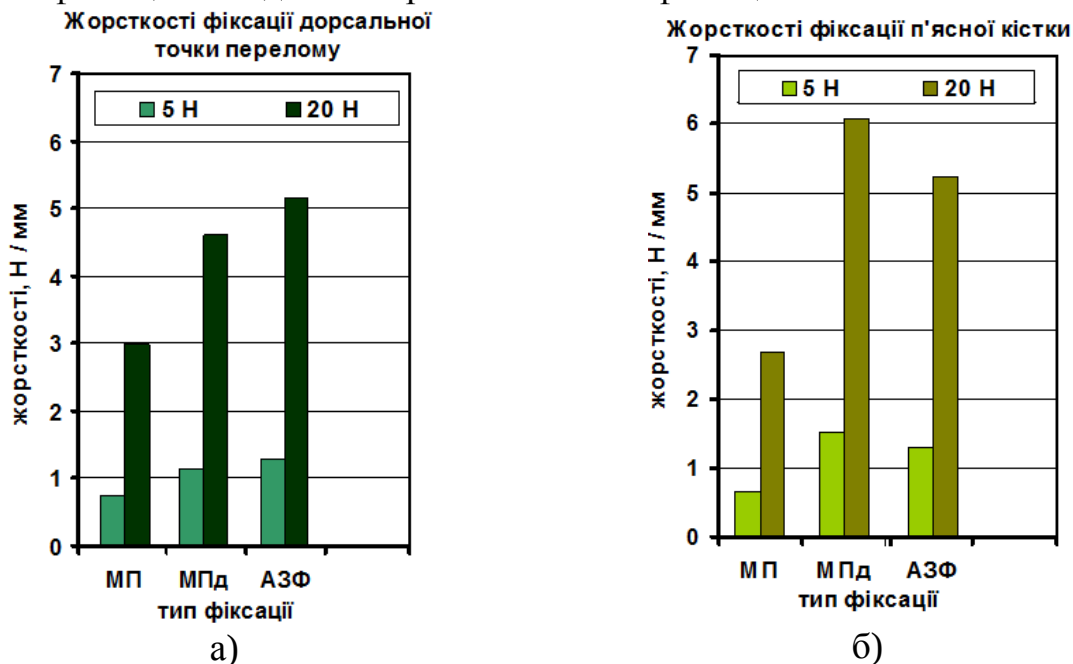


Рис. 4. Жорсткості фіксації п'ясної кістки різними способами, розраховані по повному зміщенню: а) дорсальної точки перелому C^D (Н/мм) на 10-му циклі при навантаженнях 5 та 20 Н; б) точки прикладення навантаження на 10-му циклі при навантаженнях 5 та 20 Н

Висновки. Розроблені методика та програма випробувань моделей п'ясних кісток з модельованими переломами та системами фіксації. Одержані характеристики жорсткості систем фіксації моделей п'ясних кісток при різних видах навантаження. Встановлено, що за більшістю вимірних характеристик перевагу мають стрижневі апарати зовнішньої фіксації та титанові мініпластини різних конструкцій.

Список використаних джерел:

1. Лыба Р.М. Повреждения пястных костей кисти - ошибки и осложнения на этапах лечения / Р.М. Лыба, И. Абашина // Актуальные вопросы травматологии и ортопедии. — Екатеринбург, 1997. — С. 114-115.
2. Експериментальні дослідження засобів остеосинтезу. Кол. авторів / За ред. Шидловського М.С., Лакши А.М., — К.: Ленвіт, 2017. — 277 с.
3. Шидловський М.С., Шпак Д.Ю., Тимошенко О.В. Практикум з лабораторних робіт з дисципліни «Нові матеріали». Частина II. «В'язкопружні властивості полімерних та композитних матеріалів при тривалому навантаженні». Для студентів спеціальності «Динаміка і міцність машин». - К.: НТУУ «КПІ», 2005. — 47с.

УДК 620.171.3:616.718.56

Димань М.М.¹, Федорчук М.П.¹, наук. кер. Шидловський М.С.¹, к.т.н, доц.,
Омельченко Т.М.², к.м.н., доц.

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», м. Київ, e-mail: hateandhope@mail.ru

²Національний медичний інститут ім. О.О. Богомольця, м. Київ, Україна

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ ФІКСАЦІЇ ПЕРЕЛОМІВ ВЕЛИКОГОМІЛКОВИХ КІСТОК

Вступ. Фіксація уламків кісток кінцівок людини стандартними та новими засобами остеосинтезу, окрім клінічних показників, повинна мати достатньо високі механічні характеристики. Зокрема, система «кістка – фіксатор» має бути достатньо міцною, жорсткою (мало деформуватися) та стабільною при довготривалому лікуванні, яке може супроводжуватися певними фізіологічними навантаженнями. Переломи великогомілкової кістки (ВГК) із зміщенням уламків належать до складних переломів, які призводять до довгострокової непрацездатності або навіть інвалідності. На сьогодні відсутня єдина точка зору, щодо вибору раціональних фіксаторних пластин для таких переломів. Для вибору оптимального способу фіксації необхідно визначення та порівняння жорсткості фіксації уламків на натурній моделі перелому ВГК при використанні різних фіксаторів [1].

Метою роботи було визначення та порівняння механічних характеристик системи «кістка-пластина», що застосовуються для фіксації пошкоджених ВГК для вибору найбільш оптимальної конфігурації пластин. Для цього необхідно було визначити деформації системи «ВГК з переломом - пластина» під дією зовнішніх навантажень. Експерименти проводили при найбільш характерних фізіологічних навантаженнях, що супроводжують ходьбу людини (стиск, згин та кручення).

Об'єкти досліджень. Як об'єкти випробувань застосовували непошкоджені трупні ВГК, на яких моделювали прямі переломи в області дистального епіметафізу (рис. 1).

Методика випробувань. Перед вимірюванням біомеханічних характеристик на зразку моделювали перелом, який фіксували гвинтами. Випробування проводили на стиск, згин і кручення. Переміщення, що виникають під дією одноразових навантажень реєстрували шляхом запису діаграм деформування та за допомогою послідовного фотографування зразка дзеркальною цифровою фотокамерою Nikon D 5200 [2].

На прикладі системи фіксації медіальною титановою пластиною «2М» покажемо розрахунок переміщень за допомогою послідовного фотографування зразка.

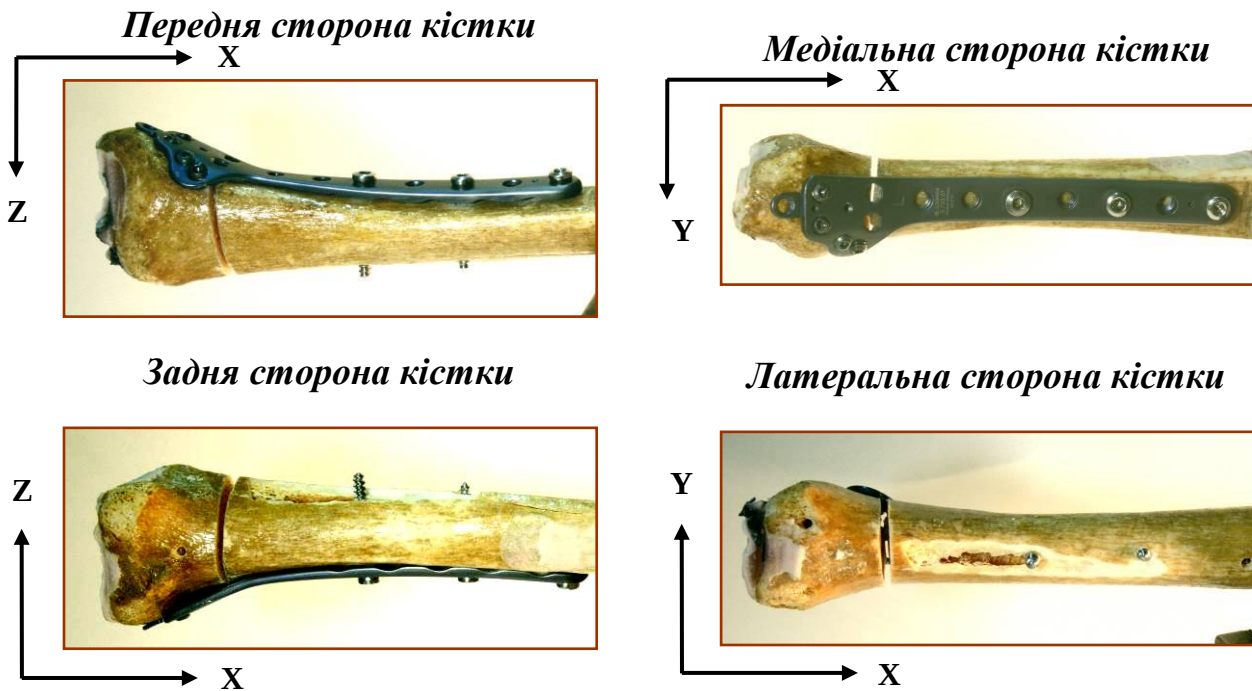


Рис. 1. Види сторін кістки (зліва) та напрями координатних осей відносно перелому

За даними фото розраховуємо:

– зміщення медіальної точки перелому у напрямку X (мм)

$$\Lambda_{X}^M = (M_{X,P(X)} - M_{X,0}) \cdot m = (77-91) \cdot 0.022 \text{ мм/ріх} = -0.308 \text{ мм};$$

– зміщення медіальної точки перелому у напрямку Z (мм)

$$\Lambda_{Z}^M = (M_{Z,P(X)} - M_{Z,0}) \cdot m = 23-23 = 0;$$

– зміщення латеральної точки перелому у напрямку X (мм)

$$\Lambda_{X}^L = (L_{X,P(X)} - L_{X,0}) \cdot m = (139-176) \cdot 0.022 \text{ мм/ріх} = -0.814 \text{ мм};$$

– зміщення латеральної точки перелому у напрямку Z (мм)

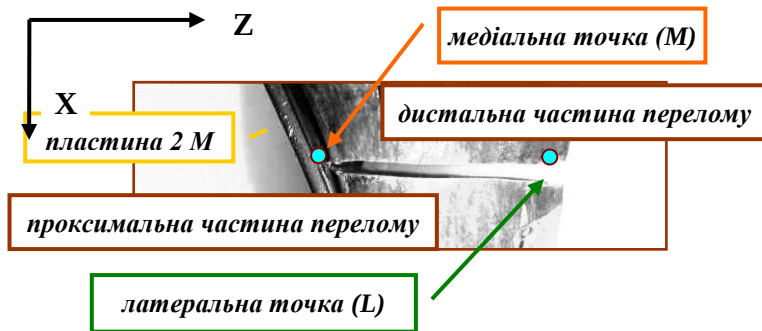
$$\Lambda_{Z}^L = (L_{Z,P(X)} - L_{Z,0}) \cdot m = 17-17 = 0.$$

Масштаб $m = 0.022 \text{ мм/ріх}$ розрахований шляхом фотографування каліброваного елемента.

Приведені зміщення розраховуємо за формулою $\lambda_j^i = \Lambda_j^i / P_X$, де навантаження $P_X = 100 \text{ Н}$.

Аналогічним чином розраховуємо переміщення вентральної та дорсальної точок перелому.

Результати розрахунків приведених переміщень та кутів повороту представлені в табл. 1 та табл. 2.



Вид із задньої сторони кістки

Рис. 2. Позначення точок перелому (зліва) та напрямки координатних осей відносно перелому

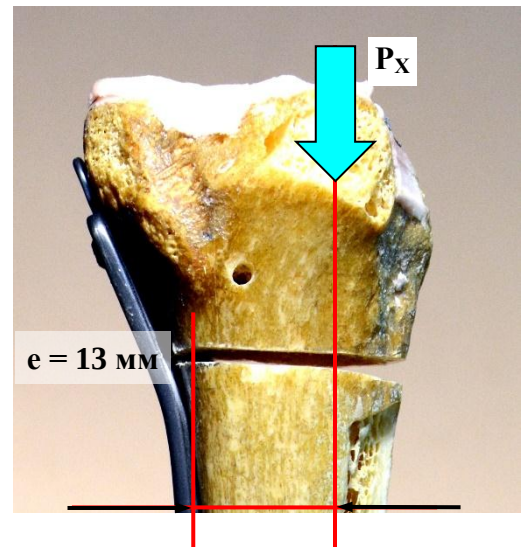
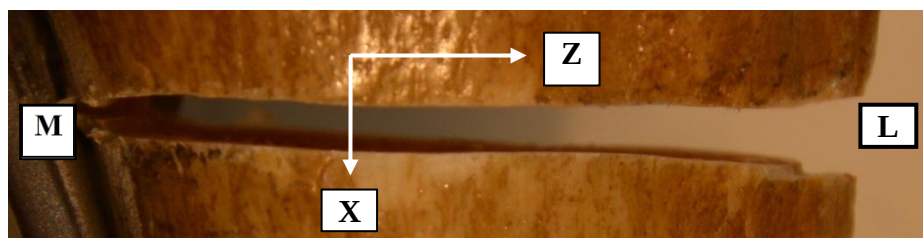
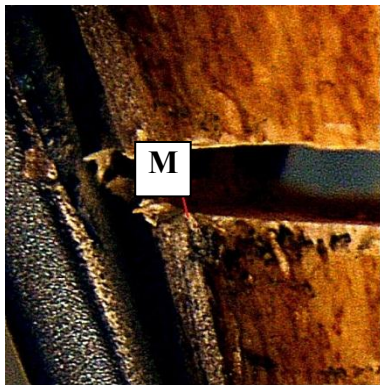


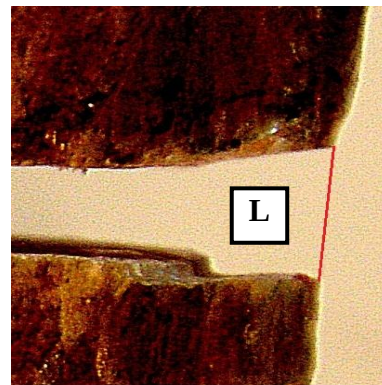
Рис. 3. Напрямок та точка прикладання сили P_x



а)



б)



в)

Рис. 4. Графічна обробка знімка перелому, закріпленого пластиною «2 М», без додаткового стискаючого навантаження (початкове навантаження $P_0 = 10 \text{ Н}$):
а) загальний вигляд перелому із задньої сторони кістки;
проекції відстаней між суміжними точками перелому на вісі X та Z:
б) медіальна область; в) латеральна область

Таблиця 1. Приведені зміщення окремих точок переломів, закріплених різними типами пластин

Тип пластини	Напрямок зміщення	Приведене зміщення $\lambda \cdot 10^3$, мм / Н				
		λ_i^M	λ_i^L	λ_i^D	λ_i^V	λ_{MAX}
2 М	Х	- 3.08	- 8.14	- 6.16	- 5.28	- 7.92
		- 3.52	- 7.92	- 7.04	- 3.96	
	У	0	0	0.88	0.88	- 0.44
		0	0	- 0.22	0	
	Z	0	0	0	0	
		- 0.44	0	0	0	

Таблиця 2. Розрахунок абсолютних та приведених кутів повороту

Тип пластини	Площина	Абсолютні кути Γ_{ij} , градуси	Приведені кути	
			$\gamma_{ij}^P \cdot 10^3$, град / Н	$\gamma_{ij}^m \cdot 10^3$, град / (Н·мм)
2 М	XoZ	0.78	7.80	0.60
		0.63	6.30	0.48
		0.06	0.60	0.05
	XoY	0.17	1.70	0.13
		0.57	5.70	0.44
		0.04	0.40	0.03

Висновки. Розроблені методика та програма випробувань великогомілкової кістки з модельованими переломами та системами фіксації. Проведена серія експериментів на одній системі фіксації перелому великогомілкової кістки. Одержані характеристики міцності та жорсткості систем фіксації великогомілкової кістки при одноразовому навантаженні.

Список використаних джерел:

1. Бур'янов О. А., Кваша В. П., Шидловський М. С. та ін. Біомеханічне обґрунтування малоінвазивних технологій лікування при переломах проксимального епіметафізу великогомілкової кістки (клініко-експериментальне дослідження) // Травма. - 2014. - Т. 15, № 1. - С. 9-14.
2. Експериментальні дослідження засобів остеосинтезу. Кол. авторів / За ред. Шидловського М.С., Лакши А.М., – К.: Ленвіт, 2017. – 277 с.

УДК 620.171.3:616.718.56

Димань М.М.¹, Доценко Г.М.¹, наук. кер. Шидловський М.С.¹, к.т.н, доц., Омелченко Т.М.², к.м.н., доц.

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», м. Київ, e-mail: hateandhope@mail.ru

²Національний медичний інститут ім. О.О. Богомольця, м. Київ

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАСОБІВ ФІКСАЦІЇ ПЕРЕЛОМІВ ВЕЛИКОГОМІЛКОВИХ КІСТОК

Вступ. Діафізарні переломи гомілки складають 11-13% від числа всіх переломів. Лікування таких переломів кісток гомілки залишається однією з найважливіших проблем травматології. Такі переломи гомілки часто супроводжуються зміщенням уламків (80% випадків). Відламки вправляються важко, після вправлення нерідко настає вторинне зміщення. Великогомілкова кістка є основною опорною кісткою, від цілості якої в основному залежить функції гомілки. Тому фіксація переломів стандартними та новими пластинами, окрім клінічних показників, повинна мати певні механічні характеристики, зокрема, достатню жорсткість та стабільність при довготривалому лікуванні, яке може супроводжуватися циклічними навантаженнями. [1]

Мета досліджень. Розробка програми проведення натурного експерименту. Вивчення деформаційних характеристик та характеристик надійності фіксації, поперечних переломів великогомілкових кісток за допомогою різних способів з'єднання.

Як **об'єкти випробувань** були взяті великогомілкові кістки людини з переломами області дистального епіметафізу та різними способами фіксації. На рис. 1 зображено моделі систем остеосинтезу великогомілкових кісток, що були випробувані.

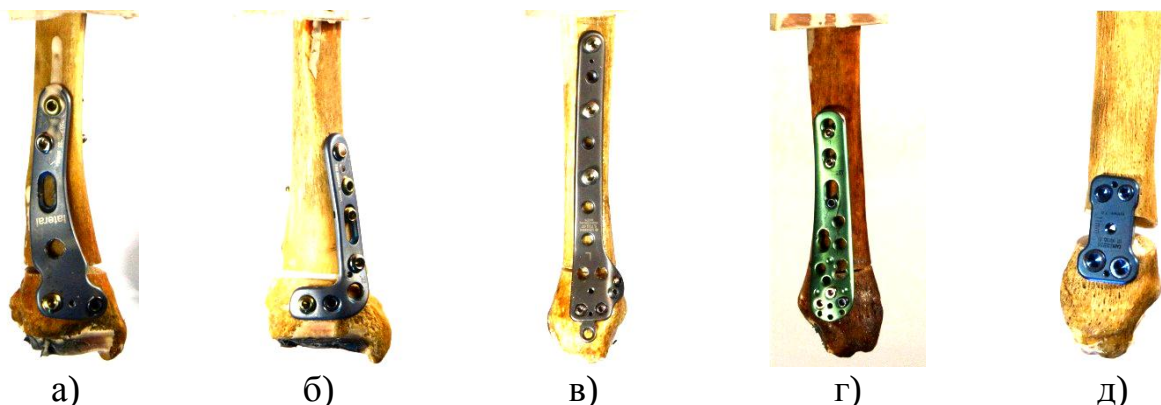


Рис. 1. Спосіб фіксації переломів: а) латеральна пластина 1L, б) медіальна 1М, в) медіальна 2М, г) медіальна 3М, д) Х-подібна медіальна 4М

Підготовка зразків до випробувань. Перед вимірювання біомеханічних характеристик на зразках моделювали переломи, які фіксували запропонованими різними способами. Переломи моделювали шляхом поперечної остеотомії осциляторною пилкою. Для запобігання виникнення локальних деформацій кортикального шару у місці контакту на поверхню кістки наносили шар пластмаси Протакрил-М [2].

Методика випробувань. Підготовлені зразки закріплювали на робочому столі універсальної випробувальної машини. Зусилля на зразок при випробуваннях передавали за допомогою сталевої кульки. Швидкість деформування зразка становила 2,5 мм/хв. Попереднє навантаження становило 10 Н. Випробування проводили на стиск, згин і кручення. Зусилля $P_{\max}$ варіювалось у межах від 20 Н до 100 Н. Зусилля та переміщення вимірювали динамометром, сигнал з якого поступав в мікропроцесор випробувальної машини. Для вимірювання переміщень на відстані 280 мм від зразка встановлювали дзеркальну цифрову фотокамеру Nikon D 5200 [3].

Результати випробувань. Результати вимірювань та розрахунків зображені на рис. 2 та рис. 3. На рис. 2. наведені результати вимірювання жорсткостей фіксації, визначених за початковими ділянками діаграм деформування великогомілкових кісток.



Рис. 2. Жорсткості фіксації великогомілкових кісток різними способами при стиску (а), згині (б) та крученні (в)

На рис. 3. приведені результати обробки фотознімків, що одержані при випробуваннях зразків на міцність після прикладання одноразових стискаючих, згинаючих та крутильних навантажень у діапазоні 10...100 Н.

При дії стискаючих, згинаючих та крутильних навантажень найбільшу жорсткість мають системи фіксації з титановою Х-подібною медіальною пластиною «4М» та медіальна титанова пластина «1М».

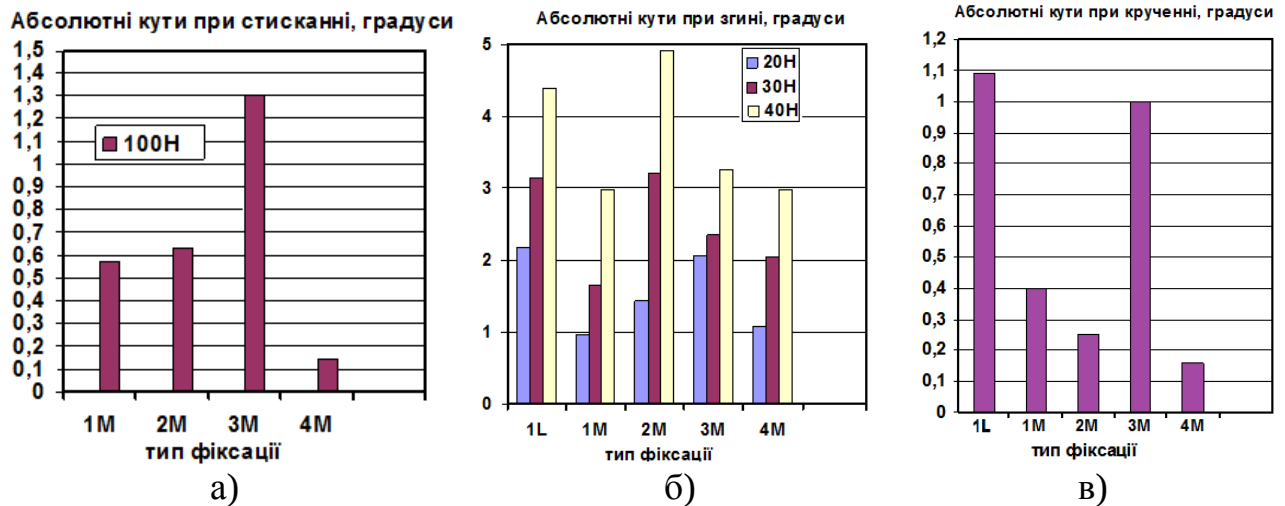


Рис. 3. Абсолютні кути зміщень точок перелому великогомілкових кісток при стиску (а), згину (б) та крученні (в)

Висновки.

Процес деформування систем фіксатор-кістка залежить як від типу фіксації та конструкційних особливостей засобу остеосинтезу, так і від виду навантаження (стискування кістки, її згинання або кручення).

Найбільш небезпечними видами навантажень з точки зору стабільності деформацій кісток з переломом та встановленим фіксатором є згинальні навантаження.

За більшістю вимірних характеристик перевагу мають Х-подібна медальна титанова пластина «4М» та медіальна титанова пластина «1М».

Список використаних джерел

1. Бур'янов О.А., Кваша В.П., Шидловський М.С., Скобенко Є.О., Соболевський Ю.Л., Лакша А.М., Омельченко Т.М., Головчак А.В. Біомеханічне обґрунтування малоінвазивних технологій лікування при переломах проксимального епіметафізу великогомілкової кістки (клініко-експериментальне дослідження) // Травма. – 2014. – Т.15, № 1. – С.9-14.
2. Нікітін П.В., Лакша А.М., Шидловський М.С. Визначення та порівняння жорсткості фіксації перелому таранної кістки при використанні різних методик остеосинтезу (експериментальне дослідження) // Вісник ортопедії, травматології та протезування. – 2004, №4. – С. 44-49.
3. Шидловський М.С., Лакша А.М., Шпак Д.Ю. Застосування уніфікованих характеристик деформування систем остеосинтезу в біомеханічних дослідженнях // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Вип.137/2013. Серія: Механіка, енергетика, екологія. – Севастополь, 2013. – С. 142-147.

УДК 620.17:616.71

Мусієнко О.С.¹ *наук. кер. Шидловський М.С.¹, к.т.н, доц., Лакиша А.М.², д.м.н., проф.*

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», e-mail: olga.musinko@mail.ru

²Українська військово-медична академія, м. Київ

МЕТОД ОЦІНКИ ЖОРСТКОСТІ СТЕРЖНЕВИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ФІКСАЦІЇ ВОГНЕПАЛЬНИХ ПЕРЕЛОМІВ

Взаємодія снаряду, що ранить з кісткою призводить до деградації (руйнуванню) кісткової тканини (КТ) не лише в місці контакту, але і на відстані приблизно 40 мм, за рахунок розповсюдження ударної хвилі [1, 2]. Це викликає зміни біомеханічних характеристик кісткової тканини в областях віддалених від місця раневого каналу (рис. 1). При розміщенні засобу, що фіксує перелом, необхідно враховувати цю обставину і уникати установки елементів фіксації (стержнів) в пошкоджену кісткову тканину.

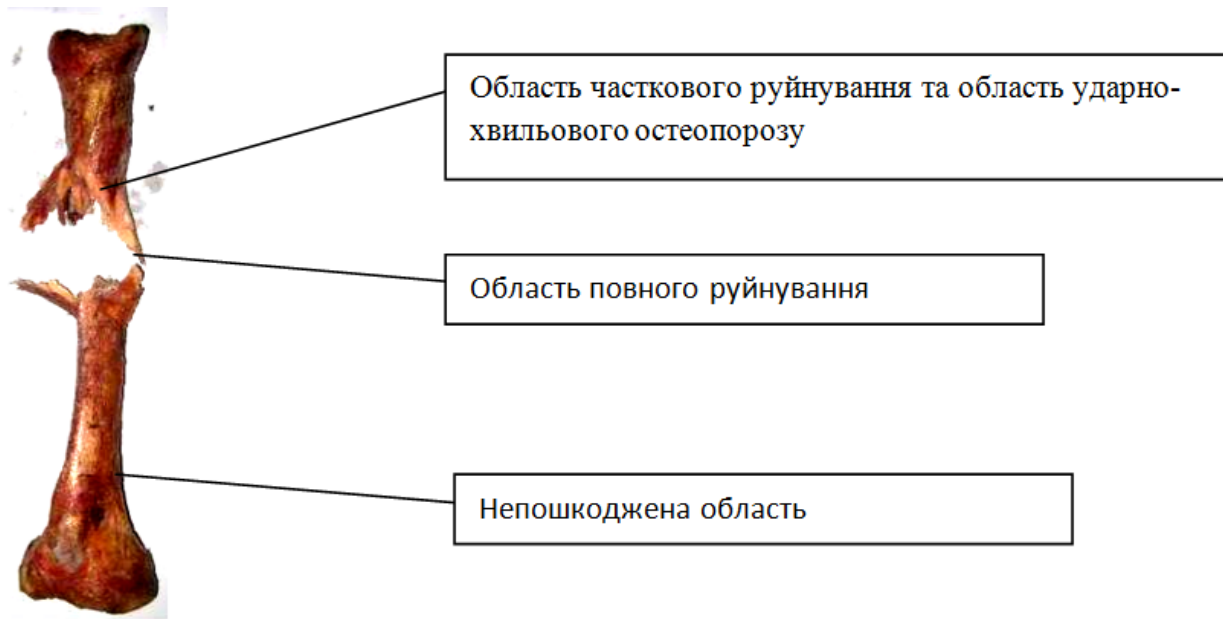


Рис. 1. Зміна структури кістки у області вогнепального поранення

В той же час при збільшенні відстані між стрижнями частково втрачається загальна жорсткість системи остеосинтезу, що може привести до виникнення великих взаємних зсувів частин перелому під дією зовнішніх навантажень і до загального зниження функціональної надійності системи фіксації перелому.

Відсутність в літературі рекомендацій щодо розташування стержнів для фіксації переломів при вогнепальних пораненнях ставить задачу розробки методики визначення раціонального розташування фіксаторів.

Зазвичай при переломі довгих кісток стержні фіксують поблизу до місця руйнування (рис. 2а). При вогнепальних пораненнях стрижні 2^I і 3^I не бажано розміщувати в пошкодженій кістковій тканині, їх краще змістити в неушкоджену область, але при цьому збільшується відстань між стрижнями 2 і 3 L_n , а під дією навантажень виникають суттєві деформації штанги і стрижнів (рис. 2б), жорсткість системи знижена. При цьому відбувається деформація кістки.

Переміщення в місці зламу та кути повороту перелому пропорційні згинальному моменту сил і відстані між стрижнями 2 і 3:

Таким чином, збільшення відстані між стрижнями 1 і 2 призводить до збільшення взаємних переміщень частин перелому під дією зовнішніх навантажень. І навпаки, чим менше відстань, тим більше жорсткість фіксації перелому.

Тому було запропоновано розташування стрижнів під кутом при вогнепальне поранення зменшує відстань між стрижнями 2 і 3 (рис. 2в).

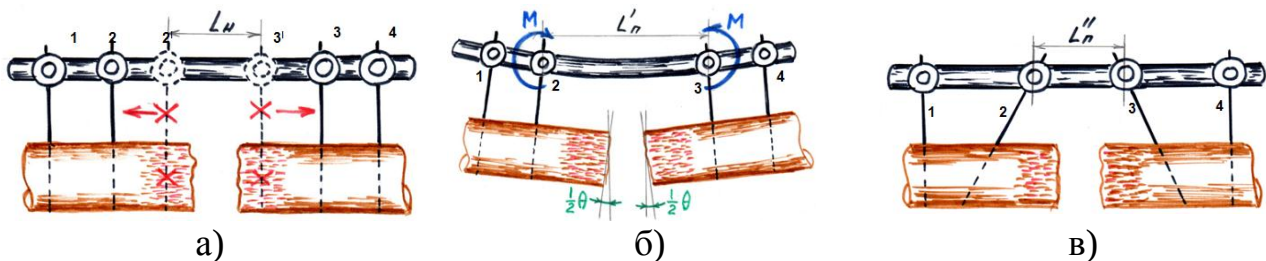


Рис. 2. Схема розташування стрижнів

Для дослідження впливу способу розміщення стрижнів в апараті фіксації розроблене приладдя, яке дозволяє розміщувати стрижні 2 та 3 перпендикулярно поздовжній осі кістки та нахилити ці стрижні на кути 15° та 30° .

Приладдя складається з таких елементів (рис. 3 та 4):

- чотири кільця з отворами, просвердленими під кутом 0° , 15° та 30° до діаметральної осі;
- два сталевих стрижня, які замінюють кістку з переломом на першому етапі досліджень.

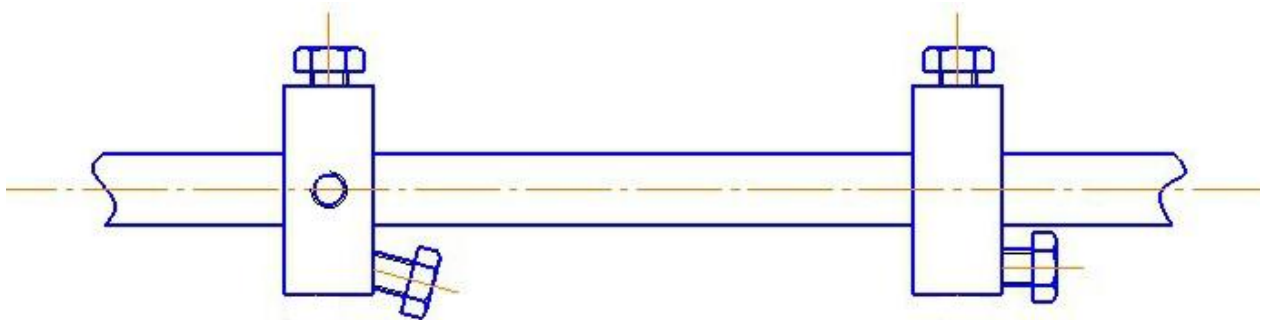


Рис. 3. Приладдя для закріплення стрижневого апарату, що має фіксатор (зліва) з 3-ма варіантами кутів розташування стрижнів

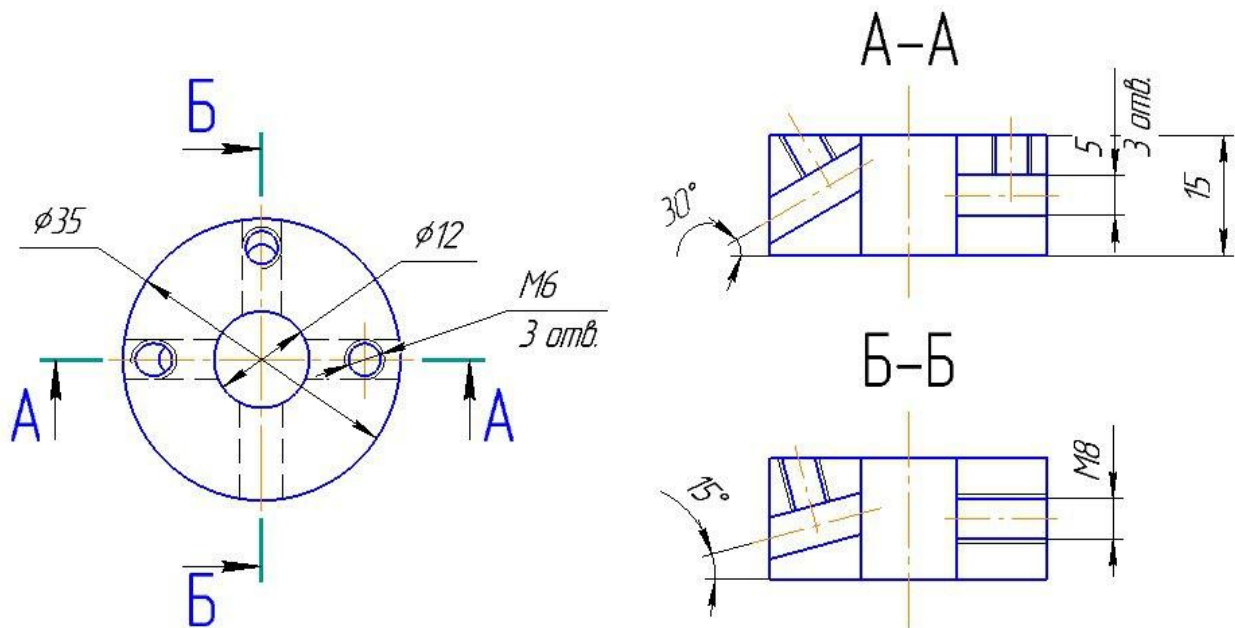


Рис. 4. Технічне креслення фіксатора з 3-ма варіантами кутів розташування стрижнів СтАВФ

Вплив кутів нахилу стрижнів на жорсткість системи «кістка з переломом - система фіксації перелому» вивчали на стандартному стрижневому апараті.

Після проведення випробувань за допомогою приладдя, що описано вище, дослідження проводили з використанням натурних препаратів (великоомілкових кісток).

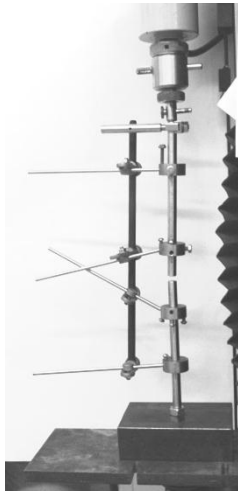
Для визначення жорсткості системи проводили її стиск у поздовжньому напрямі. Систему встановлювали на рухомому столі випробувальної машини, навантаження прикладали шляхом вертикального переміщення стола.

При випробуванні реалізовано 4 види навантаження: стиск (рис. 5а), згин у площині розміщення стрижнів (рис. 5б), згин перпендикулярно цій площині (рис. 5в) та кручення (рис. 5г).

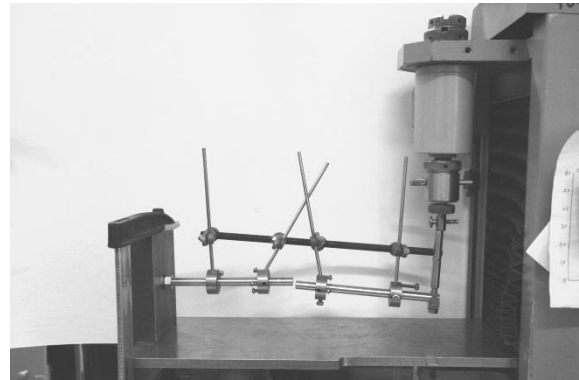
По закінченні дослідження отриману інформацію фіксували у вигляді діаграми деформування в координатах «зусилля - деформація».

Висновки. Розроблено обладнання та методика визначення раціонального розташування елементів стрижневого апарату зовнішньої фіксації з врахуванням пошкодження кісткової тканини в області вогнепального перелому. Приладдя дозволяє проводити при зміні кутів нахилу стрижнів від 90 до 60°.

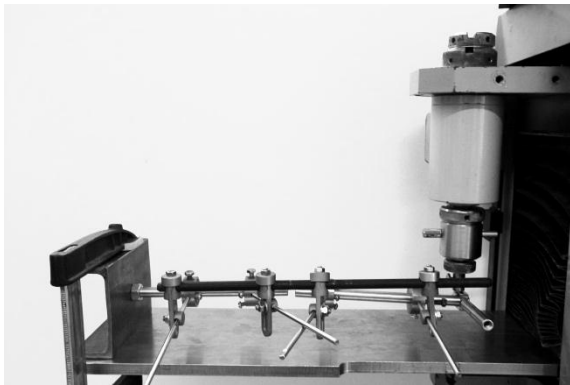
Визначення жорсткості апаратів фіксації вогнепальних переломів кісток проводяться при стиску, згині та крученні.



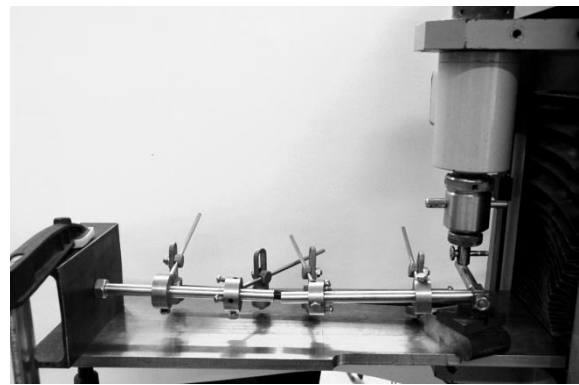
а)



б)



в)



г)

Рис. 5. Види навантаження системи СТАВФ: а) стиск; б), в) згин; г) кручення

Список використаних джерел

1. Гайдаш А.А., Синица Л. Н., Баширов Р.С. и др. Тонкая структура кости и разрушение костной ткани при импульсном нагружении (к проблеме ударно-волнового остеопороза) // Современная баллистика и смежные вопросы механики: Материалы Всерос. науч. конф. – Томск: ТГУ, 2009. – С.19-22.
2. Ищенко А.Н., Белов Н.Н., Гайдаш А.А. и др. Структурные механизмы и математическое моделирование разрушения костной ткани при высокоскоростном ударе // Медицина экстремальных ситуаций – 2011. – С.15- 23
3. Лакша А.М., Шидловский Н.С., Ковбаса Н.Л., Лакша А.А. Метод оценки биомеханических характеристик костной ткани в области огнестрельного перелома // Матеріали науково-практичної конференції "Проблеми біомеханіки та медичного матеріалознавства" – Київ, 2013. – Літопис травматології та ортопедії, №1-2/2014 (29-30). – С.208.

УДК 620.17:616.71

Мусієнко О.С.¹, Стасевич О.Д.¹, *наук. кер. Шидловський М.С.¹, к.т.н, доц., Ла-
кша А.М.², д.м.н., проф.*

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інсти-
тут ім. Ігоря Сікорського», e-mail: olga.musinko@mail.ru

²Українська військово-медична академія, м. Київ

ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗТАШУВАННЯ СТЕРЖНІВ В АПАРАТАХ ЗОВНІШНЬОЇ ФІКСАЦІЇ ВОГНЕПАЛЬНИХ ПЕРЕЛОМІВ

При влученні снаряду у кістку відбувається руйнування кісткової тканини. Через велику швидкість снаряду (кулі), за рахунок чого вона має велику інерцію, кістка руйнується додатково на відстані до 40 мм від місця влучення. При такій умові встановлювати стержневий апарат зовнішньої фіксації (СтАЗФ) за схемою, що використовується для звичайного (не вогнепального) перелому кістки, недопустимо, так як стрижні, що знаходяться поблизу місця перелому, потраплятимуть у пошкоджену кісткову тканину. Рациональне розміщення стержнів в СтАЗФ підвищує жорсткість системи та запобігає недопустимим зміщенням частин перелому при транспортування постраждалих в результаті вогнепальних та інших поранень.

Для дослідження впливу кутів нахилу стержнів на жорсткість системи «кістка з переломом - СтАЗФ» використано два варіанта системи закріплення: 1-й – СтАЗФ, розміщений на двох металевих стрижнях, кожен з яких має фіксатор, що дає змогу закріплювати стержні СтАЗФ під кутами 15°, 30°, 90°; 2-й – СтАЗФ закріплений на натуральній кістці під тими ж самими кутами, що і у 1-му варіанті.

Для визначення механічних властивостей зразка проводили його компресійне навантаження за допомогою універсальної випробувальної машини. Систему встановлювали на рухомому столі машини. Навантаження прикладали шляхом вертикального переміщення стола. Результати випробувань реєстрували у вигляді діаграми деформування в координатах «зусилля - деформація». Проводили чотири види навантаження – стиск, кручення, згин у двох напрямках (у площині розміщення стержнів та у перпендикулярній площині). Результати випробувань приведено для системи металевих стрижнів при стандартному розміщенні стержнів (перпендикулярно поверхні кістки) та під кутом 30°.

Діаграми деформування у координатах «навантаження, Н - переміщення, мм» зображені на рис. 1 (стандартне розміщення спиць) та рис. 2 (спиці з нахилом 30° відносно перпендикуляру до поверхні кістки).

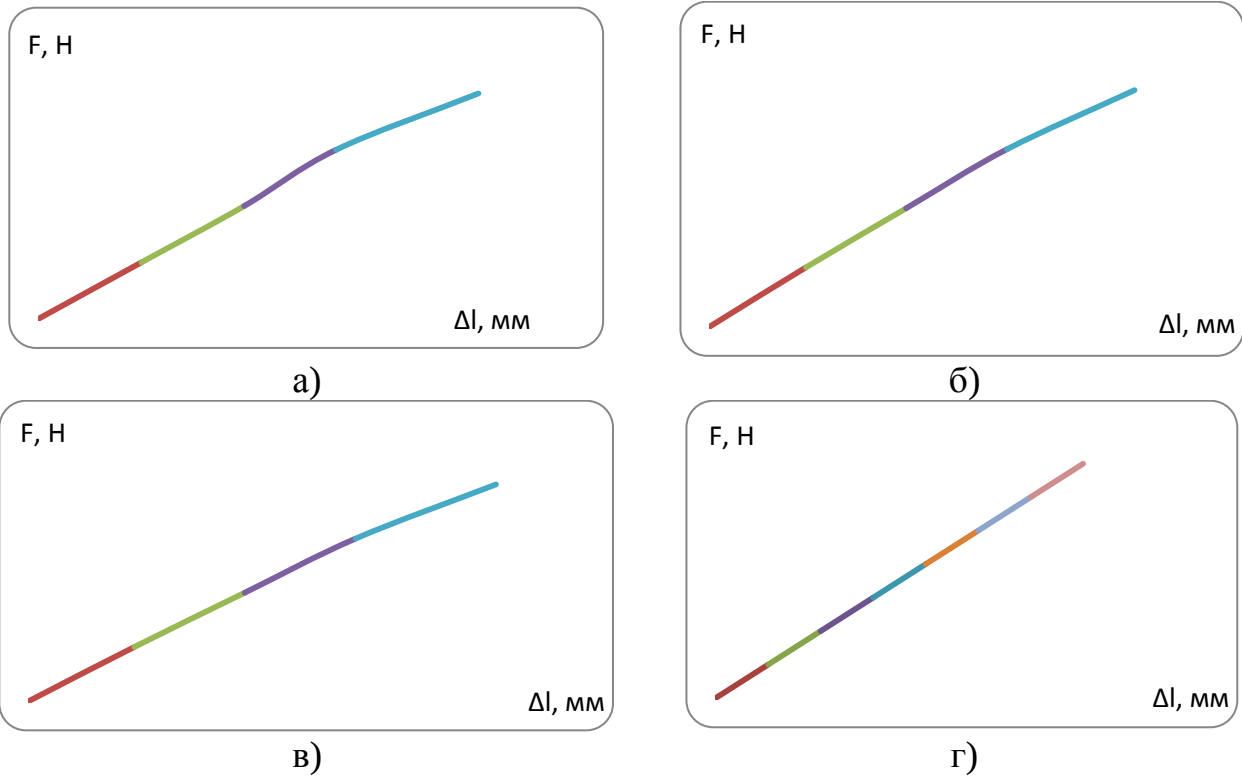


Рис. 1. Діаграми деформування СтАЗФ з стандартним розташуванням стержнів: а) згин поперек площини розміщення стрижнів, б) згин у площині розміщення стержнів, в) кручення, г) стиск

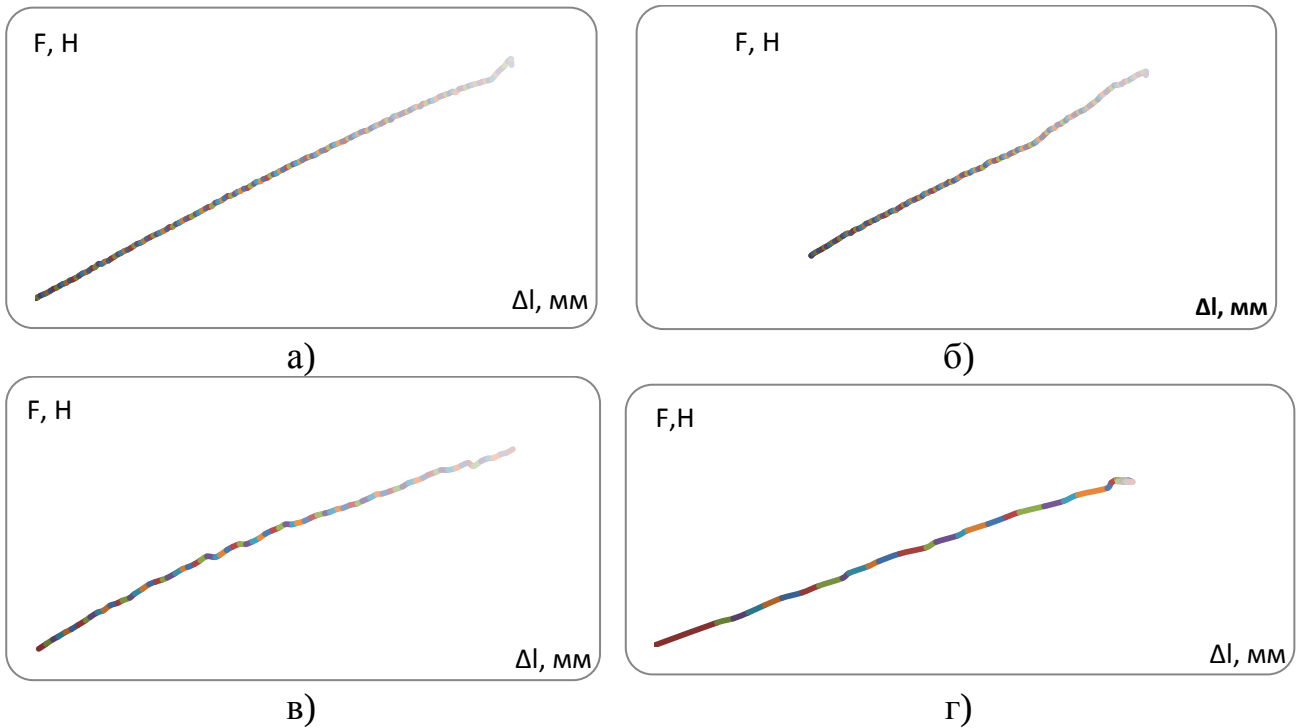


Рис. 2. Діаграми деформування СтАЗФ з розташуванням стержнів під кутом 30°: а) згин поперек площини розміщення стрижнів, б) згин у площині розміщення стержнів, в) кручення, г) стиск

Видно, що досліджені системи в дослідженому діапазоні зусиль практично лінійні. Тому для порівняння способів розташування стержнів у СтАЗФ доцільно використовувати приведені деформації як відношення абсолютної загальної деформації системи (переміщення точки прикладання навантаження) до навантаження (мм/Н).

Як приклад, у табл. 1 наведені результати розрахунків приведених деформацій СтАЗФ з різними кутами нахилу стержнів.

Таблиця 1. Результати випробувань СтАЗФ з двома варіантами розміщення стержнів

<i>Вид навантаження</i>	<i>Приведена деформація δ, Н/мм</i>	
	<i>Стандартне розміщення стержнів</i>	<i>Розміщеними стержнів під кутом 30°</i>
<i>Стиск</i>	0,016	0,012
<i>Згин у напрямку 1</i>	0,518	0,357
<i>Згин у напрямку 2</i>	0,295	0,280
<i>Кручення</i>	0,130	0,126

Висновки.

Випробування показали, що кут нахилу стержнів суттєво впливає на загальну жорсткість системи «кістка з модельованим переломом - стержневий апарат зовнішньої фіксації».

Збільшення кута нахилу стержнів підвищує жорсткість системи при стиску та при згині у площині закріплення стержнів та в меншій мірі впливає на жорсткість при крученні та згині в площині, що перпендикулярна стержням.

Список використаних джерел

1. Гайдаш А.А., Сеница Л. Н., Баширов Р.С. и др. Тонкая структура кости и разрушение костной ткани при импульсном нагружении (к проблеме ударно-волнового остеопороза) // Современная баллистика и смежные вопросы механики: Материалы Всерос. науч. конф. – Томск: ТГУ, 2009. – С.19-22.
2. Ищенко А.Н., Белов Н.Н., Гайдаш А.А. и др. Структурные механизмы и математическое моделирование разрушения костной ткани при высокоскоростном ударе // Медицина экстремальных ситуаций – 2011. – С.15- 23
3. Лакша А.М., Шидловский Н.С., Ковбаса Н.Л., Лакша А.А. Метод оценки биомеханических характеристик костной ткани в области огнестрельного перелома // Матеріали науково-практичної конференції "Проблеми біомеханіки та медичного матеріалознавства" – Київ, 2013. – Літопис травматології та ортопедії, №1-2/2014 (29-30). – С.208.

УДК 620.171.3:616.718.71

Мусієнко О.С., Єрмак А.А., Пакета Б.Г., наук. кер. Шидловський М.С., к.т.н, доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», e-mail: olga.musinko@mail.ru

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРУЖНОСТІ ТА РЕЛАКСАЦІЯ НАПРУЖЕНЬ КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ НИЖНІХ КІНЦІВОК ЛЮДИНИ

Удосконалення хірургічних методів лікування кісткових травм і, зокрема, оптимізація існуючих та розробка нових систем фіксації переломів, побудова сучасних математичних моделей кісток людини, вивчення взаємодії кістки із штучними імплантатами, фіксуючими пристроями, різноманітними лікувальними апаратами, неможливі без всебічного вивчення фізико-механічних властивостей кісткової тканини (КТ) людини.

Розглядаючи наведені в літературі дані (навіть обмежуючись лише неуразженими кістковими тканинами), можна відзначити значні розбіжності в абсолютних значеннях основних характеристик пружності матеріалу.

Так, модулі пружності кортикальної кістки, виміряні в різних джерелах, коливаються в діапазоні від 4 до 22 ГПа, губчастої кісткової тканини від 0,05 до 1,5 ГПа і більше [1, 2, 3, 4].

Ці розбіжності можна пояснити

- складністю об'єктів досліджень з точки зору їх структури і властивостей,
- неможливістю отримання достатнього обсягу матеріалу для формування уніфікованих зразків в необхідній кількості,
- використанням різних методик і відмінністю умов проведення досліджень, які могли істотно впливати на отримані результати.

Метою даного дослідження було вивчення механічних характеристик кісткової тканини, з урахуванням їх структурної та механічної анізотропії.

В дослідженні використовували зразки виготовлені з різних частин трупних кісток людини. Зразок з кожної ділянки піддавали двом видам навантаження.

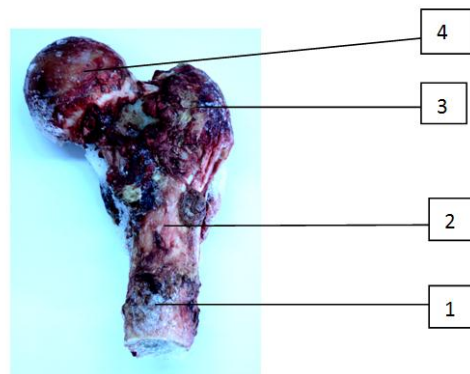
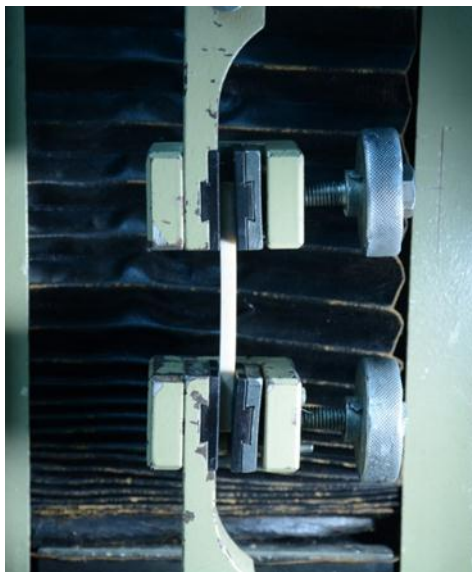


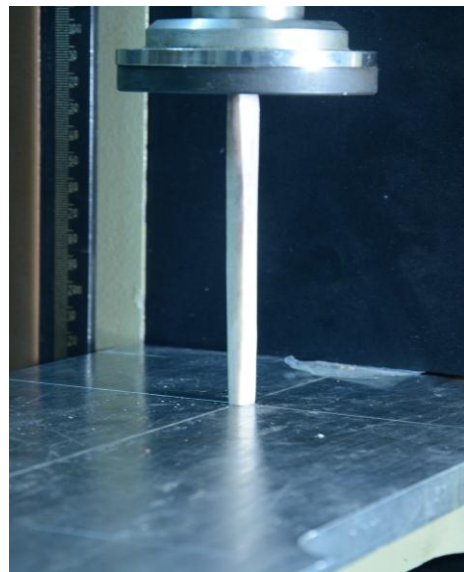
Рис. 1. Частина стегнової кістки із зонами з яких брали зразки КТ

Отримані фрагменти кістки мали різноманітні розміри, форму і в ряді випадків складалися з різних типів кісткової тканини. Перед проведенням дослідження ці фрагменти піддавали механічній обробці, надаючи їм правильної геометричної форми у вигляді прямокутного паралелепіпеда. Для досягнення паралельності торців циліндра або граней паралелепіпеда проводили 3-4 послідовних операції шліфування на спеціально розробленому шліфувальному пристрої.

Для визначення механічних властивостей зразка проводили його компресійне та розтягуюче навантаження за допомогою універсальної випробувальної машини TIRAtest-2151. При стиску зразок встановлювали на рухомому столі випробувальної машини, а безпосередньо над ним розташовували жорстко закріплену шарнірну платформу, діаметр якої перевищував розміри зразка. Навантаження прикладали шляхом вертикального переміщення рухомого стола машини. Зусилля стиску вимірювали динамометром, сигнал з якого поступав в мікропроцесор випробувальної машини. При розтягу зразок фіксували у спеціальних захватах. Навантаження прикладали шляхом вертикального переміщення нижнього захвата машини.



а)



б)

Рис. 2. Випробування довгого зразка (а-розтяг, б-стиск)

По закінченні дослідження отримана інформація фіксувалася у вигляді діаграми деформування в координатах зусилля-деформація. Для вивчення ступеня механічної анізотропії кісткової тканини навантаження зразків прямокутної форми проводили в 2-х взаємно перпендикулярних площинах із зусиллям, що не виходило за межі пружного діапазону. Модуль Юнга розраховували, як тангенс нахилу лінійної ділянки діаграми деформування в координатах σ - ϵ_k де σ - напруження, ϵ_k - відносна деформація зразка кістки.

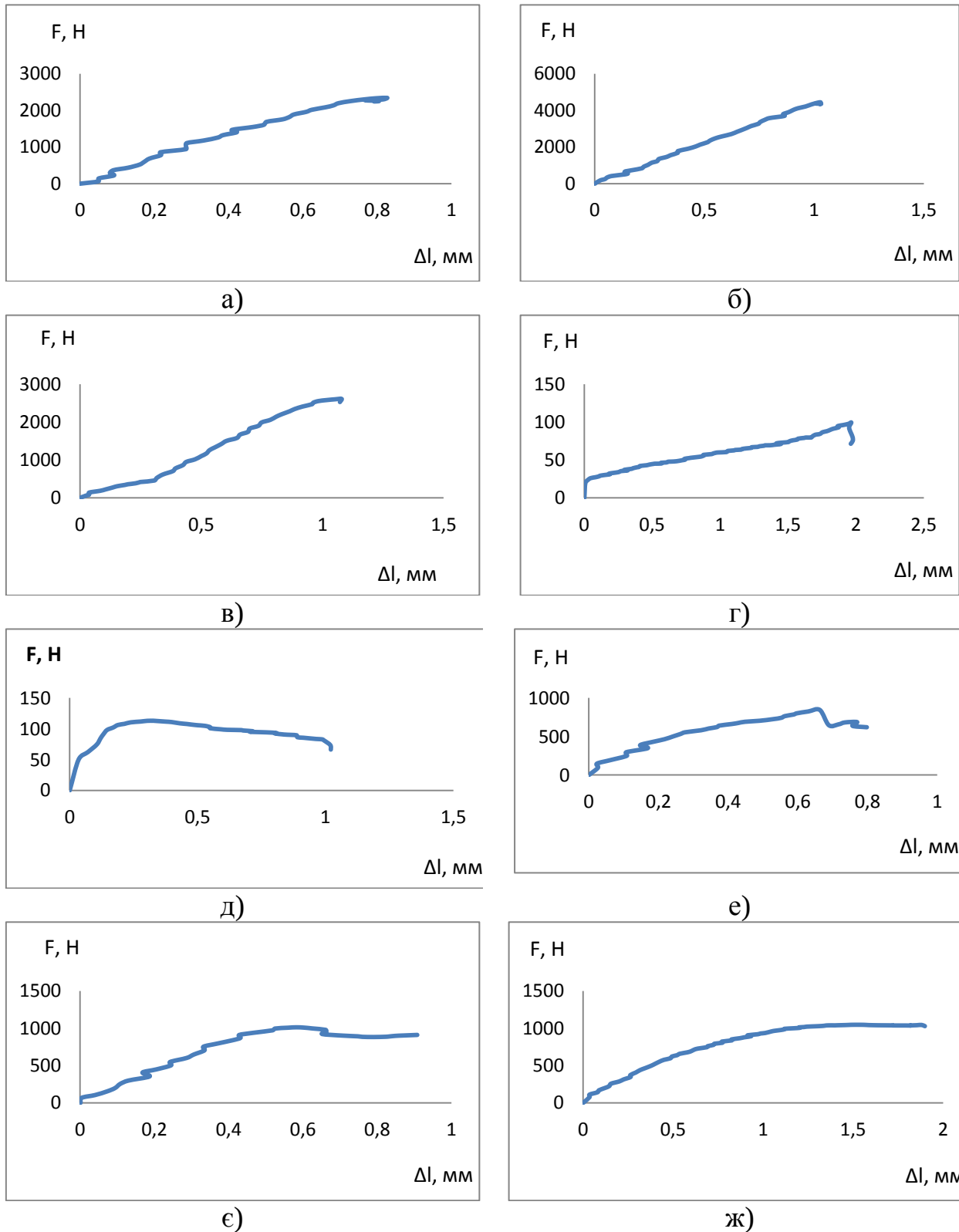


Рис. 3. Діаграми деформування зразків: а) ділянка 1 вздовж волокон, б) ділянка 1 поперек волокон, в) ділянка 2 вздовж волокон, г) ділянка 2 поперек волокон, д) ділянка 3 вздовж волокон, е) ділянка 3 поперек волокон, є) ділянка 4 вздовж волокон, ж) ділянка 4 поперек волокон

Таблиця 1. Модулі пружності зразків

Область з якої взяли зразок (рис. 1)	Тип КТ	Модуль пружності, МПа	
		Вздовж волокон	Поперек волокон
1	кортикальна	9098	3934
2	губчаста	232	5
3	губчаста	159	22,5
4	губчаста	210	140

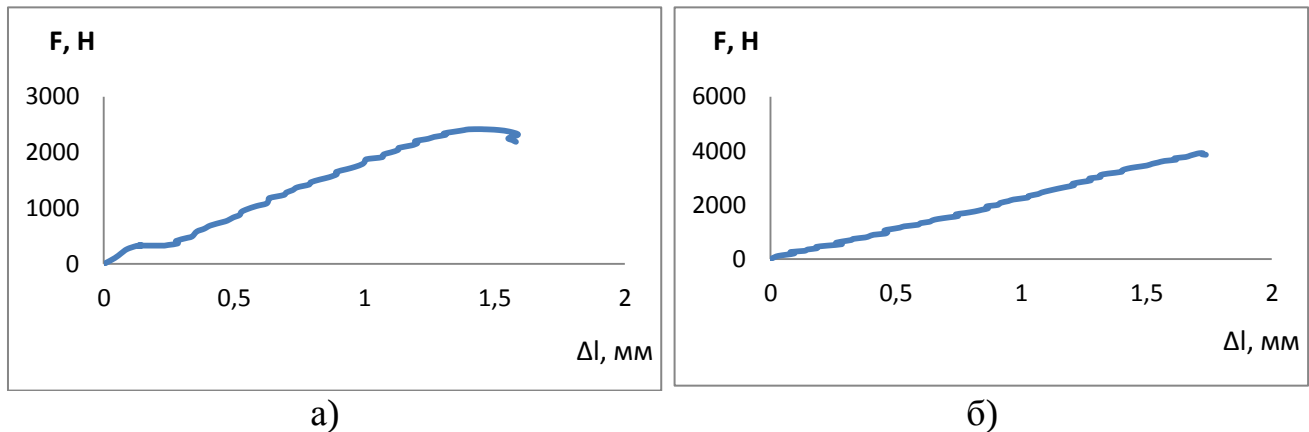


Рис. 4. Діаграми деформування довгих зразків: а) розтяг, б) стиск

Висновки. Отримані нові дані про пружні характеристики КТ. Оцінено вплив знаку навантаження на величину модуля пружності.

Список використаних джерел:

1. Кадурін О. К., Вирва О. Є., Леонтьєва Ф. С. Біофізичні властивості компактної кісткової тканини. — Х.: Прапор, 2007.— 136 с.
2. Arendts F.J., Sigolotto C. Mechanical characteristics of the human mandible and study of in vivo behavior of compact bone tissue, a contribution to the description of biomechanics of the mandible-II // Biomed Tech. 1990 35(6):123-30.
3. Misch CE, Qu Z, Bidez MW. Mechanical properties of trabecular bone in the human mandible: implications for dental implant treatment planning and surgical placement. J Oral Maxillofac Surg. 1999 Jun; 57(6):700-6;
4. Schwartz-Dabney C.L., Dechow P.C. Variations in cortical material properties throughout the human dentate mandible // American journal of physical anthropology 120:252–277 (2003).

УДК 620.17:616.31

Дубневич Я.М.¹, Павличук Т.О.², наук. кер. Шидловський М.С.¹, к.т.н, доц.,
Копчак А.В.², д.мед.н., проф.

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, e-mail: dubnewitsch@yandex.ru

²Національний медичний інститут імені О.О. Богомольця, м. Київ, e-mail: tanyapavlychuk17@gmail.com

ХАРАКТЕРИСТИКИ МІЦНОСТІ СИСТЕМИ ФІКСАТОР-КІСТКА ПРИ ВНУТРІШНЬОСУГЛОБОВИХ ПЕРЕЛОМАХ НИЖНЬОЇ ЩЕЛЕПИ

Лікування переломів нижньої щелепи передбачає точне співставлення та надійну фіксацію уламків на період формування повноцінного кісткового зростання. Це зумовлює необхідність удосконалення способів визначення біомеханічних характеристик систем остеосинтезу зазначених об'єктів. Переломи голівок виросткових відростків (ПГВВ) складають від 9 до 16% всіх переломів нижньої щелепи та привертають до себе увагу дослідників через зростання кількості незадовільних клінічних результатів при лікуванні таких пацієнтів (Yamaoka et al., 1994; He et al., 2009). Класифікація таких переломів описана Neff (Neff et al., 2004, 2014). Хірургічному лікуванню підлягають типи В та С. Згідно останніх уявлень такі переломи фіксуються за допомогою гвинтового остеосинтезу. Стандартним рішенням є використання титанових гвинтів, яке має ряд недоліків, таких як виступ гвинта за голівку відростка та необхідність ре-операції для видалення останнього. Використання резорбтивних шурупів з D-, L- полілактиду (PDLA), активація яких відбувається за допомогою ультразвуку являється інноваційним рішенням для вирішення даної клінічної задачі.

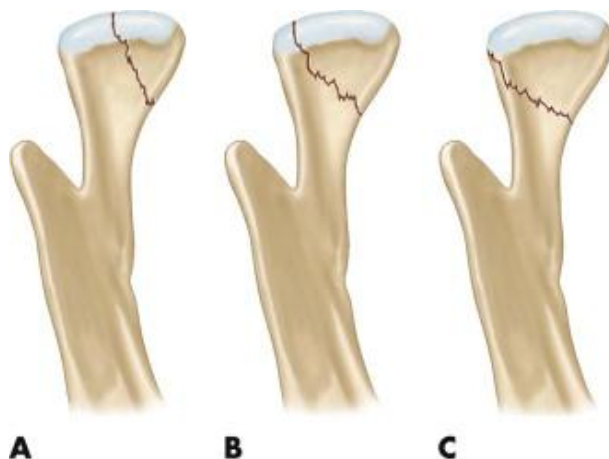


Рис. 1. Типи переломів голівок виросткового відростка нижньої щелепи: тип А – лінія перелому проходить через середню частину голівки, тип В – лінія перелому проходить через бокову частину, тип С – поблизу прикріплення капсули

Проведення порівняльної оцінки деформаційної здатності двох систем при фіксації ПГВВ типу В та матеріалу з якого виготовлено фіксатор: титан та PDLA.

Класичні ПГВВ нижньої щелепи по типу В було відтворено шляхом остеотомії 6 трупних щелеп людини. Для фіксації уламків застосовували традиційні титанові шурупи діаметром 2.0 мм, довжиною 15 мм та шурупи виготовлені з полі-D,L-молочної кислоти (PDLA) діаметром 2.0, довжиною 15 мм. Для активації та фіксації шурупів з PDLA використовували ультразвуковий апарат SonicWeld RX.



Рис. 2. Контрольна рентгенографія щелепи після фіксації переломів титановим гвинтом (R) та PDLA (L)

Препарати нижньої щелепи після проведення остеосинтезу навантажували в універсальній випробувальній машині TIRA-test, відтворюючи типові варіанти деформування зони перелому.

В ході експерименту був відтворений зсув у фронтальній (XZ) та сагітальній (YZ) площинах, що відповідали функціональним умовам деформування щелепи під дією латерального крилоподібного м'язу. Хоча ці типи деформацій повною мірою не відтворюють складні умови деформування суглобової голівки в процесі жування, вони дозволили здійснити порівняння різних способів фіксації, зрозуміти основні закономірності поведінки фіксаторів та передбачити низку проблем, що можуть виникати при застосуванні того чи іншого матеріалу.

Особливості закріплення і навантаження препарату в дослідній машині визначалися типом деформації, що відтворювалась. Навантаження прикладали в ділянці голівки суглобового відростку нижньої щелепи через жорсткий сталевий стрижень, з'єднаний з динамометром дослідної машини, шляхом вертикального переміщення рухомого стола дослідної машини до повного руйнування зразка. Для реєстрації взаємного переміщення уламків застосовували цифрову фотокамеру Nikon D5200 в режимі макрозйомки, встановлену на жорстко закріпленому штативі.



Рис. 3. Руйнування системи фіксатор-кістка при навантаженні зсувом

Діаграми деформування та їх обробка

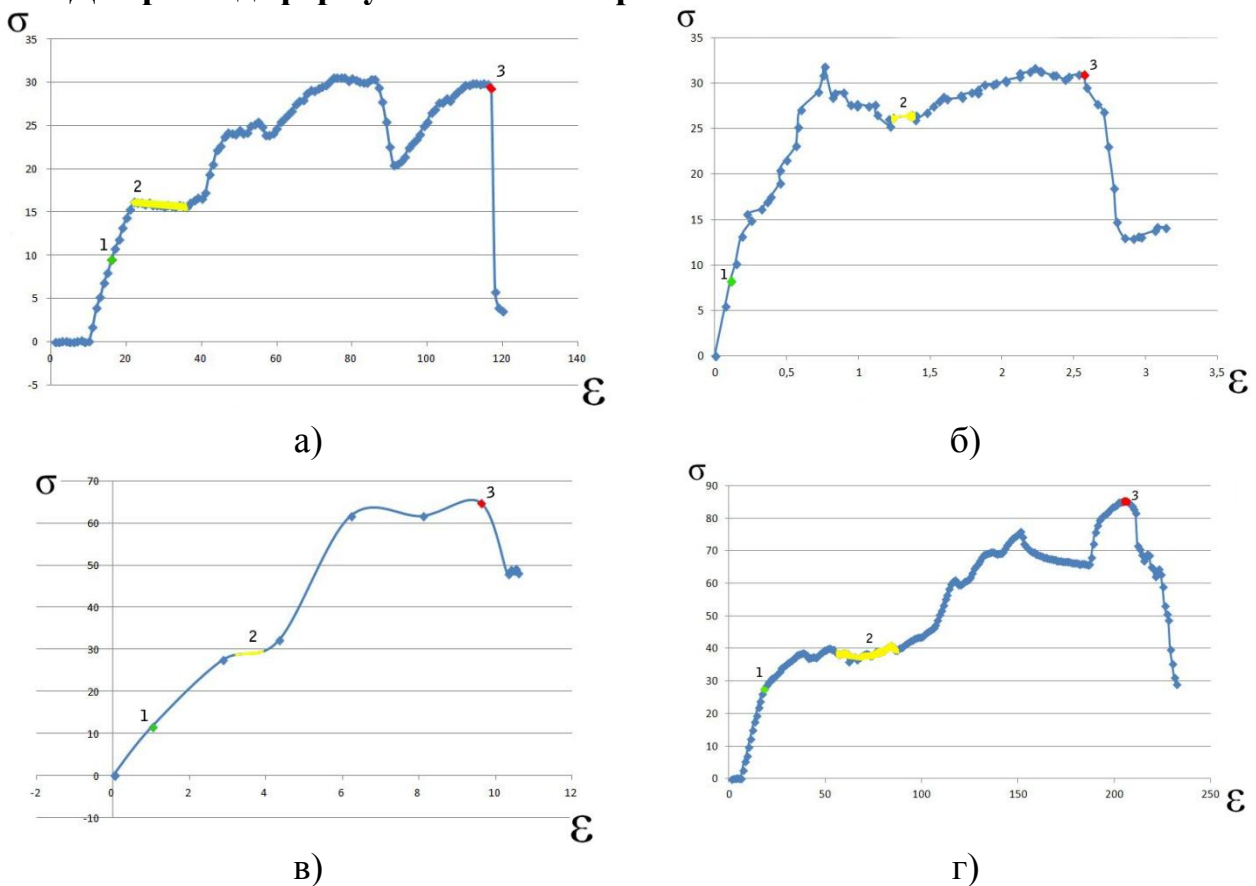


Рис. 4. Діаграми деформування зразків з фіксацією PDLA (а, б) та титаном (в, г): 1 – лінійна область; 2 – початок руйнування; 3 – повне руйнування

Для діаграм деформування (рис. 4) характерна нелінійність, зумовлена головним чином виникненням незворотних деформацій та руйнуванням кістки у випадках титанового з'єднання або руйнування фіксатора PDLA, а також пластичною деформацією фіксатора. Підтвердженням цьому була досить значна залишкова деформація, яку відзначали після розвантаження системи. При великих деформаціях в площині відтвореного перелому відзначали появу крутильного моменту і зсувів, що зменшували площу контакту кісткових уламків в зоні стиску.

Найбільшу жорсткість (біля 85 Н/мм) виявляла система фіксації з використанням титанового гвинта при випробуванні другого зразка (табл. 1). Деформація системи в цьому випадку розвивалась за лінійним законом.

Як свідчать результати проведеного дослідження жорсткість різних способів фіксації, а саме титанових та полілактидних гвинтів суттєво відрізняється. Навіть при відтворенні відносно простих стандартних умов деформування в більшості випадків відзначали складну нелінійну залежність між навантаженням і величиною взаємного зміщення уламків. Останнє було пов'язано із особливою механічною поведінкою кісткової тканини навколо елементів фіксації.

Таблиця 1. Величини навантаження та значення характерних точок на діаграмах

Характеристика	№ зразка								
	1		2		3		4	5	6
	L	R	L	R	L	R	L	L	L
Границя пропорційності, Н	9,52	11,7	8,28	26,2	6,39	26,2	1,47	6,70	17,6
Початок руйнування, Н	16,1	27,6	26,4	38,1	11,8	37,5	0,10	12,5	38,8
Повне руйнування, Н	30,0	64,9	31,7	85,1	23,6	72,8	31,7	64,4	52,2

L – спосіб фіксації PDLLA, R – спосіб фіксації титановим гвинтом

Експериментальні дані показують, що фіксація ПГВВ за допомогою одного гвинта, яка дозволила б сприймати максимальні жувальні навантаження в умовах складного деформування виявилась не можливою. Таким чином, при застосуванні цих технік можливості ранньої іммобілізації нижньої щелепи і раннього функціонального навантаження є обмеженими. Тому вирішення питання фіксації переломів даного типу потребує подальших наукових досліджень та пошуку оптимального методу фіксації.

Список використаних джерел

1. Шидловський М.С., Копчак А.В., Шпак Д.Ю. Деформаційні характеристики систем остеосинтезу нижньої щелепи // Вісник СевНТУ. Серія: Механіка, енергетика, екологія. – 2012. – Вип.133. – С. 191-194.
2. Шидловский Н.С. Методы исследования деформационной надежности систем остеосинтеза конечностей человека // Біомедична інженерія, – 2011. – №1. – С. 24-31.
3. Патент на корисну модель №68177 «Спосіб вимірювання зміщень уламків кісток людини в експерименті»
4. Neff A, Cornelius CP, Rasse M, Torre DD, Audigé L: The comprehensive AOCMF classification system: condylar process fractures—level 3 tutorial. Craniomaxillofac Trauma Reconstr 7(Suppl 1):S044-58, 2014
5. Yamaoka M, Furnsawa K, Iguchi K, et al: The assessment of fracture of the mandibular condyle by use of computerized tomography. Incidence of sagittal split fracture. Br J Oral Maxillofac Surg 32(2):77-79, 1994.

УДК 620.171.3:616.718.71

Глушко І.А., наук. кер. Шидловський М.С., к.т.н, доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І.Сікорського», м. Київ, e-mail: kpi_mp31@ukr.net

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦІЙНИХ ПОЛІМЕРІВ ТА ГУМ (огляд)

Вступ. Конструкційні полімерні матеріали в процесі експлуатації піддаються впливу температур в широкому діапазоні. В табл. 1 представлені температурні діапазони деяких конструкційних полімерів, гум та виробів з них.

Таблиця 1. Умови експлуатації різних типів пластмас, гум та виробів

<i>Матеріал</i>	<i>Застосування</i>	<i>Температури експлуатації, °C</i>
<i>Поліетилен ВТ</i>	Безнапірні труби і фасонні частини, листи та плити для футерування апаратів і резервуарів	-40 ... 85
<i>Поліетилен НТ</i>	Прокладки і шайби, кришки підшипників, втулки, кожухи, антифрикційні покриття, електроізоляція	
<i>Поліпропілен</i>	Захисні корпуси і кожухи, безнапірні труби і фасонні частини профільні вироби, електроізоляція	-10 ... 65
<i>Полівінілхлорид</i>	Вібропоглинальні матеріали, корпуси, удароміцні деталі в машинобудуванні, деталі вікон, дверей, плінтуси, водостійкі ринви і труби, профільні вироби	-15 ... 60
<i>Поліамід</i>	Підшипники ковзання і корпуси; втулки, шків, ролики, шестірні, блоки; зубчасті передачі; вкладиші.	-55 ... 70
<i>Полікарбонат</i>	Прецизійні деталі (шестерні, втулки тощо); інструмент; огороження, захисне обладнання (каска, шоломи)	-130 ... 115
<i>Гуми спеціального призначення</i>	Деталі залізничного транспорту (ущільнювачі рухомих та нерухомих з'єднань, кільця, манжети, втулки, прокладки, клапани, діафрагми, сальники)	-50 ... 55

Зміна температур значно впливає на більшість механічних характеристик: міцність, довговічність, твердість, ударна в'язкість, швидкості повзучості і релаксації напружень та інші.

Для оцінки якості та експлуатаційної надійності виробів з полімерних матеріалів необхідно мати величини термомеханічних параметрів, а саме: температури розм'якшення та крихкості матеріалу, а також залежності механічних характеристик (границя міцності, границя текучості, видовження при розриві, деформації повзучості) від температури.

В даному огляді систематизовані та порівняні існуючі стандартні та не стандартизовані методи вимірювання температурних характеристик конструкційних пластмас та гум (табл. 2), показано їх переваги та недоліки, зіставлені дані, що одержані в результаті випробувань.

Таблиця 2. Стандартні методи вимірювання температурних характеристик пластмас, гум та виробів

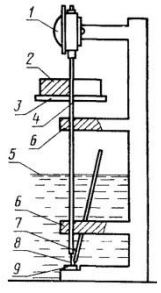
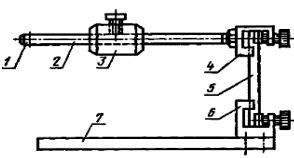
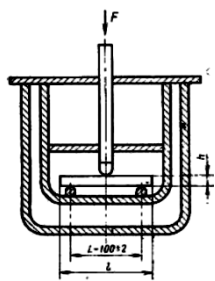
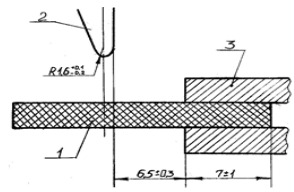
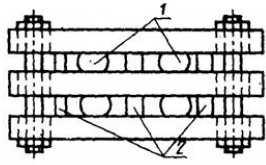
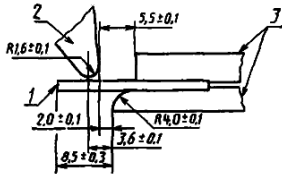
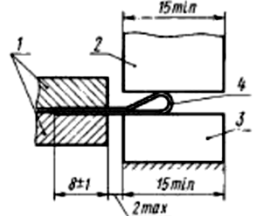
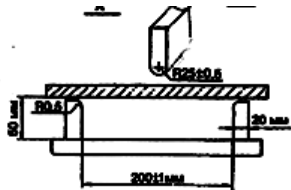
<i>Характеристика та позначення стандарту</i>	<i>Суть методу</i>	<i>Схема випробування</i>
Температура розм'якшення за Віка <i>ГОСТ 15088-83</i>	Визначення температури, при якій стандартний стержень під дією постійного навантаження (10Н або 50Н) проникає в зразок на глибину 1 мм	
Теплостійкість по Мартенсу <i>ГОСТ 21341-75</i>	Визначення температури, при якій зразок, що знаходиться під дією постійного згинаючого навантаження, деформується на задану величину.	
Температура згину під навантаженням <i>ГОСТ 12021-84</i>	Визначення температури, при якій зразок, що горизонтально розташований на двох опорах і знаходиться під дією постійного навантаження (0,45 або 1,80МПа), прогинається на задану величину	
Температура крихкості гуми <i>ГОСТ 7912-74</i>	Визначенні температурної границі крихкості гуми – самої низької температури, при якій гума в умовах випробування не руйнується.	

Табл. 2 (продовження)

Морозостійкості гуми за еластич- ним відновленням ГОСТ 13808-79	У визначенні здатності зразка, стисненого при температурі $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ і витриманого при низькій температурі, відновлювати свою висоту при низькій температурі після звільнення від навантаження.	
Температура крижкості при ударі ГОСТ 16782-92	Визначення температури, при якій руйнування зразків становиться крижким.	
Температура крижкості при стисканні зразка, складеного петлею ГОСТ 16783-71	Визначення температури, при якій руйнування зразків становиться крижким.	
Випробування ударним навантаженням виробів з полівінілхлориду ДСТУ Б В.2.6-15	Зразок встановлюють на опори та здійснюють удар. Після випробувань зразки візуально оцінюють стан зразка.	

Як показав аналіз довідникових даних [1-4], значення температурної характеристики одного і того ж матеріалу суттєво залежить від способу випробування (рис. 1). Різниця показників може складати від декількох до десятків $^\circ\text{C}$.

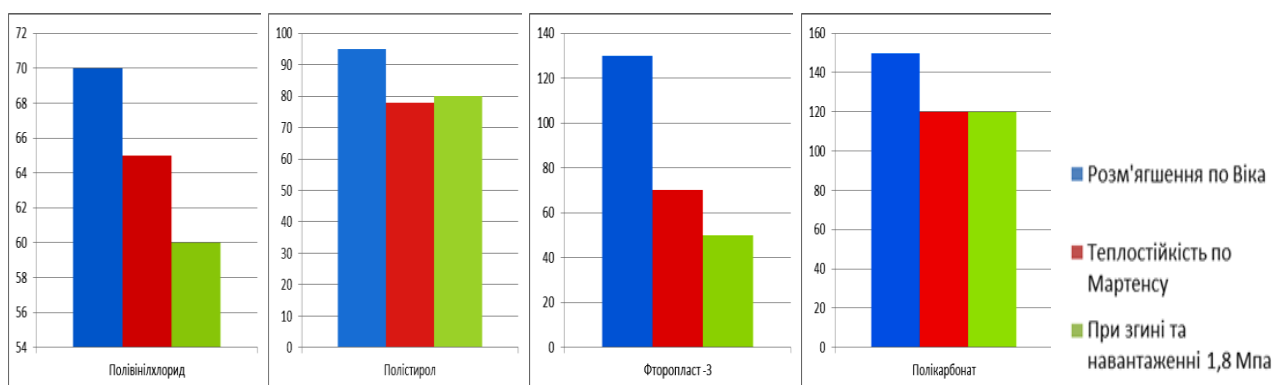


Рис. 1. Порівняння температурних характеристик пластмас, виміряних різними методами

В цілому, на основі проведеного порівняльного аналізу можна зробити такі висновки:

1. Значення температур розм'якшення за Віка, як правило, більше, ніж температури за методом Мартенса. Тому для підвищення надійності виробів (для звуження температурного діапазону) рекомендується користуватись даними, одержаними методом Віка.

2. В той же час, якщо судити по наданим в довідниках даним (по ширині інтервалів температур для обох зазначених методів), метод Віка дає більш стабільні результати порівняно з методом Мартенса. Це підтверджують дані, що одержані в лабораторії НВЦ «Надійність» КПП для полівінілхлоридних профілів. Розкид даних при вимірюваннях температур розм'якшення за Віка не перевищував 1-2°.

3. Визначення температури крихкості пластмас та гум як температури, при якій руйнується 50 % консольно закріплених зразків, потребує значних матеріальних та часових витрат. Кількість зразків, як показує практика, не може бути менше 50, а час проведення одного циклу випробувань складає не менше 2 годин.

4. Зазначений метод при проведенні, наприклад, сертифікаційних випробувань не є зручним. Тому в цьому випадку краще користуватись цим методом при одному значенні температурі, яке задається в нормативно-технічній документації на матеріал.

Список використаних джерел

1. Энциклопедия полимеров. Ред. коллегия: В.А. Кабанов (глав. ред.) и др. – М.: Советская Энциклопедия, 1977. – 1152 с.
2. Довідник по електротехнічним матеріалам / Ю.В. Корицький, В.В. Пасинкова, Б.М. Тарєєва. – М.: Энергоатомвидат, 1987.
3. Каменев Е.И., Мясников Г.Д., Платонов М.П. Применение пластических масс: Справ. – Л.: Химия, 1985. – 448 с.
4. Калинин Э.Л., Саковцева М.Б. Выбор пластмасс для изготовления и эксплуатации изделий: Справ. – Л.: Химия, 1987. – 416 с.

УДК 620.172.225

Євтушенко М.О., Ковбаса М.Л., *наук. кер. Шукаєв С.М., д.т.н., проф., Шидловський М.С., к.т.н, доц.*

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І.Сікорського», e-mail: skif.lucky@gmail.com

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ТА ПРУЖНОСТІ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ 3D ПРИНТЕРІВ

3D друкування швидко розвивається і проникає в усі галузі нашого життя (архітектура, будівництво, автомобільна, аерокосмічна, біоінженерна сфери і т.п.). Традиційні методи виробництва, такі як лиття під тиском, можуть бути

дешевшими при виробництві великих партій полімерних виробів, але 3D друк має переваги при дрібносерійному виробництві, дозволяючи досягти більш високого темпу виробництва і гнучкості дизайну разом з підвищеною економічністю у перерахунку на одиницю продукції. 3D-принтер пристрій, що використовує метод пошарової побудови фізичного об'єкта за цифровою віртуальною 3D-моделлю. На даний момент обладнання даного класу може працювати з фотополімерними смолами, різними видами пластикової нитки, керамічним і металічним порошком, нейлоном та ін.

Технологія 3D друкування швидко розвивається, з'являються нові методи друку та матеріали, тому встановлення впливу цих методів на механічні характеристики матеріалів є актуальною задачею.

Мета роботи. Експериментальне дослідження впливу технології 3D друкування на характеристики міцності та пружності полімерного матеріалу ABS+.

Об'єкти досліджень. Механічні властивості зразків з полімерного матеріалу ABS+, які виготовлені методом пошарового наплавлення (FDM).

Випробування на розтягання проводились на універсальній машині TIRAtest-2151. Зразки (рис.1) були виготовлені на 3D принтері Flashforge Creator Pro+ Plus (5GEN) за технологією друку методом пошарового наплавлення (FDM).

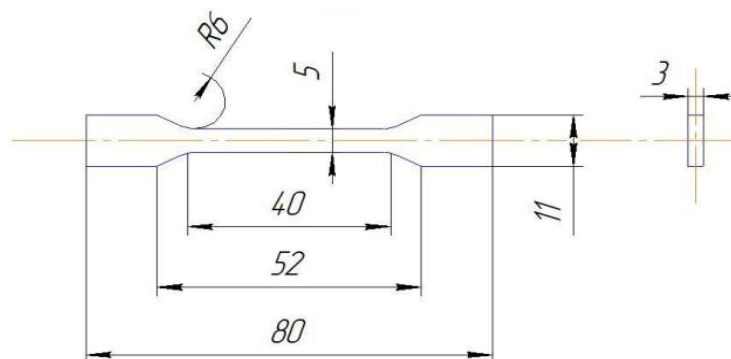


Рис. 1. Зразок за ГОСТ 11262 (тип 5)

Зразки розтягувались із постійною швидкістю деформування (при 0,5; 5; 50 мм/хв). Під час випробування вимірювались видовження та навантаження у зразку. За допомогою комп'ютера під'єданого до випробувальної установки були побудовані діаграми деформування в координатах «навантаження – видовження» за якими визначались механічні характеристики і проводилась обробка отриманих діаграм (рис. 2).

Експериментальні значення, досліджуваних характеристик, внесені до табл. 1.

Результати випробувань порівнювались з характеристиками мононитки ABS+, які надає постачальник [4] (табл. 2).

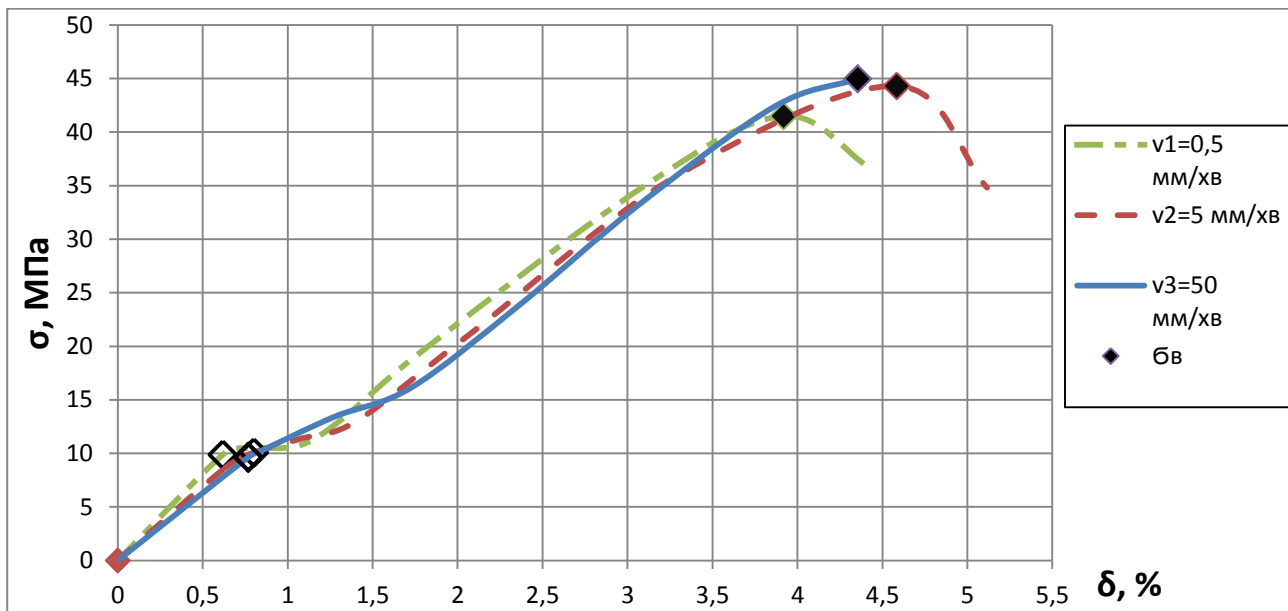


Рис. 2. Діаграми розтягу зразків з ABS+ пластику при різних швидкостях деформації

Таблиця 1. Механічні характеристики зразків після 3D друкування

№ зразка	v, мм/хв	$\sigma_{\text{пл}}$, МПа	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\sigma_{\text{р}}$, МПа	E, МПа	δ , %
1	0,5	10,603	44,710	33,363	1787,3	4,745
2	0,5	9,145	38,732	32,026	1310,1	4,957
3	0,5	8,620	38,355	25,215	1593,4	4,447
4	0,5	11,026	42,494	32,026	1621,3	6,198
5	0,5	10,016	40,178	31,834	1587,3	4,871
6	5	11,209	50,261	31,720	1315,4	5,934
7	5	7,697	36,784	32,340	1479,1	4,298
8	50	10,992	50,249	32,563	1447,7	4,201
9	50	9,537	41,233	30,504	1237,6	3,811
10	50	10,781	41,395	29,490	1300,3	3,612
11	50	7,872	46,172	31,150	1323,6	3,744
12	50	9,020	45,820	32,311	1263,2	3,952

Таблиця 2. Порівняння механічних характеристик ABS+ за інформацією постачальника і результатами експерименту

Матеріал	Границя міцності $\sigma_{\text{в}}$, МПа	Модуль пружності E, МПа	Відносне видовження, δ , %
Мононитка ABS+	не менше 38	не менше 2800	не менше 20
Усереднені результати експерименту, v_1	40,9	1579,9	5,0
Усереднені результати експерименту, v_2	43,5	1397,3	5,1
Усереднені результати експерименту, v_3	45,0	1314,5	3,9

За результатами експерименту були також побудовані регресійні моделі механічних характеристик ABS+ в залежності від швидкості навантаження:

$$\begin{aligned}\sigma_B &= 41,473 + 0,071 \cdot v, \\ E &= 1538,958 - 4,576 \cdot v, \\ \delta &= 5,105 - 0,025 \cdot v,\end{aligned}$$

де σ_B і E виражаються в МПа, δ – у відсотках, а v – мм/хв.

Висновки. Результати дослідження засвідчили, що заявлені постачальником механічні характеристики мононітки ABS+, зокрема, модуль пружності E і відносне видовження δ суттєво відрізняються від механічних характеристик готового виробу, яким є досліджені зразки.

Також було встановлено що при збільшенні швидкості деформації під час випробувань на розтягання модуль пружності (E) і відносне видовження (δ) зменшуються, а границя міцності (σ_B) збільшується.

Отримані результати можуть стати в нагоді під час виготовлення моделей з ABS+ пластику і застосуванні методу пошарового наплавлення (FDM).

Список використаних джерел

1. ГОСТ 9550-81. Пластмассы. Методы определения модуля упругости при растяжении, сжатии и изгибе.
2. ГОСТ 11262-80 Пластмассы. Метод испытания на растяжение.
3. ГОСТ 14359-69. Пластмассы. Методы механических испытаний. Общие требования.
4. ABS+ - Материалы для 3D печати - MonoFilament [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://monofilament.com.ua/products/abs-plus/#>.

УДК 620.172/.178.2

Годлевський В.О., наук. кер. Шидловський М.С., к.т.н, доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І.Сікорського», e-mail: godlevski-vlad@mail.ru

В'ЯЗКО-ПРУЖНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ ДЛЯ 3D ПРИНТЕРІВ

Релаксацію напруження (стресову релаксацію) в механіці твердого деформованого тіла визначають як явище самостійного зменшення напруження з часом при незмінній деформації. Це явище є універсальним і притаманно різним типам матеріалів, в тому числі матеріалів 3D-друку. Суть стресової релаксації полягає в тому, що за наявності будь-якої деформації, яка є сталою протягом певного проміжку часу, напруження в зразку будуть зменшуватися, прагнучи до певного граничного значення.

Метою наших досліджень було експериментальне вивчення впливу технології 3D друкування на характеристики в'язко-пружності АБС-пластику, що застосовується для 3D друкування, як розхідний матеріал.

Випробування проводили на зразках, виготовлених за ГОСТ 11262-80 способом 3D друкування та звичайним методом лиття під тиском.

Для реєстрації кривих релаксації визначали зміну зусиль, що виникають під час постійної деформації. Експерименти проводились на універсальній випробувальній машині TIRAtest-2151. Реєстрація навантаження проводились при фіксованих значеннях часу (0с, 1с, 5с, 15с, 30с, 1хв, 10хв, 15хв) методом відеозйомки показань цифрового індикатору випробувальної машини.

Випробуванням піддавали 2 види зразків – надруковані на 3D принтері та виготовлені за допомогою лиття. Випробування проводилось в однакових умовах. Швидкість досягнення певної деформації складала 10 мм/хв. Величину відносної деформації при розтязі та стиску встановлювали в межах границь пропорційності (лінійності) на рівнях 0.5 % та 1.0 %.

Зразки закріплювали у затискувачах випробувальної машини і розтягували або стискали з вищезазначеною швидкістю до заданого значення деформації ε . Записували початкове (максимальне) значення зусилля в зразку. Залишивши зразок у деформованому стані при $\varepsilon = \text{const}$, записували значення зусиль при таких значеннях часу спостережень: 0с, 1с, 5с, 15с, 30с, 1хв, 10хв, 15хв.

Реєстрували та розраховували такі дані:

- l - робоча довжина зразка, мм; Δl - видовження зразка, мм;
- $\varepsilon = \Delta l / l_0$ - задана відносна деформація зразка;
- $P(t)$ – навантаження, Н;
- F – площа поперечного перерізу робочої частини, мм²;
- напруження $\sigma(t) = P(t)/F$, МПа;
- модуль релаксації $E(t) = \sigma(t)/\varepsilon$ МПа.

Після визначення напружень, побудовані криві релаксації $\sigma = \sigma(t)$.

Одержані значення навантажень зразків при розтязі на 0.5% та на 1% в наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Навантаження у зразках (P , Н) при розтязі на 0,5%

t, с	Деформація 0.5 %		Деформація 1.0 %		
	АБС-ч	АБС-б	АБС-ч	АБС-б	Лиття
0	111,7	117,0	346,5	206,8	328,6
1	108,2	115,0	338,6	181,3	325,9
5	107,4	112,0	329,9	173,7	322,4
15	102,1	111,0	323,0	166,5	318,7
30	100,1	110,0	319,2	163,4	316,2
60	98,4	109,3	316,2	160,7	309,0
300	95,4	107,2	307,2	152,5	*
600	93,8	105,8	304,1	151,0	*
900	93,0	104,8	302,0	149,5	*

* - під час випробувань зразок, що виготовлений литтям, при розтязі на 1% зруйнувався за 1 хв

До табл. 2 занесено значення навантажень при стиску на 0,5%. та на 1%.

Таблиця 2. Релаксація зусиль у зразку (Р, Н) при стиску

t, с	Деформація 0.5 %		Деформація 1.0 %	
	АБС-ч	Лиття	АБС-ч	Лиття
0	219,0	209,0	479,2	209,0
1	215,2	204,3	471,5	204,3
5	209,1	197,1	465,4	197,1
15	204,0	192,4	459,0	192,4
30	200,5	188,4	453,9	188,4
60	196,7	184,1	447,0	184,1
300	187,5	171,6	428,7	171,6
600	184,5	167,0	420,1	167,0
900	182,6	164,2	415,2	164,2

Розраховані значення модулів пружності всіх зразків зведено табл. 3. Побудовано криві релаксації стиску зразка, виготовленого на 3D принтері і відлитого та порівняно їх у координатах $\ln E(t) - t$. Апроксимацію кривих релаксації напружень проводили за узагальненою моделлю Максвелла [1].

Таблиця 3. Модулі релаксації зразків (Е, МПа)

t,с	Розтяг					Стиск			
	Деформація 0.5%		Деформація 1%			Деформація 0.5%		Деформація 1%	
	АБС-ч	АБС-б	АБС-ч	АБС-б	лиття	АБС-ч	лиття	АБС-ч	лиття
0	745	780	1155	689	1027	1460	1393	1630	1597
1	721	767	1129	604	1019	1435	1362	1604	1552
5	716	747	1100	579	1008	1394	1314	1542	1551
15	681	740	1077	555	996	1360	1283	1506	1530
30	667	733	1064	544	988	1336	1256	1482	1513
60	656	727	1054	535	965	1311	1227	1461	1490
300	636	715	1024	508	*	1250	1144	1418	1429
600	625	705	1014	503	*	1230	1113	1392	1400
900	620	699	1007	493	*	1217	1095	1380	1384

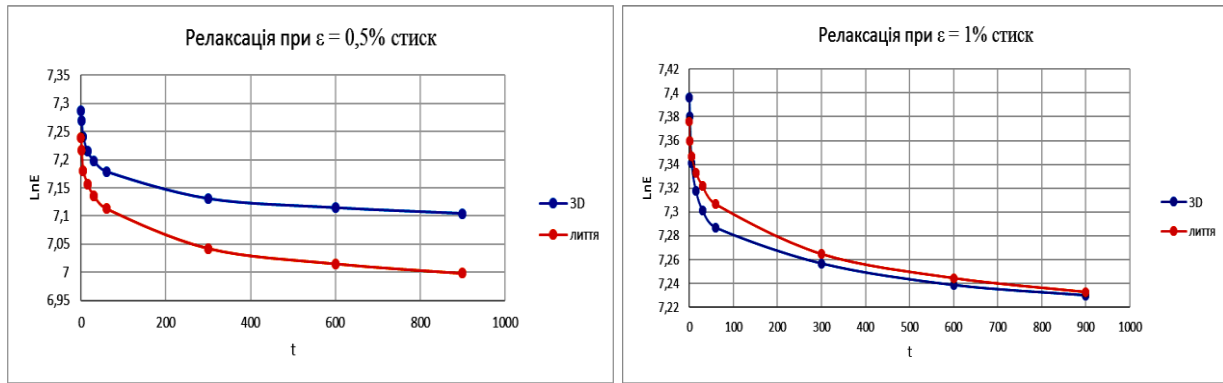


Рис. 1. Криві релаксації зразкі АБС пластика для виготовлення виробів на 3D принтері

Висновки. Застосування 3D принтеру незначно збільшує модулі пружності АБС пластику та практично не впливає на швидкість релаксації напружень при розтязі та стиску

Список використаних джерел

1. Релаксационные явления в полимерах. Под. ред. Г.М. Бартенева и Ю.В. Зеленева. – Л.: Химия, 1972. – 374 с.

УДК 620.172/.178.2

Яшкін Л.О., Ковбаса М.Л., *наук. кер. Шидловський М.С., к.т.н, доц.*
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І.Сікорського», e-mail: Laskin784@gmail.com

ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ ДЛЯ 3D ПРИНТЕРІВ

Застосування 3D друку – це альтернатива традиційним методам виготовлення зразків і прототипів. Оцінка механічних характеристик деталей і виробів виготовлених за допомогою 3D друку необхідна, оскільки різні методи обробки матеріалу по-різному змінюють його структуру, а отже на виході можна отримати змінені механічні властивості матеріалу. Ці зміни можуть бути досить значними, що може призвести як до непридатності певного матеріалу до використання, так і до непридатності до конкретної задачі.

Експериментально було вивчено вплив технології 3D друкування виробів на динамічні характеристики матеріалів. Об'єктом досліджень була конструкційна пластмаса, що застосовується в 3D принтерах. Випробували зразки з АБС пластика, виготовлені на 3D принтері (надалі АБС-ч та АБС-б), та зразки з того ж матеріалу, виготовлені литним способом (АБС-л).

Для дослідження динамічних характеристик зразків застосований метод вимушених поперечних коливань консольно закріпленого стержня з додатковою масою.

Установка (рис. 1, 2) складається з вібратора на основі електродинамічного стенду та периферійної апаратури. На котушки вібратору через блок підсилення з генератору синусоїдальних коливань подається змінна напруга, частота якої вимірюється частотоміром. Підмагнічення нерухомої частини вібратору здійснюється блоком. Амплітуду прискорення коливань стола вібратора вимірювали датчиком і блоком. До столу вібростенда прикріплений стержень і затискувач. Зразок жорстко закріплений в затискувачі. До кінця зразка прикріплений знімний додатковий вантаж. Вимірювання амплітуди коливань зразка здійснюють оптичним способом.

Методика проведення випробувань. За допомогою аналітичних ваг визначили загальну масу зразка $m = 38,6$ г. Закріплювали зразки у затискувачі вібратора і за допомогою частотоміра знаходили резонансну частоту ν_r за максимумом амплітуди коливань.

Обробка результатів. Динамічний модуль пружності (МПа) визначали за формулою:

$$E_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3EI}{mL_p^3}},$$

де m - маса вантажу; I - момент інерції перерізу; L_p - робоча довжина зразка (довжина «вильоту» консолі); частота ν_r - в Гц.

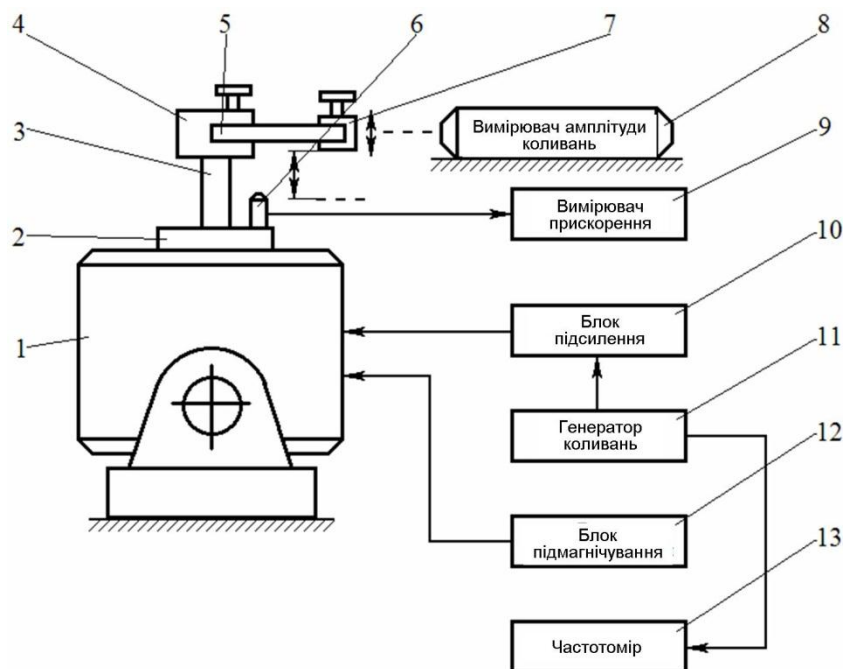


Рис. 1. Схема установки для дослідження динамічних характеристик матеріалів:

1 - електродинамічний стенд; 2 - стіл вібратора; 3 - стержень вібратора;

4 - затискувач; 5 - зразок; 6 - датчик; 7 - вантаж; 8 - оптична система;

9 - блок вимірювання вібрацій; 10 - блок посилення; 11 - блок генератора коливань; 12 - блок підмагнічування; 13 - частотомір

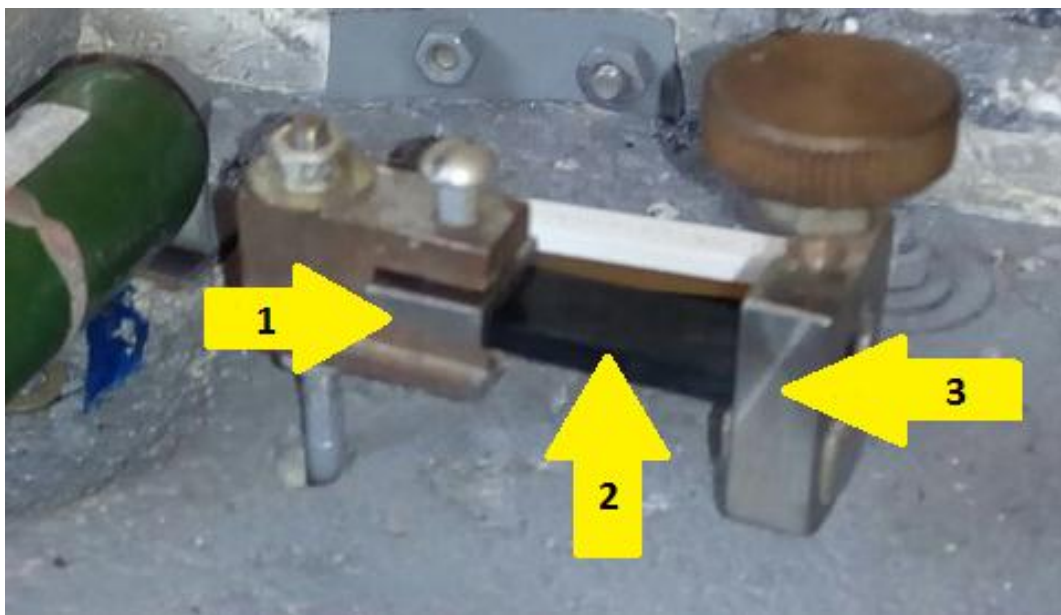


Рис. 2. Схема закріплення зразка: 1 – затискувач; 2 – досліджуваний зразок; 3 – знімний додатковий вантаж

Результати занесені до табл. 1. У таблиці номером 1 позначені зразки, виготовлені литвом. Номери 2 та 3 - виготовлені на 3D принтері.

Таблиця 1. Розміри та динамічні характеристики зразків

Зразки	L_p , мм	h , мм	ν_r , Гц	E , МПа
АБС-л	20,2	3,0	47,7	1784,34
АБС-ч	20,2	3,0	40,6	1292,69
АБС-б	20,2	3,0	45,8	1645,02

Дані вимірювань для наочності зображені у вигляді порівняльної діаграми (рис. 3).

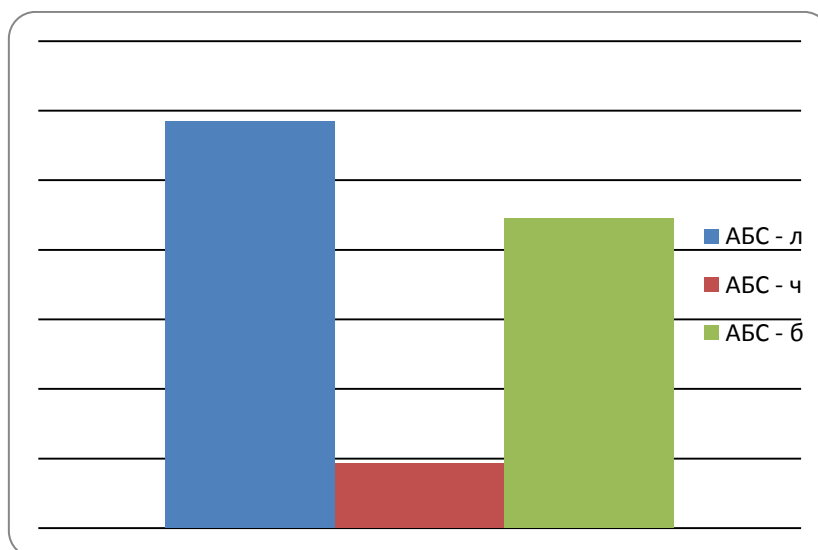


Рис. 3. Співвідношення динамічних модулів пружності

Висновки. Виготовлення виробів способом 3D друкування впливає на пружні характеристики матеріалів. Динамічний модуль пружності матеріалу за рахунок використання зазначеного способу знизився майже на 30 % (АБС-ч). Необхідне значення модуля пружності може бути встановлений вибором марки матеріалу, що застосовується.

Список використаних джерел:

1. ДСТУ 2473-94 «Механічні коливання. Терміни та визначення»
2. ГОСТ 13731-68 «Коливання механічні. Загальні вимоги до проведення вимірювань»
3. ГОСТ 19873-74 «Пластмассы. Резонансный метод определения динамических модулей упругости и коэффициентов механических потер при колебаниях консольно-закрепленного образца»

УДК 53.09:539.3

Ільченко Р.Г., *наук. кер. Кришук М.Г., д.т.н., проф.*

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І.Сікорського», e-mail: krys@ukr.net

СТВОРЕННЯ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ В ЛАБОРАТОРНИХ УМОВАХ ПОЛІТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ВАЛЕНСІЇ, ІСПАНІЯ

Вступ. "Erasmus+" - програма обмінів студентів, викладачів та науковців країн-членів Євросоюзу, а також Ісландії, Ліхтенштейну, Македонії, Норвегії, Туреччини. Програма надає можливість навчатися, проходити стажування чи викладати в іншій країні. Ця програма надала можливість розвиватись і використовувати свої знання та здобуті навички в КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Щодо розвитку та використання своїх знань на практиці, Політехніка Валенсії сприяє тому, щоб студенти розвивались і здобували теоретичні навички, вміли використовувати їх одразу на практиці, тому замість практичних занять існують в учбовому плані тільки лабораторні роботи.

Під час програми обміну студентами "Erasmus+ ka107" можливості саморозвитку в Політехніці були необмежені. Використовуючи свої ідеї та знання ти можеш спокійно запропонувати свою ідею викладачеві, і якщо твоя інновація буде цікавою, тобі з радістю виділятимуть кошти та лабораторію із всім необхідним обладнанням для науково-дослідницької роботи. При навчанні на Авіакосмічному факультеті даного університету, я мав змогу з моєю групою на одній з навчальних дисциплін, назва якої "Виробництво Аерокосмічних Тіл", створити безпілотний літальний апарат з наземним керуванням типу глайдер. Якщо більш детально, то це літальний апарат ближньої дії, призначений для

польотів в атмосфері, який використовують, як у цивільній галузі, так і у військовій справі.

Мета роботи. Встановити особливості розподілу напружень і деформацій в елементах безпілотного літаючого апарату з використанням сучасних інформаційних технологій та системи комп'ютерної інженерії **Siemens PLM Software** (рис. 1) для геометричного моделювання, інженерного аналізу та створення прототипу глайдери з композитних матеріалів.



Рис. 1. NX Siemens PLM Software

Матеріали і методи.

Методика проектування глайдери полягала в наступних кроках. Вибір композитного матеріалу та визначення базових параметрів елементів глайдери (довжина фюзеляжу, розмах крил, висота фюзеляжу та вертикального стабілізатору). Для цього ми використовували програмне забезпечення DevWing and DevCad systems, <http://www.devcad.com/eng>. За допомогою цих програм побудовано профіль крила визначених габаритних розмірів з найменшими показниками аеродинамічного опору. В залежності від встановленого розмаху крил побудовано фюзеляж, адже всі розміри пов'язані між собою. Для побудови основної геометрії та базових розмірів використано лекції з предмету "Розрахунок повітряних суден", які містять методики побудови профілів крила http://www.rcdesign.ru/articles/avia/wings_profile. Використовуючи САЕ інформаційні технології системи інженерного аналізу Nastran проведені розрахунки силових навантажень частин безпілотного літального апарату: силові навантаження в місці закріплення крил та двигуна до конструкції фюзеляжу (рис. 2).

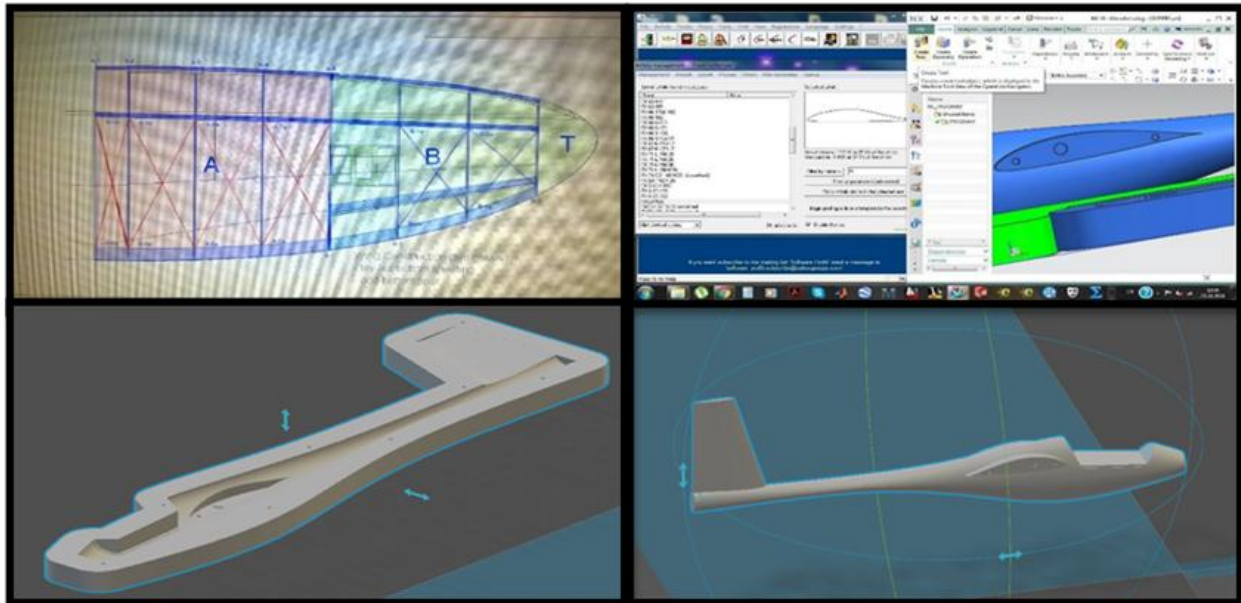


Рис. 2. Етапи створення елементів глайдера за допомогою CAD/CAM/CAE інформаційних технологій Siemens PLM Software

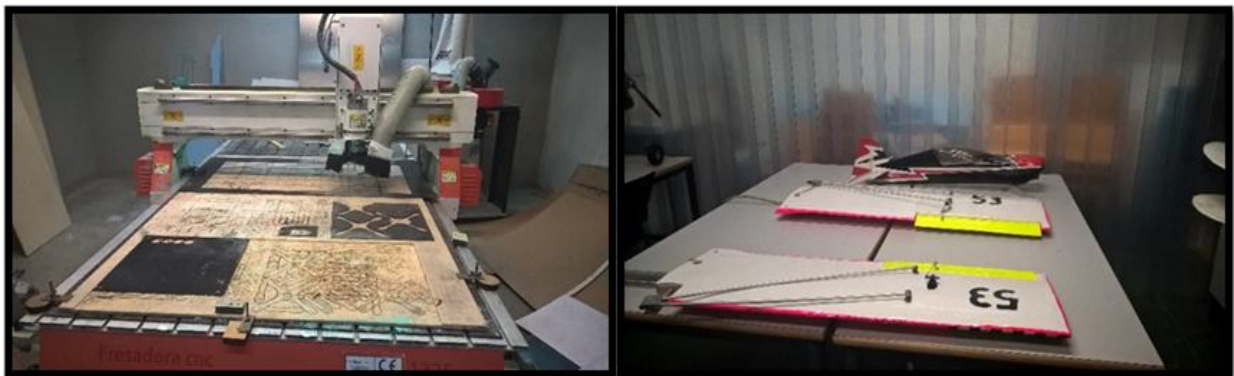


Рис. 3. Виготовлення та створення моделі глайдера в лабораторних умовах

Після детального розрахунку та уточнення розмірів конструкції глайдера в CAD system NX.Nastran, виконується наступний етап. Поєднання числових даних із системи CAD/CAE системи з модулем CAM для визначення числових даних технологічних операцій з виготовлення необхідних елементів конструкцій заданої форми корпусу глайдера на станках з числовим програмним управлінням. Використовуючи композитні матеріали, спеціальний епоксидний клей, алюмінієві трубки для задання певної жорсткості системи, поступово виготовлено сам літальний апарат (рис.3). Після виготовлення корпусу, використовуючи кошти інвесторів, встановлено двигун, пропелер та основну електричну систему. По завершенню виготовлення виробу проведено випробовування літального пристрою. Даний етап являє собою завершення проекту.



Рис. 4. Практичне застосування безпілотних літальних апаратів

Висновки. Наукові університети та компанії світу в даний час проводять розробку та тестування безпілотних літальних апаратів з різним функціональним призначенням. Безліч компаній та університетів США та інших країн знаходять все більш широке використання дронів та безпілотників у сільськогосподарській сфері. Науковці та дослідники університету Орегону запускають безпілотники над полями з метою виявлення хвороб рослин. У Флориді, фермери та дослідники використовують квадрокоптери з інфрачервоними камерами для виявлення смертельних бактеріальних хвороб у цитрусових рослинах).

Вчені Каліфорнійського університету об'єдналися з компанією "Yamaha Motor USA" для обприскування виноградників та фруктових садів (рис. 4). Також квадрокоптери та безпілотники використовуються і у власників лісових угідь. Наприклад,

спостереження вирубки лісу, наявності звірів, пошукових операцій допомагає заощаджувати час та людські ресурси для таких операцій. Безпілотники та квадрокоптери широко використовуються у даний час і для військових цілей. Використовуючи сучасні технології фахівці отримують безцінні розвідувальні дані. В Японії безпілотники використовують для обслуговування високих та проблемно доступних місць. Наприклад, такі як, висотні конструкції вітрових генераторів та електромереж.

Список використаних джерел

1. MANUFACTURING ENGINEERING AND TECHNOLOGY sixth edition /Serope Kalpakjian Illinois Institute of Technology / Steven R. Schmid The University of Notre Dame / SI Conversion by Hamldon Musa Universiti Teknologi Malaysia.
2. MANUFACTURING ENGINEERING AND TECHNOLOGY fifth edition Serope Kalpakjian Illinois Institute of Technology / Steven Schmid The University of Notre Dame.
3. www.upv.es

ЗМІСТ

	стор.
1. Нос Є.М., Абрамов В.І., Трубачев С.І. Напружено-деформований стан та оптимізація кронштейна кріплення гондоли транспортного літака	3
2. Отмахов М.О., Абрамов В.І., Трубачев С.І., Напружено-деформований стан змішувача-розподільювача транспортного літака	5
3. Гризовський М. І., Рудаков К.М., Про вплив розшарування та форми шарів ПКМ при навантаженні зразків болтового з'єднання.....	9
4. Приходько М.В., Бабенко А.Є, Лавренко Я.І., Тимошенко О.В. Дослідження характеристик пружних опор лабораторних центрифуг ...	11
5. Тріфонов С.О., Заховайко О.П., Дуб С.М. Дослідження механічних властивостей нітриду алюмінію в полікристалі	13
6. Ружицький А.В., Бабак А.М. Оцінка впливу зміцнення функціональних отворів з конструкційних матеріалів на їх втомну довговічність	15
7. Шокрута М.С., Рудаков К.М., Визначення напружено-деформованого стану проставки верхньої головної циркуляційного насосу «ГЦН-195М» при статичному навантаженні	18
8. Булка Т.Б., Бабенко А.Є, Лавренко Я.І. Розрахунок хвильових передач	19
9. Каранкевич В.С., Боронко О.О. Маятниковий гасник коливань водонапірної вежі	21
10. Яковлева С.І., Лавренко Я.І. Розрахунок тришарових пластин при наявності великих зсувів середнього шару	24
11. Сависько О.С., Крищук М.Г. Дослідження термоабляції клітин печінки людини з метою оцінки деструкції пухлин	25
12. Лосєв В.О., Бабак А.М. Вплив дорнування на втомну міцність при різних навантаженнях	30
13. Рубашевський В.В., Заразовський М.М., Шукаєв С.М. Оцінювання міцності вуглепластика при складному напружено деформованому стані	33
14. Фепа В.В., Сидоренко Ю. М. Процес формування загального кута розльоту та швидкості руху осколкової маси двох дисків змінної товщини при вибуховому навантаженні	36
15. Фоменко А.С., Крищук М.Г. Напружено-деформований стан конструкцій трубопроводу системи аварійного охолодження низького тиску АЕС при нормальних та аварійних умовах експлуатації	39
16. Тітаренко Б.П., Тимошенко О.В., Коваль В.В. Вплив зовнішнього середовища на властивості кровоспинних джгутів	43
17. Димань М.М., Шидловський М.С., Заховайко О.П. Аналіз просторових переміщень точок переломів кісток із засобами фіксації під дією навантажень	45

	стор.
18. Димань М.М., Карачун В.М, Шидловський М.С., Заховайко О.П., Оцінка точності та невизначеності вимірювань в системах остеосинтезу методом фотозйомки	48
19. Димань М.М. Шидловський М.С. Вплив циклічних навантажень на деформаційні характеристики засобів остеосинтезу п'ясних кісток ..	52
20. Димань М.М., Федорчук М.П., Шидловський М.С., Омельченко Т.М. Методика визначення деформаційних характеристик систем фіксації переломів великогомілкових кісток	56
21. Димань М.М., Доценко Г.М., Шидловський М.С., Омельченко Т.М. Результати досліджень деформаційних характеристик засобів фіксації переломів великогомілкових кісток	60
22. Мусієнко О.С., Шидловський М.С., Лакша А.М. Метод оцінки жорсткості стержневих апаратів для фіксації вогнепальних переломів ...	63
23. Мусієнко О.С., Стасевич О.Д., Шидловський М.С., Лакша А.М. Оптимізація розташування стержнів в апаратах зовнішньої фіксації вогнепальних переломів	67
24. Мусієнко О.С., Єрмак А.А., Пакета Б.Г., Шидловський М.С. Характеристики пружності та релаксація напружень кісткової тканини нижніх кінцівок людини	70
25. Дубневич Я.М., Павличук Т.О., Шидловський М.С., Копчак А.В., характеристики міцності системи фіксатор-кістка при внутрішньосуглобових переломах нижньої щелепи	74
26. Глушко І.А., Шидловський М.С., Методи дослідження температурних характеристик конструкційних полімерів та гум (огляд)	78
27. Євтушенко М.О., Ковбаса М.Л., Шукаєв С.М., Шидловський М.С. Експериментальні дослідження міцності та пружності полімерних матеріалів для 3D принтерів	81
28. Годлевський В.О., Шидловський М.С. В'язко-пружні властивості полімерних матеріалів, що застосовуються для 3D принтерів	84
29. Яшкін Л.О., Ковбаса М.Л., Шидловський М.С. Динамічні характеристики полімерних матеріалів, що застосовуються для 3D принтерів	87
30. Ільченко Р.Г., Крищук М.Г., Створення безпілотного літального апарату в лабораторних умовах політехнічного університету Валенсії, Іспанія	90