

# МАШИНОБУДУВАННЯ І ТРАНСПОРТ

УДК 693.554

**В. А. Огородніков**, д. т. н., проф.;

**Ю. С. Бікс**, студ.;

**В. Є. Перлов**, асп.

## ЧУТЛИВІСТЬ АРМАТУРНОЇ СТАЛІ ДО ЗМІНИ ШВИДКОСТІ ДЕФОРМУВАННЯ

*Розроблено розрахунковий апарат впливу швидкості деформування на поглинання енергії пластичного деформування для арматурних сталей. Показано, що поглинання питомої потенційної енергії деформування при динамічному навантаженні збільшується у 1,25 рази порівняно з квазистатичним.*

### Вступ

Зазвичай в традиційних методах розрахунку металевих конструкцій не враховується немонотонне складне деформування, а саме: навантаження–розвантаження, ефект Баушингера, зміна знаку деформацій, принцип запізнення, швидкість деформування тощо. В складних умовах деформування властивості матеріалу визначаються функціями матеріалу, які набули останнім часом широкого застосування як в технологічній механіці так і в будівельній механіці. Такими функціями є крива течії в координатах: інтенсивність напруження—інтенсивність деформації, яка не залежить від напруженого стану, а лише від матеріалу; діаграма пластичності в координатах показник напруженого стану — інтенсивність деформацій, накопичених до руйнування.

Вид цих діаграм дозволяє визначити спроможність матеріалу сприймати зміну гідростатичного тиску при різних навантаженнях.

### Формулювання задачі

Задачею роботи є отримання експериментальних даних щодо впливу швидкості деформування на характеристику кривої течії, співставлення показників питомої роботи пластичного деформування при різних швидкостях деформування.

### Постановка експерименту

Авторами експериментально була побудована крива течії при квазистатичному та динамічному навантаженні в координатах, наведених вище, для арматурного прокату серповидного профілю класу А500С зі сталі 3Гпс. Всі зразки для експерименту — стандартної форми, виготовлені відповідно з арматурного прокату А500С.

Для побудови експериментальних кривих застосовувались модель матеріалу, що має чутливість до зміни швидкості деформування згідно методики, запропонованої у [5], до арматурної сталі 3Гпс, з якої були виготовлені стандартні зразки для випробування на стиск, розтяг та кручення. Модель розроблена Огородніковим В. А., Кисельовим В. Б., Сиваком І. О. та Грушко О. В.

З метою використання кривої течії в розрахунках процесів пластичного деформування її апроксимували рівнянням:

$$\sigma_u = A e_u^n, \quad (1)$$

де  $A, n$  — коефіцієнти апроксимації, що мають фізичний зміст:  $A = \sigma_u$ , для матеріалу, що ізотропно зміцнюється при  $e_u = 1$ ,  $n = e_{кр}$  — критична деформація при умовному максимальному напруженні. Для вибраного матеріалу коефіцієнти апроксимації:  $A = 1032$  МПа,  $n = 0,270$ .

Крива течії з урахуванням швидкості деформування апроксимована рівнянням [5]:

$\sigma_u = A_v e^{n_v}$ , де коефіцієнт  $A$  може змінюватися в залежності від швидкості деформування за таким рівнянням:

$$A_v = A \left[ 1,045 + \frac{\ln(0,00227 + \dot{\epsilon})}{135} \right]. \tag{2}$$

Коефіцієнт  $n$  змінюється у формулі в залежності від швидкості деформування за співвідношенням

$$n_v = n \cdot \exp[-0,1273 \ln(1 + \dot{\epsilon})]. \tag{3}$$

У формулах (2) та (3)  $A_v$  — коефіцієнт апроксимації кривої течії, який враховує вплив швидкості деформування,  $\dot{\epsilon}$  — швидкість інтенсивності деформацій ( $s^{-1}$ ),  $n_v$  — показник степеня, який враховує вплив швидкості деформування,  $A$  і  $n$  — відповідно, коефіцієнти апроксимації кривої течії, побудованої без впливу швидкості деформування (квазистатичне деформування).

Побудова кривих течії (рис. 1) з урахуванням швидкості деформування виконана для значень  $\dot{\epsilon} = 100, 150$  та  $200 s^{-1}$ , відповідно.

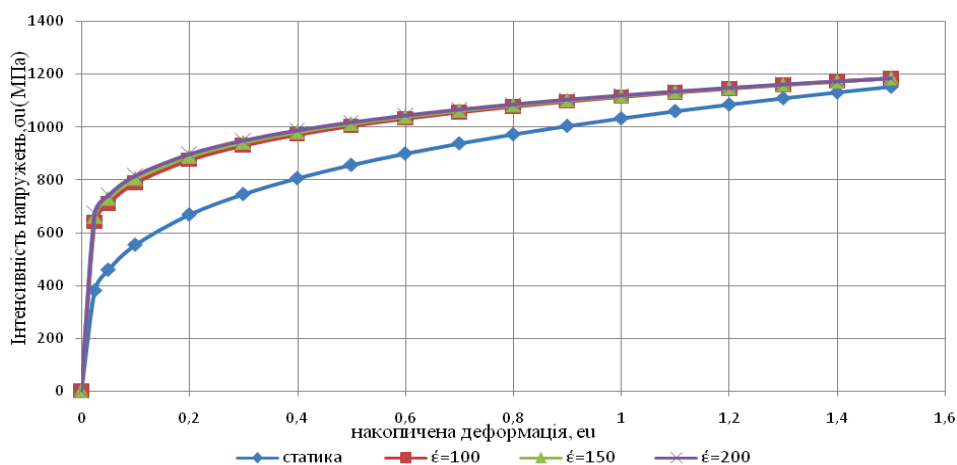


Рис. 1. Криві течії для арматури прокату А500 С при квазистатичному ( $\sigma_u$ ), та динамічному навантаженні ( $\sigma_{100}, \sigma_{150}, \sigma_{200}$ ).

Також експериментально побудовано графіки, які відображають залежність співвідношення питомої динамічної роботи пластичного деформування до квазистатичної роботи від швидкості деформування (рис. 2).

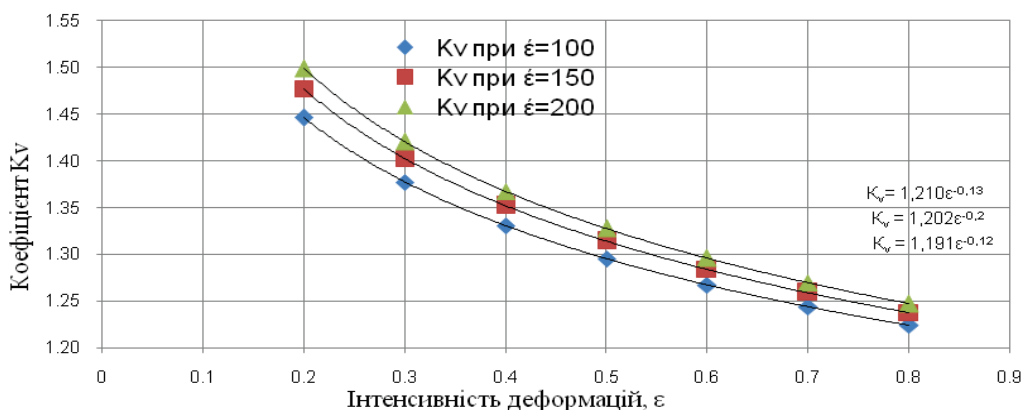


Рис. 2. Залежність співвідношення потенційної енергії питомої пластичної деформації від інтенсивності деформування для різних швидкостей деформування

Питому роботу пластичної деформації знаходимо за формулою [5]

$$W_{deformation} = A \int_0^{\epsilon^*} \epsilon_i^n d\epsilon, \tag{4}$$

де  $\epsilon_i$  — накопичена інтенсивність деформацій,  $A, n$  — коефіцієнти апроксимації.

Авторами введено коефіцієнт швидкісного ефекту —  $K_v$ , який дорівнює

$$K_v = \frac{W_{dyn}}{W_{stat}}, \tag{5}$$

де  $W_{dyn}$  — питома потенційна енергія пластичної деформації при динамічному навантаженні,  $W_{stat}$  — питома квазістатична робота пластичного деформування.

Таблиця 1  
Залежність коефіцієнта  $K_v$  від інтенсивності деформування  $\epsilon_i$  для арматури А500С при різних швидкостях деформування  $\dot{\epsilon}$

Коефіцієнти $K_v$ в залежності від швидкості деформування:			
$\epsilon_i$	$\dot{\epsilon} = 100(c^{-1})$	$\dot{\epsilon} = 150(c^{-1})$	$\dot{\epsilon} = 200(c^{-1})$
0,2	1,446	1,477	1,499
0,3	1,377	1,403	1,420
0,4	1,330	1,352	1,367
0,5	1,295	1,314	1,327
0,6	1,267	1,284	1,296
0,7	1,244	1,259	1,269
0,8	1,224	1,238	1,247

Криві апроксимовані показниковою функцією. Експериментальні дані для побудови графіка зведені у таблицю 1.

Залежність роботи питомого пластичного деформування від швидкості деформації показана на рис. 3. Дослідні дані зведені у таблицю 2. Криві графіка на рис. 3 описані показниковою функцією.

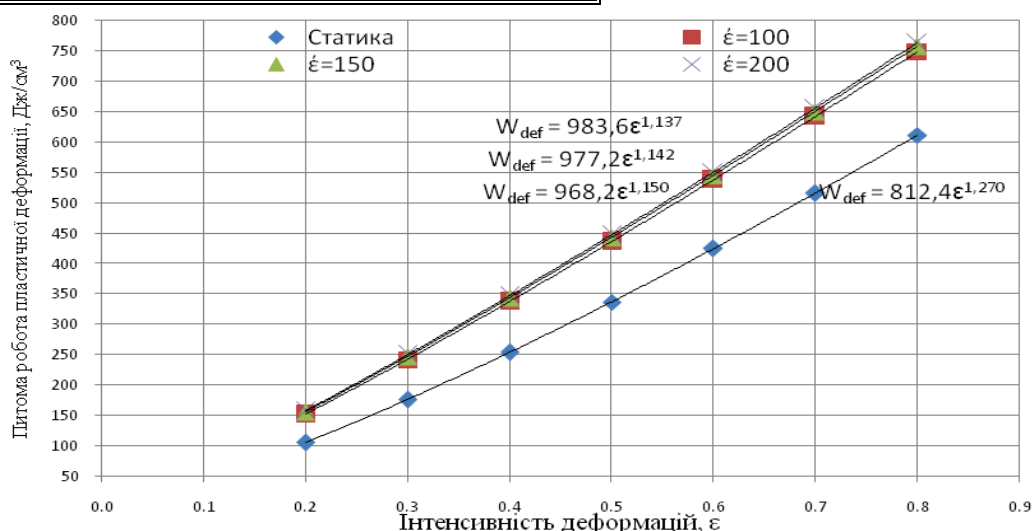


Рис. 3. Залежність питомої потенційної енергії пластичної деформації від швидкості деформування

Таблиця 2

Величина питомої потенційної енергії пластичної деформації

Питома робота пластичної деформації				
$\epsilon_i$	Статика	$\dot{\epsilon} = 100(c^{-1})$	$\dot{\epsilon} = 150(c^{-1})$	$\dot{\epsilon} = 200(c^{-1})$
0,2	105,168	152,060	155,347	157,640
0,3	176,024	242,413	246,901	250,028
0,4	253,676	337,490	342,997	346,832
0,5	336,809	436,242	442,619	447,059
0,6	424,587	538,024	545,144	550,100
0,7	516,426	642,398	650,147	655,541
0,8	611,891	749,042	757,320	763,083

## Висновки

Показано, що швидкість деформування в досліджуваних границях ( $100 \dots 200 \text{ с}^{-1}$ ) впливає на питому потенційну енергію пластичної деформації. Так, арматурна сталь 3Гпс поглинає при динамічному деформуванні в 1,25 разів більше енергії ніж при квазістатичному.

Показано, що коефіцієнт швидкісного ефекту  $K_v$  залежить від величини швидкості динамічного навантаження, та описується показниковою функцією  $K_v = f(\epsilon_i)$ , показник степеня якої мало залежить від швидкості деформування.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Огородников В. А. Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении / В. А. Огородников. — К. : УМК ВО, 1989. — 152 с.
2. Огородников В. А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением / В. А. Огородников. — К. : Вища школа. Головное изд-во, 1983. — 175 с.
3. Огородников В. А. Диаграммы пластичности и особенности их построения / Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : зб. наук. праць / В. А. Огородников, И. Ю. Кирица, В. И. Музычук. — Краматорськ, 2006. — С. 251—255 — ISBN 966-379-070-9.
4. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови (ISO 6935-2:1991, NEQ) : ДСТУ 3760-2006. — [Чинний від 2007-10-1]. — К. : Держспоживстандарт України 2006. — 158 с. — (Національний стандарт України)
5. Огородников Виталий Антонович. Энергия. Деформации. Разрушение (задачи автотехнической экспертизы) : монография / Огородников В. А., Киселев В. Б., Сивак И. О. — Винница : Универсум-Винница, 2005. — С. 176—183. — ISBN 966-641-117-2.
6. Огородников В. А. Дослідження механічних характеристик арматурної сталі // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві : науково-техн. зб. / В. А. Огородников, Ю. С. Бікс. — Вінниця, 2008. — № 5. — С. 55—62: іл. 6. Табл. 3. Бібліогр.: 4 назв.

Рекомендована кафедрою опору матеріалів та прикладної механіки

Надійшла до редакції 26.03.09  
Рекомендована до друку 28.04.09

**Огородніков Віталій Антонович** — завідувач кафедри, **Перлов Віктор Євгенович** — аспірант.

Кафедра опору матеріалів та прикладної механіки;

**Бікс Юрій Семенович** — студент Інституту магістратури аспірантури та докторантури.

Вінницький національний технічний університет