

*О.Г. Фенко, к.т.н., доцент  
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

## **ВПЛИВ ВЛАСНИХ НАПРУЖЕНЬ У МАТЕРІАЛІ НА МАСШТАБНИЙ ЕФЕКТ**

*Описано методику проведення експерименту на циліндричних зразках різних розмірів, виготовлених із крихкого силікатного алюмінієвого сплаву. Наведено результати експериментальних досліджень впливу власних напружень, нерівномірно розподілених по перерізу, на міцність матеріалу. Проаналізовано причини такого впливу.*

**Ключові слова:** *власні напруження, масштабний ефект, міцність матеріалу.*

*А.Г. Фенко, к.т.н., доцент  
Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

## **ВЛИЯНИЕ СОБСТВЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В МАТЕРИАЛЕ НА МАСШТАБНЫЙ ЭФФЕКТ**

*Описана методика проведения эксперимента на цилиндрических образцах разных размеров, изготовленных из хрупкого силикатного алюминиевого сплава. Приведены результаты экспериментальных исследований влияния собственных напряжений, неравномерно распределенных по сечению, на прочность материала. Проанализированы причины такого влияния.*

**Ключевые слова:** *собственные напряжения, масштабный эффект, прочность материала.*

*O.G. Fenko, PhD, Associate Professor  
Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University*

## **THE INFLUENCE OF OWN TENSIONS IN THE MATERIAL ON SCALE EFFECT**

*Describes the methods of conducting an experiment on cylindrical different sizes specimens made of brittle aluminum silicate alloy. Given the results of experimental researches own stresses influence, unevenly distributed over the cross section, on the material strength. Analyzed such influencing reasons.*

**Keywords:** *residual stresses, scale effect, strength of the material.*

**Вступ.** В основу масштабного ефекту покладено статистичну теорію міцності: чим більші розміри випробовуваного зразка, тим більша ймовірність наявності в ньому руйнівного дефекту. У той же час необхідно відмітити, що існують різні підходи до обґрунтування статистичної теорії міцності [1, 2]. Наприклад, дефекти внутрішньої будови тіла, згідно з теорією Гріффітса, обґрунтовуються наявністю тріщин, розташованих усередині його [3].

Останнім часом одержано різні результати експериментальних досліджень: в одних дослідах у зразках більших розмірів одержано міцність меншу, в інших, навпаки, міцність вища в більших за розмірами зразках, а в деяких випадках практично не виявлено відмінності значень міцності в зразках різних розмірів [4].

Такі результати привели до появи різних пояснень природи масштабного ефекту: енергетичний підхід, технологічні причини та ін. До названих причин логічно додати вплив власних напружень, нерівномірно розподілених по поперечному перерізу.

Власні напруження виникають, наприклад, у литих металевих зразках при охолодженні (після твердіння) та кінцевому вирівнюванні температури по поперечному перерізу: зовнішні шари стиснуті, а внутрішні розтягнені. Такі ж самі напруження виникають і в прокатних та кованих елементах. Ураховуючи те, що в зразках більших розмірів власні напруження будуть більші, слід очікувати їхнього більшого впливу на зниження міцності матеріалу. Такі висновки повинні бути підтверджені експериментально.

**Огляд останніх джерел досліджень і публікацій.** Вплив власних структурних напружень на масштабний ефект був проаналізований на бетонних зразках [5]. Вплив власних напружень, нерівномірно розподілених по перерізу, на масштабний ефект не досліджувався.

Перші експериментальні визначення впливу власних напружень, розподілених нерівномірно по поперечному перерізу, були проведені на циліндричних зразках, виготовлених з епоксидної смоли [6]. Зразки виготовлялися пошарово: в одній партії – починаючи із зовнішніх шарів, у другій, навпаки, – із внутрішніх.

У першій партії зразків (ЗВ – послідовність охолодження від зовнішніх до внутрішніх шарів) зовнішні шари після твердіння (практичного згасання зростання міцності) навантажувалися стискнуою силою та заливався наступний (внутрішній) шар. Після набору міцності другим шаром зразок довантажувався й заливався наступний, останній шар.

В другій партії зразків (ВЗ – послідовність охолодження від внутрішніх до зовнішніх шарів) виготовлення зразків починалося із внутрішніх шарів, теж із пошаровим навантаженням. Після практичного згасання зростання міцності смоли зразки були розвантажені. Таким чином, у зразках ЗВ зовнішні шари були стиснуті, а внутрішні розтягнені, а в зразках партії ВЗ, навпаки, стиснуті були внутрішні шари, а зовнішні – розтягнені.

Один із недоліків експерименту – те, що епоксидна смола є «старіючим» матеріалом, тобто її міцність деякою мірою була різною. Другий недолік – ступінчасте (пошарове) розподілення власних напружень по поперечному перерізу.

Незважаючи на згадані недоліки, попередні висновки щодо впливу власних напружень, розподілених нерівномірно по поперечному перерізу, підтвердилися: зразки партії ЗВ були міцніші, ніж зразки ВЗ.

Пізніше було виконано досліди із впливу нерівномірно розподілених по поперечному перерізу напружень на міцність дюралюмінію. Експерименти проводилися на циліндричних зразках діаметром 30 мм, вилитих із крихкого (силікатного) алюмінієвого сплаву. Випробовувалися дві групи зразків. Зразки однієї групи виготовлялися за звичайною технологією: відливалися у сталеві циліндричні форми, й охолодження починалося із зовнішніх шарів. Таким чином, після повного охолодження при вирівнюванні температури по поперечному перерізу зовнішні шари були стиснуті, а внутрішні розтягнені.

Зразки другої партії відливалися у такі ж самі циліндричні сталеві форми, по осі яких були вмонтовані циліндричні трубки діаметром 6 мм. Форми було встановлено в електронагрівальні пристрої.

При відливанні дюралюмінію нагрівальні пристрої вмикали до температури плавлення дюралюмінію і пропускали воду по центральній трубці.

Отже, охолодження дюралюмінію починалось із центральних шарів. При вирівнюванні температури по поперечному перерізу після повного охолодження внутрішні шари були стиснуті, а зовнішні розтягнені, тобто власні напруження були протилежного знака порівняно з напруженнями в зразках попередньої партії.

Досліди підтвердили вплив власних напружень на міцність матеріалу: міцність зразків, у яких охолодження починалось із центральних шарів, виявилась у середньому на 20% більшою від міцності зразків «природного» охолодження. Тобто вплив власних напружень, нерівномірно розподілених по поперечному перерізу, в середньому складає 10% [7].

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми.** Не дослідженим, таким чином, залишився вплив власних напружень (нерівномірно розподілених по поперечному перерізу) на масштабний ефект.

**Метою** проведених дослідів є визначення впливу вказаних напружень, розподілених нерівномірно по перерізу, на масштабний ефект.

**Основний матеріал і результати.** Щоб довести вплив власних напружень на масштабний ефект, необхідно було провести досліди на зразках різних розмірів із протилежними полями власних напружень.

Такі досліди було виконано на циліндричних зразках діаметрами орієнтовно 30 та 50 міліметрів і висотою відповідно 60 та 100 міліметрів, виготовлених із крихкого дюралюмінію АК12 (силікатного сплаву за ДСТУ-2830-90 (ГОСТ 1583-93) «сплави алюмінієві ливарні»).

Зразки «природного» твердіння та охолодження ЗВ (тобто охолодження починалося із зовнішніх шарів) заливалися в сталеві циліндричні форми відповідних розмірів з деяким запасом.

Зразки з протилежним полем власних напружень заливалися в такі ж самі сталеві форми, по осі яких були вмонтовані трубки (діаметром 5–6 мм) для подачі води. Навколо сталеві форми встановлювалась електроспіраль і все це закривалось азбестовою термоізоляцією [7].

Перед розливом розплавленого дюралюмінію вмикалась електроспіраль і подавалась вода кімнатної температури по центральній трубці. Форма нагрівалася до температури плавлення дюралюмінію. Після розливу останнього форма закривалася азбестовою кришкою. Таким чином, охолодження і твердіння дюралюмінію починалося із внутрішніх шарів (зразки ВЗ).

Після охолодження зразки на токарному верстаті доводилися до «проектних» розмірів. У зразках ЗВ по осі проточувалися отвори такого ж діаметра, як і в зразках ВЗ.

Випробовувалися зразки на центральний стиск на гідравлічному пресі 2ПГ-125 практично з однаковою швидкістю навантаження. Характер їх руйнування підтвердив крихкість дюралюмінію (рис.1).



**Рис. 1. Зразки після випробування**

Випробування підтвердили попередні логічні обґрунтування впливу власних напружень, розподілених нерівномірно по перерізу, на масштабний ефект: у зразках із більшим діаметром при розподілу власних напружень, протилежному «природному», міцність виявилась більшою. Результати експерименту наведені в таблиці 1.

**Таблиця 1. Міцність дюралюмінієвих зразків різних розмірів з протилежним «природному» полем власних напружень**

Групи зразків				Різниця міцності	
В5		В3		МПа	%
d, (мм)	$\sigma$ , (МПа)	d, (мм)	$\sigma$ , (МПа)		
46,0	438	27,3	425	13	3
41,5	421	27,4	414	7	1,7
42,9	390	27,2	380	10	2,5
47,5	385	27,5	373	12	3,2

Деяку різницю міцності в циліндрах однакових розмірів у різних групах зразків можна пояснити тим, що після випробувань вони переплавлялись і виготовлялись нові зразки.

**Висновки.** Таким чином, експериментально доведено вплив власних напружень, нерівномірно розподілених по поперечному перерізу, на масштабний ефект.

Для узагальнення результатів впливу нерівномірно розподілених по перерізу напружень на масштабний ефект доцільне продовження досліджень на різних матеріалах.

#### *Література*

1. Bažant Z.P. *Le Jia-Liang* (). Size effect on strength and lifetime probability distributions of quasibrittle structures / Z.P. Bažant, Jia-Liang Le / *Sādhanā (Indian Academy of Sciences)*. – 2012. – №37 (Feb.). – Part 1. – P. 1731.
2. Болотин В.В. *Статистические методы в строительной механике* / В.В. Болотин. – М.: Стройиздат, 1961. – С. 62 – 64.
3. Чечулин Б.Б. *Масштабный фактор и статистическая природа прочности металлов* / Б.Б. Чечулин. – М.: Металлургиздат, 1963. – С. 16 – 17.
4. Филлипс К.Дж. *Разрушение стекла* // *Разрушение: в семи томах*. – М.: Металлургиздат, 1976. – Т. 7, Ч.1. – С. 40.
5. Фенко Г.А. *Влияние усадочных напряжений и масштабного фактора на прочность бетона* / Г.А. Фенко // *Проблемы ползучести и усадки бетона: тезисы докладов на Втором всесоюзном совещании*. – М.: Стройиздат, 1974. – С. 160 – 164.
6. Фенко О.Г. *Вплив власних напружень і масштабного фактора на міцність матеріалів* / О.Г. Фенко, Г.О. Фенко, О.А. Крупченко // *Збірник наук. праць (галузеве машинобудування, будівництво)*. – Вип. 8. – Полтава: ПолтНТУ, 2002. – С. 55 – 58.
7. Фенко О.Г. *Вплив власних напружень на міцність матеріалів* / О.Г. Фенко, Г.О. Фенко // *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: збірник наук. праць*. – Вип.25. – Рівне: НУВГП, 2013. – С. 466 – 471.

© О.Г. Фенко

Надійшла до редакції 18.05.2015