

УДК 620.171.3:616.71-001.5

Ю.О. Шлінчак¹, М.М. Димань², Д.Г. Одудько¹, М.С. Шидловський¹, О.П. Заховайко¹

¹ – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

² – Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України

Просторове деформування систем остеосинтезу при циклічному навантаженні

У процесі ходьби та виконанні фізичних лікувальних процедур кінцівки людини піддаються циклічним навантаженням, тому вивчення процесів виникнення та накопичення деформацій в кістках з переломами та засобами фіксації при дії таких навантажень являють певний інтерес. Для експериментального вивчення просторових переміщень точок перелому кісток із засобом фіксації під дією циклічних навантажень створено установку, що дозволяє відтворювати одночасну дію на систему «кістка з переломом - засіб фіксації» стискаючих, згинальних і ротаційних навантажень в циклічному режимі.

Принцип дії, схема, основні вузли та технічні характеристики установки при статичній дії навантажень описані в роботах [1-4]. В даному повідомленні розглядається спосіб прикладання просторових навантажень у циклічному режимі при багаторазовому прикладанні стискаючої сили, згинального та крутильного моменту до систем «кістка з модельованим переломом - засіб фіксації».

Обладнання та метод досліджень. Установка включає систему закріплення кістки з модельованим переломом і засобом фіксації, вузли для навантаження кістки при стисканні, згинанні та крученні, важільну систему для прикладання циклічного навантаження (рис. 1). Основні складові установки: станина, опорні колони, нижня та верхня опори, нижній та верхній затискувачі, вилка-шарнір, важелі, навантажувальний стержень, змінні блоки та підставки для блоків, вантажі для створення згину, кручення та стиску, блок циклічного навантаження.

Прикладення навантаження на систему блоків випробувальної установки здійснюється важільним пристроєм, приєднаним до рухомої траверси випробувальної машини TIRA-test, що керується процесором машини (рис.1).

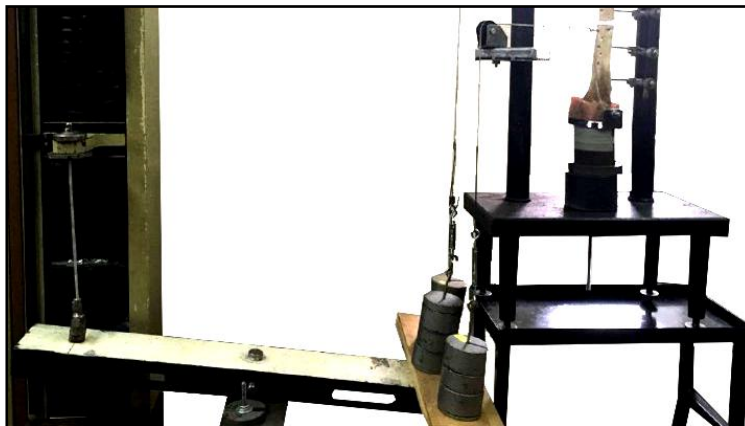


Рис. 1. Засіб для циклічного навантаження установки

За допомогою спеціальних комп'ютерних програм, що вмонтовані в процесор випробувальної машини серії TIRA-test, здійснювали цикли «навантаження – розвантаження» зразків в інтервалі між двома заданими значеннями сили при кількості циклів до 100.

42

Для керування циклічними навантаженнями використовували програму "Zyklische Belastung 1" вводу даних у процесор випробувальної машини TIRAtest-2151 [5]. За допомогою програми можна здійснювати запис кривих повзучості в циклічному та статичному режимах навантаження.

Цикл навантаження складається з таких етапів:

- навантаження зразка з постійною швидкістю до максимального навантаження F_2 ;
- витримки зразка під постійним навантаженням F_2 протягом часу T_2 ;
- розвантаження зразка до заданого мінімального навантаження F_1 ;
- витримки зразка під постійним навантаженням F_1 протягом часу T_1 .

Далі цикли повторюються.

Для здійснення роботи програми та керування системою навантаження в процесор вводяться такі дані :

T_1 – час витримки зразка під мінімальним навантаженням F_1 , с;

T_2 – час витримки зразка під максимальним навантаженням F_2 , с;

Z_1 – число циклів, при якому визначається модуль пружності E_1 ;

Z_2 – загальне число циклів, після досягнення якого випробування припиняються (максимальне число циклів не більше 64000);

F_1 – значення мінімального навантаження, Н;

F_2 – значення максимального навантаження, Н.

Після завершення роботи у процесорі зберігаються такі дані:

NR – номер випробування;

Z – загальна кількість проведених циклів;

A_1 – деформація при навантаженні F_1 і числі циклів Z_1 ;

A_2 – деформація при навантаженні F_2 і числі циклів Z_1 ;

A_1 – деформація при навантаженні F_1 і числі циклів Z_2 ;

A_2 – деформація при навантаженні F_2 і числі циклів Z_2 .

Для проведення випробувань на повзучість в статичному режимі, тобто при одноразовому довготривалому навантаженні, приймаємо $Z_1 = Z_2 = 1$; T_2 дорівнює заданому часу експерименту.

При проведенні досліджень можуть бути реалізовані такі програми циклу (рис. 1, верхній графік):

- 1) збільшення навантаження протягом часу τ_{in} до максимального зусилля P_{MAX} ;
- 2) витримка препарату при цьому навантаженні протягом часу τ_1 ;
- 3) зменшення навантаження протягом часу τ_r до мінімального зусилля P_{MIN} ;
- 4) витримка препарату при мінімальному навантаженні протягом часу τ_2 .

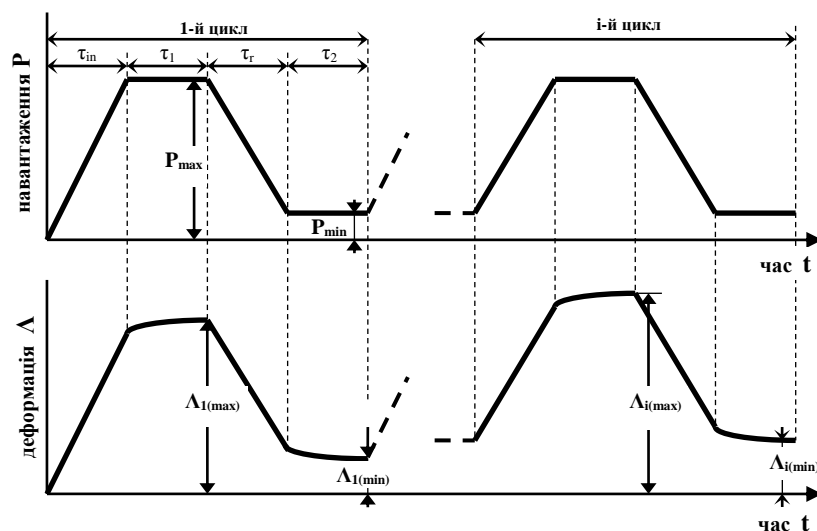


Рис. 2 – Програма навантаження (вверху) и крива циклічної повзучості (внизу) зразків

Після цього цикл повторювали. Запис значень деформацій препаратів проводили на кожному циклі з 1 по 10-й і далі на кожному 10-му циклі.

Загальні характеристики установки: стискаючі навантаження в діапазоні від 10 до 800 Н; згинальні навантаження в діапазоні від 10 до 200 Н; моменти кручення в діапазоні від 2 до 20 Н·м; циклічні навантаження у зазначених діапазонах з періодичністю 1-5 с; точність визначення лінійних зміщень частин переломів у різних напрямках у процесі навантаження ± 0.02 мм; точність визначення кутів повороту частин переломів у різних площинах ± 0.1 градуса; можливість визначення незворотних зміщень частин переломів під дією циклічних навантажень.

Були реалізовані такі режими циклічних навантажень зразків: швидкість деформування $V = 2.5 - 25$ мм/хв; час витримки зразків при $P = P_{MAX}$ $\tau_1 = 1 \dots 5$ с; навантаження $P_{MIN} = 100 - 1000$ Н.

В процесі випробувань реєстрували такі дані (рис. 2, нижній графік):

$\Delta_{i(MAX)}$ – взаємне переміщення точок перелому на i -му циклі навантаження при $P = P_{MAX}$;

$\Delta_{i(MIN)}$ – взаємне переміщення точок перелому на i -му циклі навантаження при $P = P_{MIN}$.

На 1, 2, 5, 10, 20, 50 та 100-му циклах проводили цифрове фотографування області перелому та фіксації і за одержаним зображеннями у цифровому вигляді проводили обробку зображень та визначення абсолютних взаємних переміщень суміжних точок перелому [6].

Результати контрольних випробувань. Для перевірки роботи системи циклічного навантаження були проведені контрольні випробування зразків великогомілкових кісток з модельованими переломами та такими типами фіксаторів: медіальна дистальна пластина з кутовою стабільністю – «2М», медіальна великогомілкова блокована пластина – «3М», медіальна великогомілкова блокована пластина для відкритої корекційної остеотомії – «4М». Конструкції вказаних пластин представлені в роботі [7].

Результати випробувань наведені в табл. 1-3 та на рис. 3. Співставлення результатів з даними, одержаними при проведенні випробувань із застосуванням системи навантаження окремими силами [7], показали задовільний збіг значень деформацій.

Таблиця 1 Деформаційні характеристики великогомілкової кістки з фіксацією пластинами 3М та 4М під дією осевого циклічного навантаження P_1

Номер циклу, N	Зразок під дією максимального за цикл навантаження $P_{1 \max} = 100$ Н			Зразок під дією мінімального навантаження $P_{1 \min} = 10$ Н	
	Повні переміщення $\Lambda_{N(\max)}$, мм	Деформації повзучості Λ_C , мм	Приведені деформації $\lambda_C \cdot 10^3$, мм/Н	Повні переміщення $\Lambda_{N(\min)}$, мм	Незворотні переміщення Λ_H , мм
<i>Пластина 3М - латеральна, віддалена від пластини точка перелому L</i>					
1	1.248	0	0	0.167	0
10	1.348	0.100	1.00	0.269	0.102
100	1.481	0.233	2.33	0.327	0.160
<i>Пластина 4М - латеральна, віддалена від пластини точка перелому L</i>					
1	0.491	0	0	0	0
10	0.538	0.047	0.47	0	0
100	0.630	0.134	1.34	0.097	0.070

Таблиця 2 Деформаційні характеристики великогомілкової кістки з фіксацією пластинами 3М та 4М під дією згинального циклічного навантаження P_2

Номер циклу, N	Зразок під дією максимального за цикл навантаження $P_{2 \max} = 20$ Н			Зразок під дією мінімального навантаження $P_{2 \min} = 5$ Н	
	Повні переміщення $\Lambda_{N(\max)}$, мм	Деформації повзучості Λ_C , мм	Приведені деформації $\lambda_C \cdot 10^3$, мм/Н	Повні переміщення $\Lambda_{N(\min)}$, мм	Незворотні переміщення Λ_H , мм
<i>Пластина 3М, віддалена від пластини латеральна точка L</i>					
1	0.190	0	0	0.011	0
10	0.218	0.028	0.14	0.064	0.053
100	0.252	0.062	0.31	0.109	0.098
<i>Пластина 4М, віддалена від пластини латеральна точка L</i>					
1	0.153	0	0	0	0
10	0.167	0.014	0.07	0	0
100	0.193	0.040	0.20	0.040	0.040

Таблиця 3 Деформаційні характеристики великогомілкової кістки з фіксацією пластинами 2М, 3М та 4М під дією крутильного циклічного навантаження P_3

Номер циклу, N	Зразок під дією максимального за цикл навантаження $P_{3 \max} = 10 \text{ Н}$			Зразок під дією мінімального навантаження $P_{3 \min} = 1 \text{ Н}$	
	Повні кути $\Gamma_{N(\max)}^0$	Збільшення кутів Γ_C^0	Приведені кути $\bar{\gamma}_C \cdot 10^3$, град. / (Н·мм)	Повні кути $\Gamma_{N(\min)}^0$	Незворотні кути Γ_H^0
<i>Пластина 3М</i>					
1	1.242	0	0	0.125	0
10	1.345	0.102	0.179	0.170	0.045
100	1.480	0.238	0.418	0.232	0.107
<i>Пластина 4М</i>					
1	0.250	0	0	0	0
10	0.276	0.026	0.050	0.007	0.007
100	0.322	0.072	0.140	0.061	0.054

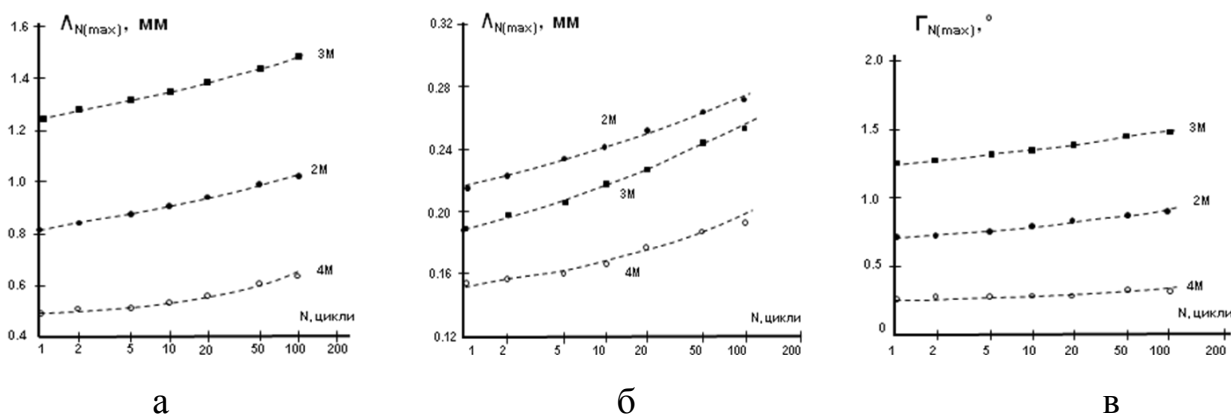


Рис. 3 – Розвиток деформацій в переломах великогомілкової кістки, фіксованих пластинами 2М, 3М та 4М, під дією циклічного стискаючого навантаження $P_{1 \max} = 100 \text{ Н}$ (а), циклічного згинального навантаження $P_{2 \max} = 100 \text{ Н}$ (б) та циклічного крутильного навантаження $P_{3 \max} = 10 \text{ Н}$ (в)

Висновки:

1. Запропоновано спосіб та створено обладнання для прикладання просторових навантажень у циклічному режимі при багаторазовій дії стискаючої сили, згинального та крутильного моменту до систем «кістка з модельованим переломом - засіб фіксації».

2. Проведені випробування великогомілкових кісток з переломами, закріпленими фіксуєчими пластинами при одночасному прикладанні стискаючого, згинального та ротаційного навантаження; при цьому методом цифрової фотозйомки проводили вимірювання переміщень точок перелому.

3. Контрольні зразки випробували при тих самих режимах на робочому столі випробувальної машини окремо при стиску, згині та крученні. Порівняння обох способів показало задовільний збіг результатів з розбіжністю, що не перевищує похибки вимірювань.

Список використаних джерел

1. Шидловський М.С., Димань М.М., Заховайко О.П., Одудько Д.Г. Визначення переміщень в переломах із засобами фіксації при сумісній дії стиску, гину та кручення // Літопис травматології та ортопедії. – № 3-4 2018 (39-40). – С.71-75.

2. Одудько Д. Г., Димань М.М., Шидловський М.С. Установка для експериментального дослідження систем остеосинтезу під дією фізіологічних навантажень // Збірка матеріалів Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів «Інновації молоді – машинобудуванню», секція «Динаміка і міцність машин». – К: НТУУ «КПІ» 2018. – С. 1-4.

3. Шидловський М.С., Димань М.М., Заховайко О.П., Одудько Д.Г. Характеристики жорсткості засобів остеосинтезу кінцівок при просторовому навантаженні // В кн.: Міжнародна науково - технічна конференція «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта», м. Херсон, 10 - 13 вересня 2019 р.: Матеріали конференції – Київ-Херсон: 2019. – С. 34-37.

4. Одудько Д. Г., Димань М.М., Шидловський М.С., Заховайко О.П. Деформування засобів фіксації переломів кісток при просторовому навантаженні // Інновації молоді в машинобудуванні: Збірка праць Міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених та студентів. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – № 1. С. 33-38

5. Шидловський М.С., Шпак Д.Ю., Тимошенко О.В. Нові матеріали: Обладнання для випробувань конструкційних пластмас та гум при короткочасному навантаженні. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 48 с.

6. Патент на корисну модель № 128638 Спосіб вимірювання просторових переміщень уламків кісток людини в експерименті // Шидловський М.С., Літун

Ю.М., Заховайко О.П., Онищенко Є.Є., Димань М.М. Зареєстровано 25.09.2018 р., Бюл. № 18, 2018.

7. Бур'янов О.А., Шидловський М.С., Омельченко Т.М., Димань М.М., Мусієнко О.С. Деформаційні характеристики систем фіксації, що застосовуються при переломах та корекційних остеотоміях дистального відділу великогомілкової кістки // Літопис травматології та ортопедії. – № 1-2(35-36), 2017. – с.129-133.