

УДК 621.7:519.85

В. М. Михалевич, д. т. н., проф.; Ю. В. Добранюк; Є. А. Трач

УДОСКОНАЛЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛІТИЧНОЇ МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ БІЧНОЇ ПОВЕРХНІ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗРАЗКІВ ПІД ЧАС ВІСЕСИМЕТРИЧНОЇ ОСАДКИ

Розглянуто методику експериментального дослідження деформування бічної поверхні циліндричних зразків під час вісесиметричного осадження із наявністю тертя на торцях. Проаналізовано різні підходи до нанесення та вимірювання координатної сітки під час деформування. Виявлено, що використання методу фотографування під час вимірювання розмірів координатної сітки бічної поверхні зразка дозволяє приблизно вдвічі зменшити трудомісткість і час проведення експериментального дослідження, уникнути розвантаження зразка під час поетапного деформування.

Ключові слова: напружено-деформований стан, осадження циліндричних зразків, бічна поверхня, координатна сітка, логарифмічні деформації.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень

Об'єкт дослідження. Процеси складного деформування.

Предмет дослідження. Деформації бічної поверхні циліндричних зразків під час вісесиметричної осадки за наявності бочкоутворення.

Мета дослідження. Удосконалення експериментальної частини експериментально-аналітичної методики дослідження НДС бічної поверхні циліндричних зразків під час вісесиметричної осадки.

Завдання дослідження. 1. Удосконалення методу нанесення координатної сітки на бічну поверхню циліндричного зразка. 2. Дослідження та порівняння різних методів визначення розмірів координатної сітки під час вісесиметричної осадки. 3. Розробка рекомендацій з удосконалення експериментальної частини експериментально-аналітичної методики дослідження НДС бічної поверхні циліндричного зразка під час осадки.

Актуальність роботи. Вісесиметрична осадка циліндричних зразків є не тільки розповсюдженою технологічною операцією, але й одним з основних видів лабораторних досліджень для визначення найважливіших технологічних властивостей матеріалів. Як відомо [1 – 4], під час осадки циліндричних зразків із малопластичних матеріалів на бічній поверхні утворюються тріщини. До того ж ступінь осадки, за якого з'являються тріщини, залежить від інтенсивності бочкоутворення бічної поверхні. У свою чергу інтенсивність бочкоутворення визначається умовами тертя на торцях зразка [5 – 10].

Основна частина

Відповідно до експериментально-аналітичної методики дослідження НДС бічної поверхні циліндричних зразків необхідно отримати залежність між осьовою та коловою деформаціями у вигляді таблично заданої функції [6 – 10]

$$\varepsilon_z = f(\varepsilon_\phi). \quad (1)$$

Експериментально-аналітична методика визначення НДС передбачає диференціювання залежності (1), що висуває жорсткі умови до методики її визначення, зокрема до умов отримання експериментальних даних.

Експериментальне дослідження вісесиметричної осадки циліндричних зразків із сталі 45

та сплаву ВТ9 виконано на базі лабораторій кафедри опору матеріалів та прикладної механіки Вінницького національного технічного університету.

Циліндричні зразки із згаданих матеріалів виготовляли обточуванням на токарному верстаті 1К62. У результаті отримали зразки з такими параметрами: ВТ9 – ($h = 16 \text{ мм.}$, $d = 12 \text{ мм.}$, шорсткість Ra 1,6), сталь 45 – ($h = 14 \text{ мм.}$, $d = 12 \text{ мм.}$, шорсткість Ra 1,6).

Відповідно до експериментально-аналітичної методики дослідження НДС у небезпечній, з погляду руйнування, зоні, тобто на бічній поверхні циліндричного зразка, необхідно нанести сітку [5 – 8]. Для забезпечення симетричного розташування сітки навколо середини бічної поверхні зразка на неї наклеювали міліметровий папір, відзначали середину бічної поверхні та вершини сітки. Наступним кроком було нанесення вказаних точок відбитків на твердомірі Віккерса типу ТП (рис. 1), що відображено на рис. 2. Вдавлювання ідентора в матеріал здійснювали із забезпеченням зусилля 20 кг.



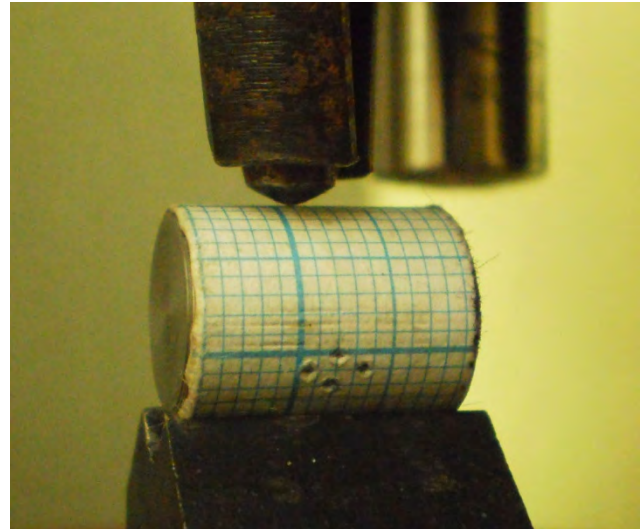
Рис. 1. Твердомір Віккерса типу ТП

На кожному зразку координатну сітку наносили в трьох площинах з кроком 120° . Для забезпечення нерухомості під час нанесення сітки зразок розміщували в призмі, розташовану на робочому столі твердоміра, що проілюстровано на рис. 2а. Після нанесення відбитків попередньо наклеєний міліметровий папір видаляють з поверхні зразка (рис. 3а).

Наступним етапом експериментального дослідження деформування бічної поверхні зразка є вимірювання вертикальних і горизонтальних розмірів отриманої координатної сітки. Для цього використовували інструментальний мікроскоп типу ММИ-2 (рис. 4).

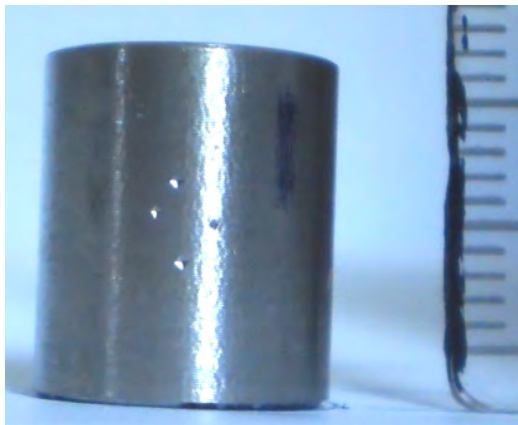


а)

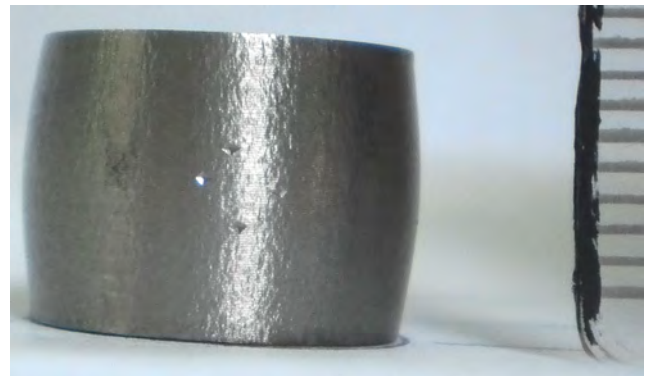


б)

Рис. 2. Нанесення сітки на бічну поверхню циліндричного зразка: а) установлення зразка на робочий стіл твердоміра; б) вдвлювання індентора в матеріал зразка



а)



б)

Рис. 3. Фотографія зразка із сплаву ВТ 9: а) перед вісесиметричною осадкою; б) після навантаження 21 т.

Підготовлені зразки із нанесеною та виміряною координатною сіткою далі поетапно осаджували на гідравлічному пресі ПММ-125 (рис. 5), використовуючи відповідне пристосування (рис. 6). Після кожного етапу зразок розвантажували та вимірювали змінені розміри за допомогою інструментального мікроскопа ММИ-2. При цьому також досліджувалось використання для вимірювання розмірів зразка та його координатної сітки методу фотографування, особливість якого полягає в тому, що зразок фотографують із використанням масштабної лінійки, що може бути розташована як у площині координатної сітки, так і в площині вісі зразка. Отримані фото обробляють в САД системі Компас, збільшуючи зображення в декілька разів. Використання методу фотографування зменшить час проведення експериментального дослідження та забезпечить уникнення розвантаження досліджуваного зразка під час поетапної осадки.



а)



б)

Рис. 4. Мікроскоп типу ММИ-2 (а) та вимірювання розмірів координатної сітки (б)



Рис. 5. Загальний вигляд гідравлічного преса ПММ-125



Рис. 6. Пристосування для вісесиметричної осадки на гідравлічному пресі ПММ-125

Величину деформації зразка зі сплаву ВТ9 на кожному етапі задавали наближено збільшенням навантаження. Результати вимірювання сітки у трьох площинах після кожного етапу навантаження за допомогою мікроскопа ММИ-2 та методу фотографування наведено в табл. 1 та 2 відповідно. Зразок зруйнувався, коли величина навантаження досягла 21,5 т. (рис. 7).

Таблиця 1

Значення розмірів координатної сітки зразка і сплаву ВТ9, виміряних за допомогою мікроскопа ММИ-2

Навантаження, т	Перша сітка		Друга сітка		Третя сітка	
	Горизонталь, мм	Вертикаль, мм	Горизонталь, мм	Вертикаль, мм	Горизонталь, мм	Вертикаль, мм
0	1,885	2,145	1,19	2,84	2,139	2,99
21	2,61	2,095	1,28	2,258	2,341	2,775
21,5	Руйнування зразка					

Таблиця 2

Значення розмірів координатної сітки зразка і сплаву ВТ9, виміряних методом фотографування

Навантаження, т	Перша сітка		Друга сітка		Третя сітка	
	Горизонталь, мм	Вертикаль, мм	Горизонталь, мм	Вертикаль, мм	Горизонталь, мм	Вертикаль, мм
0	1,8657	2,0088	1,184	2,7411	2,0485	2,9849
21	2,5987	1,9525	1,2708	2,0882	2,3074	2,637
21,5	Руйнування зразка					

Циліндричний зразок із сталі 45 також деформували поетапно, навантажуючи силою із кроком 5 т. Результати вимірювань координатної сітки після кожного етапу деформування за допомогою згаданих вище методів наведено в табл. 3 та 4.

Деформування зразка із сталі 45 здійснювали до досягнення навантаження 31,5 т., при цьому циліндричний зразок набув бочкоподібної форми та не зруйнувався (рис. 8).

Аналіз результатів виконаного дослідження визначення розмірів координатної сітки зразка відповідно до методик вимірювання за допомогою мікроскопа ММИ-2 та фотографування дозволив встановити, що похибка вимірювання за обома методами в одних і тих самих межах.



Рис. 7. Руйнування зразка із сплаву ВТ9 під час вісесиметричної осадки

Таблиця 3

Значення розмірів координатної сітки зразка із сталі 45, виміряних за допомогою мікроскопа ММІ-2

Навантаження, т	Перша сітка		Друга сітка		Третя сітка	
	Горизонталь, мм	Вертикаль, мм	Горизонталь, мм	Вертикаль, мм	Горизонталь, мм	Вертикаль, мм
0	2,145	1,85	1,742	2,84	1,8025	2,735
5,3	2,56	2,99	1,69	3,115	1,792	2,77
10	2,215	2,82	1,695	2,95	1,769	2,642
15	2,505	2,295	2,03	2,405	2,015	2,142
20	2,82	2,002	2,273	2,11	2,375	1,814
25,1	3,086	1,827	2,44	1,847	2,578	1,707
30	3,32	1,664	2,605	1,715	2,762	1,55
35,1	3,555	1,725	2,748	1,725	2,995	1,01

Таблиця 4

Значення розмірів координатної сітки зразка із сталі 45, виміряних відповідно до методу фотографування

Навантаження, тс	Перша сітка		Друга сітка		Третя сітка	
	Горизонталь, мм	Вертикаль, мм	Горизонталь, мм	Вертикаль, мм	Горизонталь, мм	Вертикаль, мм
0	2,0847	2,9396	1,5004	3,183	1,532	2,758
5,3	2,0349	2,9231	1,6423	3,0225	1,6359	2,7078
10	2,1562	2,7824	1,7122	2,9717	1,7817	2,6011
15	2,4891	2,327	1,9458	2,3997	1,9988	2,0799
20	2,7216	2,014	2,1826	2,1209	2,251	1,8405
25,1	3,1176	1,943	2,4276	1,9113	2,4689	1,7041
30	3,3056	1,7772	2,6238	1,844	2,7224	1,6271
35,1	3,4551	1,4698	2,6738	1,575	2,9003	0,9826

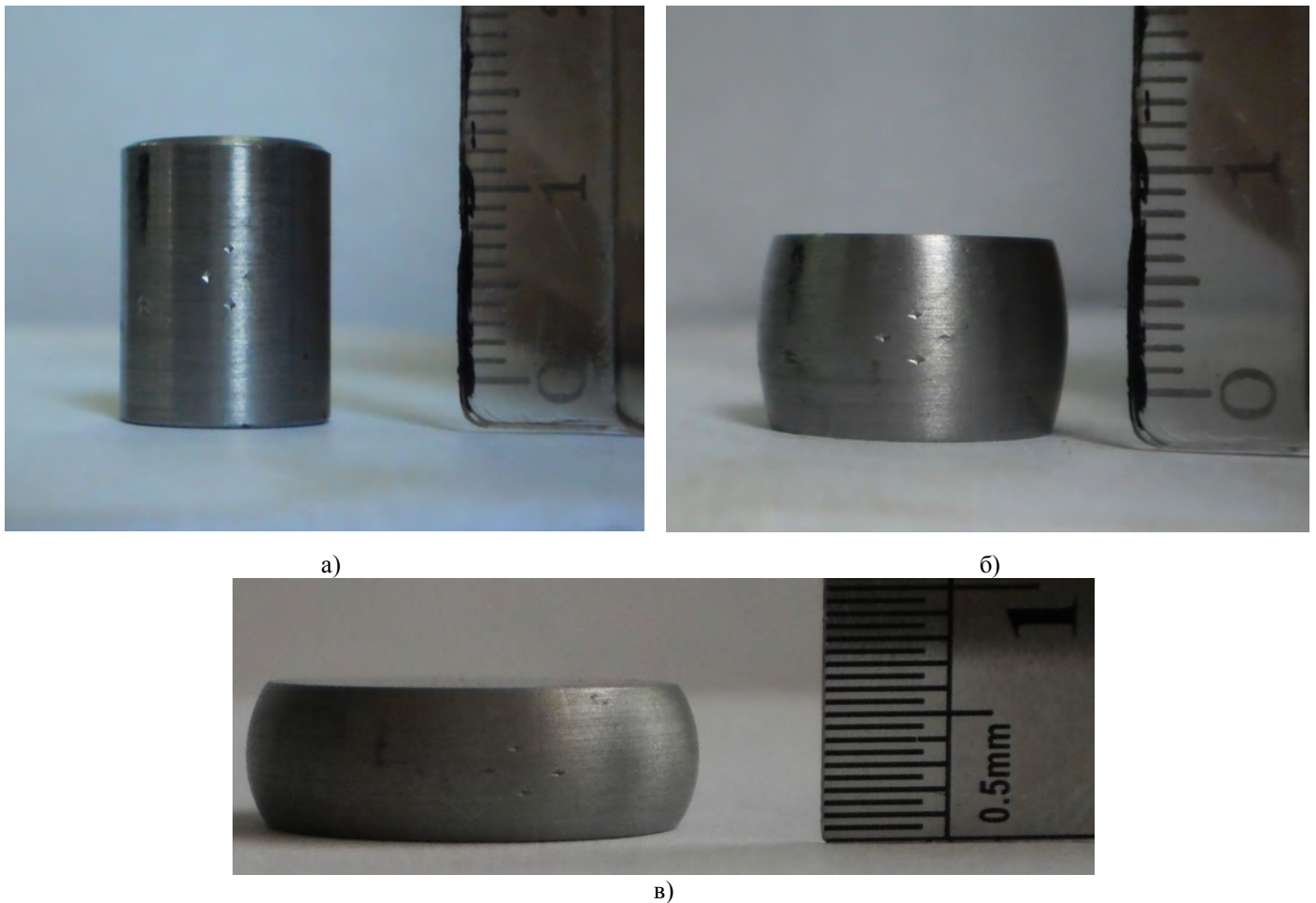


Рис. 8. Циліндричний зразок із сталі 45: а) до вісесиметричної осадки; б) після навантаження 20 т.; в) після навантаження 31,5 т.

Використовуючи отримані розміри координатної сітки бічної поверхні циліндричного зразка, визначаємо значення осьової ε_z та колової ε_ϕ логарифмічних деформацій:

$$\varepsilon_z = \ln\left(\frac{b}{b_0}\right); \varepsilon_\phi = \ln\left(\frac{a}{a_0}\right), \quad (2)$$

де a, a_0, b, b_0 – поточні та початкові горизонтальні і вертикальні розміри координатної сітки, які є вихідними даними аналітичної частини експериментально-аналітичної методики дослідження НДС та граничних деформацій під час вісесиметричної осадки [5 – 10].

Висновки

1. Удосконалена методика нанесення координатної сітки дозволяє симетрично наносити відмітки відносно центральної області бічної поверхні циліндричного зразка.
2. Під час експериментального дослідження деформування матеріалу бічної поверхні циліндричних зразків вимірювання розмірів координатної сітки краще виконувати методом фотографування. Це дозволяє значно прискорити проведення експериментального дослідження, частково автоматизувати вимірювання розмірів координатної сітки та забезпечити відсутність впливу розвантажень під час поетапного вісесиметричної осадки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Михалевич В. М. Тензорні моделі накопичення пошкоджень / В. М. Михалевич. – Вінниця: Наукові праці ВНТУ, 2011, № 4

"УНІВЕРСУМ-Вінниця", 1998. – 195 с.

2. Огородников В. А. Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении / В. А. Огородников. – К.: УМК ВО, 1989. – 152 с.

3. Сивак И. О. Влияние немонотонности нагружения на пластичность при радиальном выдавливании с контурной осадкой / И. О. Сивак // Науковий вісник Національної гірничої академії України – 2001. – № 7. – с. 47 – 50.

4. Колмогоров В. Л. Напряжения, деформации, разрушение / В. Л. Колмогоров. – М.: Металлургия, 1970. – 229 с.

5. Смирнов-Аляев Г. А. Сопротивление материалов пластическому деформированию. Инженерные методы расчета операций пластической обработки материалов / Г. А. Смирнов-Аляев. – М.- Л.: Машгиз, 1961. – 463 с.

6. Михалеви́ч В. М. Вісесиметрична осадка циліндричних заготовок / В. М. Михалеви́ч, В. О. Краєвський, Ю. В. Добранюк // Наукові нотатки: міжвузівський збірник (за напрямом «Інженерна механіка»). – 2009. – Випуск 25, ч. 1 – С. 241 – 249.

7. Mikhalevich V. M. Dependence of plastic ultimate strain from a friction at end faces at axisymmetric compression / V. M. Mikhalevich, Y. V. Dobranuk, V. A. Kraevsky, O. V. Mikhalevich // Bulet. Inst. Politehnic Din Iasi. – 2008. – Tomul LIV(LVIII), Fasc. 3 – 4 – p. 49 – 53.

8. Михалеви́ч В. М. Моделювання граничних пластичних деформацій при нестационарних процесах та задачі оптимізації / В. М. Михалеви́ч, В. О. Краєвський, Ю. В. Добранюк // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – 2009. – № 31 – С. 64 – 70.

9. Михалеви́ч В. М. Модель пластичного деформування матеріалу на вільній поверхні циліндричних зразків під час вісесиметричного осадження. Частина 1. Апроксимація деформацій / В. М. Михалеви́ч, Ю. В. Добранюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – № 2 – С. 97 – 102.

10. Михалеви́ч В. М. Модель пластичного деформування матеріалу на вільній поверхні циліндричних зразків під час вісесиметричного осадження. Частина 2. Визначення накопиченої деформації та інтенсивності логарифмічних деформацій на основі різних апроксимацій / В. М. Михалеви́ч, Ю. В. Добранюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – № 3 – С. 99 – 102.

Михалеви́ч Володимир Маркусови́ч – д. т. н., професор, завідувач кафедри вищої математики, тел.: 46-23-50.

Добранюк Юрій Володимирови́ч – асистент кафедри вищої математики.

Трач Євгеній Анатолійови́ч – магістрант кафедри технології та автоматизації машинобудування. Вінницький національний технічний університет.