

УДК 620.171.3:616.71-001.5

Просторові переміщення точок переломів кісток із засобами фіксації при циклічному навантаженні

Шидловський М.С.¹, Димань М.М.², Заховайко О.П.¹, Мусієнко О.С.¹

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

2 – Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, м. Київ

Анотація. Досліджено взаємні переміщення частин переломів кісток під дією циклічних навантажень кінцівок людини, що супроводжують процеси ходьби та виконання фізичних лікувальних процедур. Для експериментального вивчення просторових переміщень точок перелому кісток із засобом фіксації під дією циклічних навантажень застосовано установку, що дозволяє відтворювати одночасну дію на систему «кістка з переломом - засіб фіксації» стискаючих, згинальних і ротаційних навантажень в циклічному режимі. Контрольні зразки випробували за допомогою універсальної випробувальної машини окремо при стиску, згині та крученні. Порівняння обох способів показало задовільний збіг результатів з розбіжністю, що не перевищує похибки вимірювань.

Ключові слова: остеосинтез, переломи кісток, циклічні навантаження, переміщення переломів.

В даному повідомленні розглядається методика та результати досліджень просторових переміщень, що виникають під час прикладання навантажень у циклічному режимі при багаторазовому стиску, згині та крученні систем «кістка з модельованим переломом - засіб фіксації».

Обладнання та метод досліджень. Принцип дії, схема, основні вузли та технічні характеристики установки при статичній дії навантажень описані в роботах [1-2]. 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. 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.

Прикладання навантаження на систему блоків випробувальної установки здійснюється важільним пристроєм, приєднаним до рухомої траверси випробувальної машини TIRA-test, що керується процесором машини. 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. Для керування циклічними навантаженнями використовували програму вводу даних у процесор випробувальної машини TIRA-test. За допомогою програми можна здійснювати запис кривих повзучості в циклічному та статичному режимах навантаження.

При проведенні досліджень реалізовано таку програму циклу (рис. 1):

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

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

Після завершення роботи у процесорі зберігаються такі дані: NR – номер випробування; Z – загальна кількість проведених циклів; A1 – деформація при навантаженні F1 і числі циклів Z1; A2 – деформація при навантаженні F2 і числі циклів Z1; A1 – деформація при навантаженні F1 і числі циклів Z2; A2 – деформація при навантаженні F2 і числі циклів Z2.

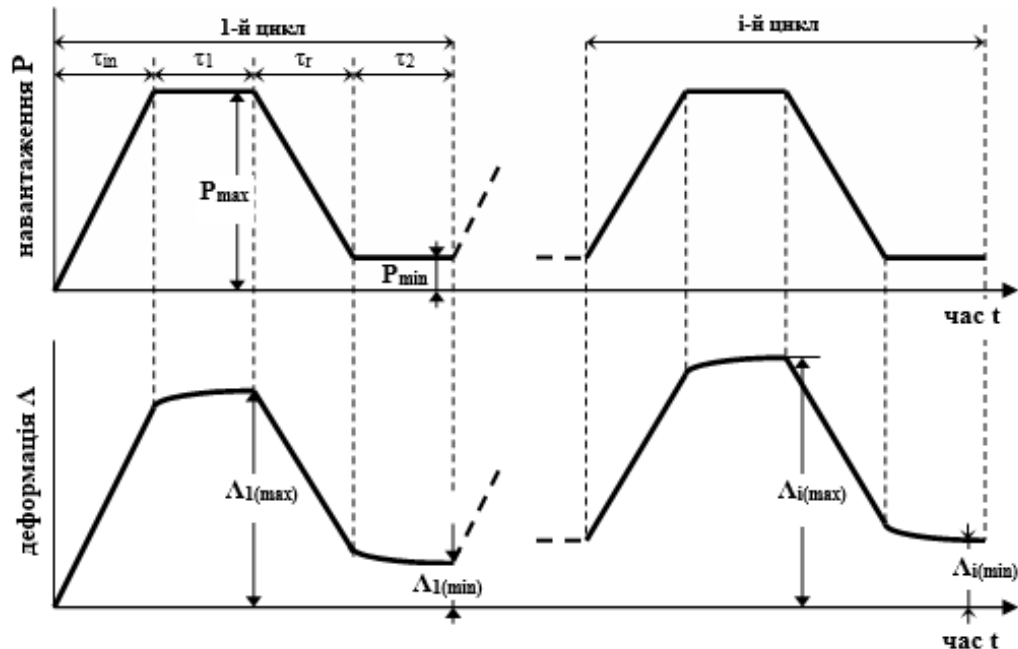


Рис. 1. Програма навантаження (вверху) и крива циклічної повзучості (внизу) зразків

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 складала ± 0.02 мм; точність визначення кутів повороту частин переломів у різних площинах $\pm 0.1^\circ$; 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 $P = P_{\text{MAX}}$ $\tau_1 = 1 \dots 5$ с; навантаження $P_{\text{MIN}} = 100 - 1000$ Н. В процесі випробувань реєстрували такі дані (рис. 1, нижній графік): $\Delta_i(\text{MAX})$ – взаємне переміщення точок перелому на i -му циклі навантаження при $P = P_{\text{MAX}}$; $\Delta_i(\text{MIN})$ – взаємне переміщення точок перелому на i -му циклі навантаження при $P = P_{\text{MIN}}$. 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 [3].

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 кутною стабільністю – «2М», медіальна великогомілкова блокована пластина – «3М», медіальна великогомілкова блокована пластина для відкритої корекційної остеотомії – «4М». Конструкції вказаних пластин представлені в роботі [4].

Результати випробувань наведені в табл. 1, 2 та на рис. 2. Співставлення результатів з даними, одержаними при проведенні випробувань із застосуванням системи навантаження окремими силами [4], показали задовільний збіг значень деформацій.

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

Номер циклу, N	Зразок під дією максимального за цикл навантаження $P_{1\max}$			Зразок під дією мінімального навантаження $P_{1\min}$	
	Повні переміщення $\Delta_{N(\max)}$, мм	Деформації повзучості Δ_C , мм	Приведені деформації $\lambda_C \cdot 10^3$, мм/Н	Повні переміщення $\Delta_{N(\min)}$, мм	Незворотні переміщення Δ_H , мм
<i>Пластина 3М, осьове навантаження $P_{1\max} = 100$ Н, $P_{1\min} = 10$ Н</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, осьове навантаження $P_{1\max} = 100$ Н, $P_{1\min} = 10$ Н</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
<i>Пластина 3М, згинальне навантаження $P_{1\max} = 20$ Н, $P_{1\min} = 5$ Н</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 2
Деформаційні характеристики великогомілкової кістки з фіксацією пластинами 3М та 4М під дією крутильного циклічного навантаження P_3

Номер циклу, N	Зразок під дією максимального за цикл навантаження $P_{3\max} = 10$ Н			Зразок під дією мінімального навантаження $P_{3\min} = 1$ Н	
	Повні кути $\Gamma_{N(\max)}$, °	Збільшення кутів Γ_C , °	Приведені кути $\bar{\Gamma}_C \cdot 10^3$, гра/ (Н·мм)	Повні кути $\Gamma_{N(\min)}$, °	Незворотні кути Γ_H , °
<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

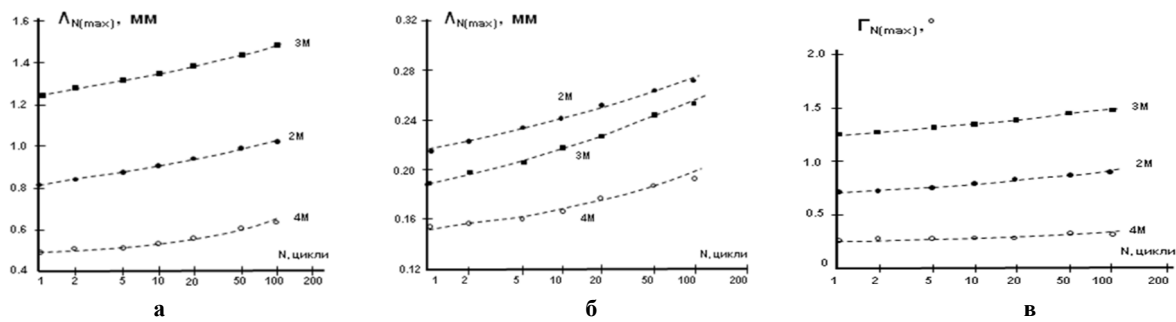


Рис. 2. Розвиток деформацій в переломах великогомілкової кістки, фіксованих пластинами 2М, 3М та 4М, під дією циклічного стискаючого навантаження $P1_{max} = 100$ Н (а), циклічного згинального навантаження $P2_{max} = 100$ Н (б) та циклічного крутильного навантаження $P3_{max} = 10$ Н (в)

Висновки. 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». Проведені випробування великогомілкових кісток з переломами, закріпленими фіксуючими пластинами при одночасному прикладанні стискаючого, згинального та ротаційного навантаження; при цьому методом цифрової фотозйомки проводили вимірювання переміщень точок перелому. Контрольні зразки випробували при тих самих режимах. Окремо при стиску, згині та крученні. Порівняння обох способів показало задовільний збіг результатів з розбіжністю, що не перевищує похибки вимірювань.

Список літератури

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. 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.
3. 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.
4. 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.

Spatial displacement of bone fracture points with means of fixation under cyclic loading

Shidlovskiy Mykola, Dyman Marianne, Zakhovaiko Aleksandr, Musiienko Olha

Abstract. The mutual displacements of parts of bone fractures under the action of cyclic loads of human extremities that accompany the processes of walking and performing physical treatment procedures have been studied. For experimental study of spatial displacements of fracture points of bones with a means of fixation under cyclic loads, an installation is used that allows to reproduce the simultaneous action on the system "bone with fracture - means of fixation" of compressive, bending and rotational loads in cyclic mode. Control samples were tested using a universal test machine separately for compression, bending and torsion. Comparison of both methods showed a satisfactory coincidence of results with a discrepancy that does not exceed the measurement error.

Key words: osteosynthesis, bone fractures, cyclic loads, fracture displacement.