

УДК 621.7:519.85

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

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БОКОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ ПРИ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ОСАДКЕ

Рассмотрена методика экспериментального исследования деформирования боковой поверхности цилиндрических образцов при осесимметричной осадке с наличием трения на торцах. Проанализированы разные подходы к нанесению и измерению координатной сетки во время деформирования. Выявлено, что использование метода фотографирования для измерения размеров координатной сетки боковой поверхности образца позволяет примерно вдвое уменьшить трудоемкость и длительность проведения экспериментального исследования, избежать промежуточных разгрузок образца при поэтапном деформировании.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, осадка цилиндрических образцов, боковая поверхность, координатная сетка, логарифмические деформации.

Постановка проблемы и анализ последних исследований

Объект исследования. Процессы сложного деформирования.

Предмет исследования. Деформации материала боковой поверхности цилиндрических образцов при осесимметричной осадке в условиях бочкообразования.

Цель исследования. Усовершенствование экспериментальной части экспериментально-аналитической методики исследования НДС боковой поверхности цилиндрических образцов при осесимметричной осадке.

Задачи исследования. 1. Усовершенствование метода нанесения координатной сетки на боковую поверхность цилиндрического образца. 2. Исследование и сравнение разных методов определения размеров координатной сетки при осесимметричной осадке. 3. Разработка рекомендаций по усовершенствованию экспериментальной части экспериментально-аналитической методики исследования НДС боковой поверхности цилиндрического образца при осадке.

Актуальность работы. Осесимметричная осадка цилиндрических образцов является не только распространенной технологической операцией, но и одним из основных видов лабораторных исследований для определения важнейших технологических свойств материалов. Как известно [1 – 4], при осадке цилиндрических образцов из малоэластичных материалов на боковой поверхности образуются трещины. Причем степень осадки, при которой появляются трещины, зависит от интенсивности бочкообразования боковой поверхности. В свою очередь интенсивность бочкообразования определяется условиями трения на торцах образца [5 – 10].

Основная часть

В соответствии с экспериментально-аналитической методикой исследования НДС боковой поверхности цилиндрических образцов необходимо получить зависимость между осевой и окружной деформациями в виде таблично заданной функции [6 – 10]

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

Экспериментально-аналитическая методика определения НДС предусматривает

дифференцирование зависимости (1), что предъявляет жесткие условия к методике её определения, в частности к условиям получения экспериментальных данных.

Экспериментальное исследование осесимметричной осадки цилиндрических образцов из стали 45 и сплава ВТ9 выполняли на базе лабораторий кафедры сопротивления материалов и прикладной механики Винницкого национального технического университета.

Цилиндрические образцы из упомянутых материалов изготавливались обтачиванием на токарном станке 1К62. В результате получили образцы с такими параметрами: ВТ9 – ($h = 16 \text{ мм.}$, $d = 12h/7 \text{ мм.}$, шероховатость $Ra 1,6$), сталь 45 – ($h = 14 \text{ мм.}$, $d = 12h/7 \text{ мм.}$, шероховатость $Ra 1,6$).

В соответствии с экспериментально-аналитической методикой исследования НДС в опасной, с точки зрения разрушения зоне, т. е. на боковой поверхности цилиндрического образца, необходимо нанести координатную сетку [5 – 8]. Для обеспечения симметричного размещения сетки в области середины боковой поверхности образца на неё наклеивали миллиметровую бумагу, отмечали середину боковой поверхности и вершины сетки. Следующим шагом было нанесение в указанных точках отпечатков на твердомере Виккерса типа ТП (рис. 1), что отображено на рис. 2. Вдавливание индентора в материал осуществляли с обеспечением усилия 20 кг.



Рис. 1. Твердомер Виккерса типа ТП

На каждом образце координатную сетку наносили в трёх плоскостях с шагом 120° . Для обеспечения неподвижности при нанесении сетки образец устанавливали в призму, размещённую на рабочем столе твердомера, что проиллюстрировано на рис. 2а. После

нанесения отпечатков ранее наклеенная миллиметровая бумага удаляется с поверхности образца (рис. 3а). Следующим этапом экспериментального исследования деформирования материала боковой поверхности образца является измерение вертикальных и горизонтальных размеров полученной координатной сетки. Для этого использовали инструментальный микроскоп типа ММИ-2 (рис. 4).

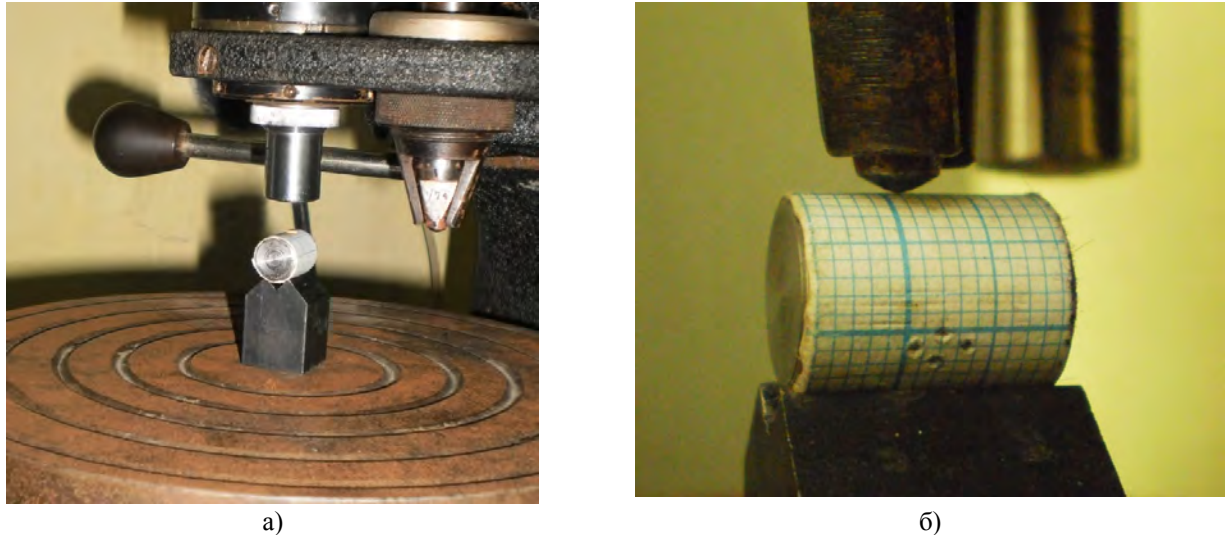


Рис. 2. Нанесение сетки на боковую поверхность цилиндрического образца: а) установка образца на рабочий стол твердомера; б) вдавливание индентора в материал образца

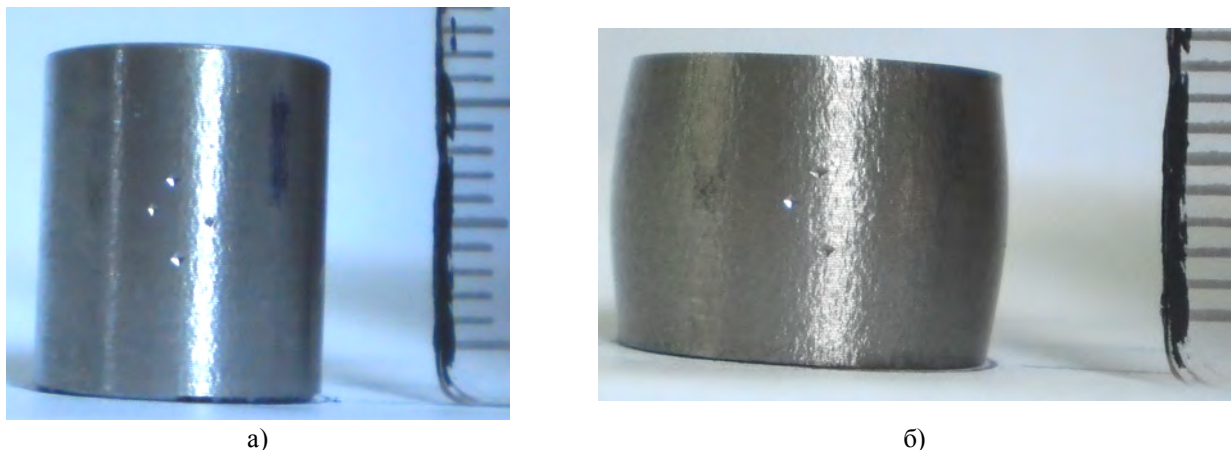


Рис. 3. Фотография образца из сплава ВТ9: а) перед осесимметричной осадкой; б) после нагружения 21 т.

Подготовленные образцы с нанесенной и измеренной координатной сеткой далее поэтапно осаживали на гидравлическом прессе ПММ-125 (рис. 5), используя соответствующее приспособление (рис. 6). После каждого этапа образец разгружали и измеряли изменённые размеры с помощью инструментального микроскопа ММИ-2. При этом также исследовалось применение для измерения размеров образца и его координатной сетки метода фотографирования, особенность которого заключается в том, что образец фотографируют с использованием масштабной линейки, которая может размещаться как в плоскости координатной сетки, так и в плоскости оси образца. Полученные фото обрабатывают в САД системе Компас с увеличением изображения в несколько раз. Использование метода фотографирования позволило примерно вдвое уменьшить трудоемкость и время проведения экспериментального исследования, а также исключить промежуточные разгрузки исследуемого образца при поэтапной осадке.



а)



б)

Рис. 4. Микроскоп типа ММИ-2 (а) и измерение размеров координатной сетки (б)



Рис. 5. Общий вид гидравлического прессы ПММ-125



Рис. 6. Приспособление для осесимметричной осадки на гидравлическом прессе ПММ-125

Величину деформации образца из сплава ВТ9 на каждом этапе задавали приближенно увеличением прикладываемой нагрузки. Результаты измерения сетки в трёх плоскостях после каждого этапа нагрузки с помощью микроскопа ММИ-2 и метода фотографирования приведены в табл. 1 и 2 соответственно. Образец разрушился, когда величина нагрузки достигла 21,5 т. (рис. 7).

Таблица 1

Значения размеров координатной сетки образца из сплава ВТ9, измеренных с помощью микроскопа ММИ-2

Нагрузка, т	Первая сетка		Вторая сетка		Третья сетка	
	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	Разрушение образца					

Таблица 2

Значения размеров координатной сетки образца из сплава ВТ9, измеренных методом фотографирования

Нагрузка, т	Первая сетка		Вторая сетка		Третья сетка	
	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	Разрушение образца					

Цилиндрический образец из стали 45 также деформировали поэтапно, нагружая силой с шагом 5 т. Результаты измерений координатной сетки после каждого этапа деформирования с помощью упомянутых выше методов приведены в табл. 3 и 4.

Деформирование образца из стали 45 проводили до достижения нагрузки 31,5 т., при этом цилиндрический образец приобрел бочкообразную форму и не разрушился (рис. 8).

Анализ результатов проведённого исследования определения размеров координатной сетки образца согласно методикам измерения с помощью микроскопа ММИ-2 и фотографирования позволил установить, что погрешность измерения обоих методов находится в одних и тех же пределах.

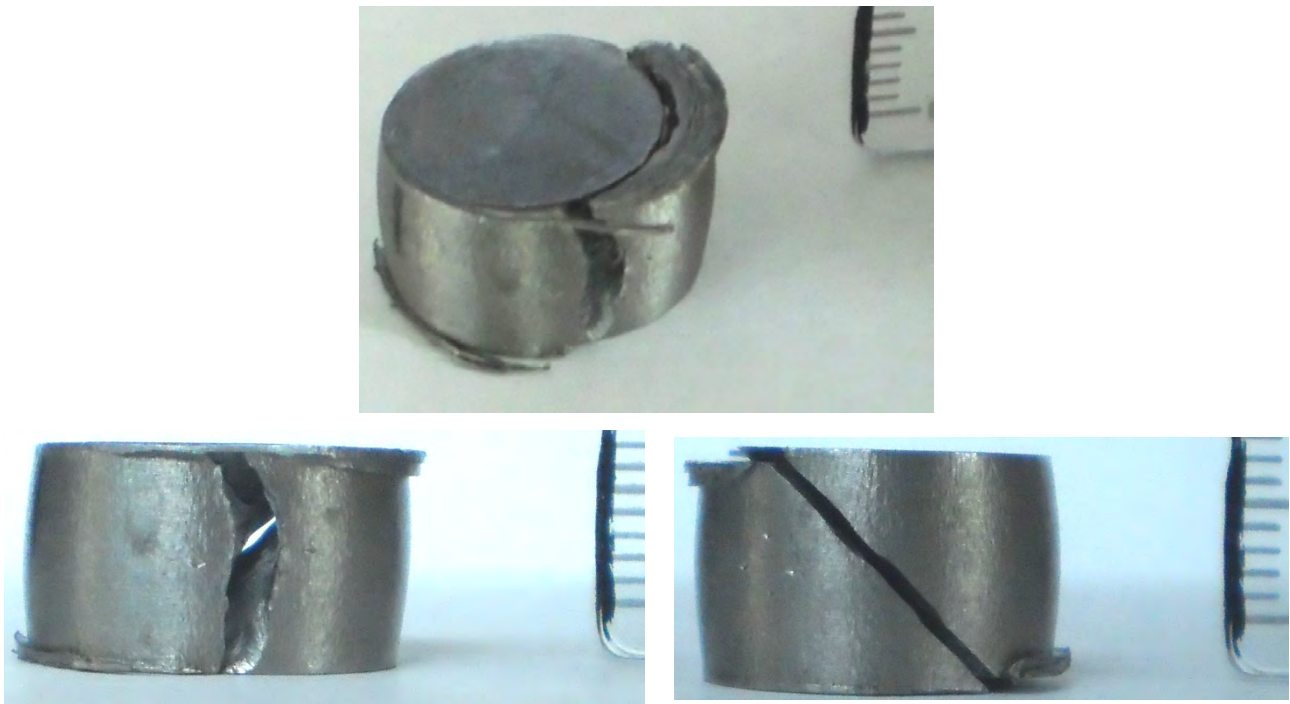


Рис. 7. Разрушение образца из сплава ВТ9 при осесимметричной осадке

Таблица 3

Значения размеров координатной сетки образца из стали 45, измеренных с помощью микроскопа ММИ-2

Нагрузка, т	Первая сетка		Вторая сетка		Третья сетка	
	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

Таблица 4

Значения размеров координатной сетки образца из стали 45, измеренных методом фотографирования

Нагрузка, т	Первая сетка		Вторая сетка		Третья сетка	
	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

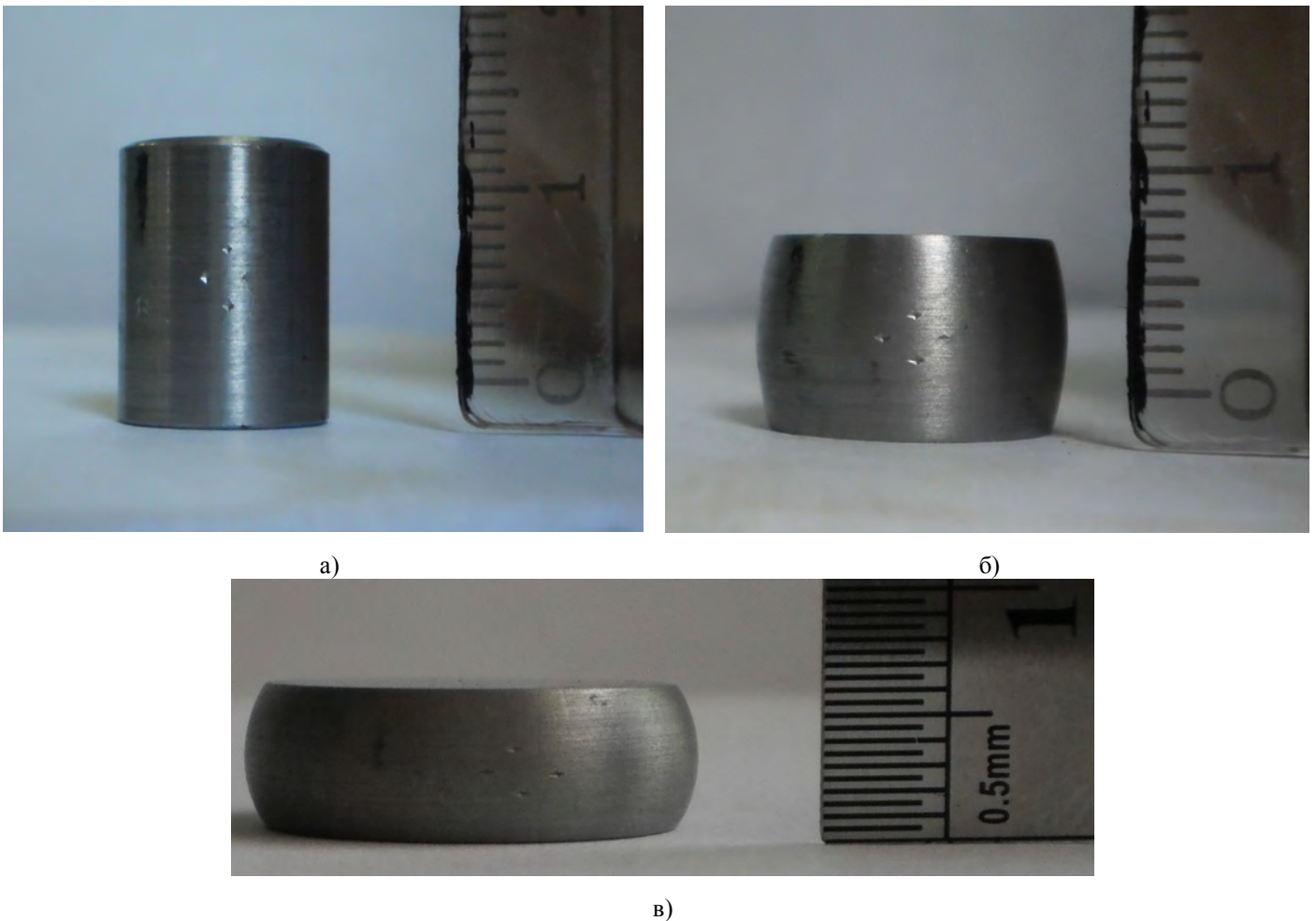


Рис. 8. Цилиндрический образец из стали 45: а) до осесимметричной осадки; б) после нагрузки 20 т.; в) после нагрузки 31,5 т.

Используя полученные размеры координатной сетки боковой поверхности цилиндрического образца, определяем значения осевой ε_z и окружной ε_ϕ логарифмических деформаций:

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

где a, a_0, b, b_0 – текущие и начальные горизонтальные и вертикальные размеры координатной сетки, которые являются начальными данными аналитической части экспериментально-аналитической методики исследования НДС и предельных деформаций при осесимметричной осадке [5 – 10].

Выводы

1. Усовершенствованная методика нанесения координатной сетки позволяет симметрично наносить отметки относительно центральной области боковой поверхности цилиндрического образца.

2. При экспериментальном исследовании деформирования материала боковой поверхности цилиндрических образцов измерение размеров координатной сетки лучше выполнять с использованием метода фотографирования. Это позволит значительно ускорить проведение экспериментального исследования, частично автоматизировать измерение размеров координатной сетки и обеспечить отсутствие влияния многократных

разгрузок образца при поэтапной осесимметричной осадке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михалевич В. М. Тензорні моделі накопичення пошкоджень / В. М. Михалевич. – Вінниця: "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. Михалевич В. М. Вісесиметрична осадка циліндричних заготовок / В. М. Михалевич, 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. Михалевич В. М. Моделювання граничних пластичних деформацій при нестационарних процесах та задачі оптимізації / В. М. Михалевич, 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. Михалевич В. М. Модель пластичного деформування матеріалу на вільній поверхні циліндричних зразків під час вісесиметричного осадження. Частина 1. Апроксимація деформацій / В. М. Михалевич, Ю. В. Добранюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – № 2 – С. 97 – 102.
10. Михалевич 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. Михалевич, Ю. В. Добранюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – № 3 – С. 99 – 102.

Михалевич Владимир Маркусович – д. т. н., професор, заведуючий кафедрою вищої математики, тел.: 46-23-50.

Добранюк Юрий Владимирович – асистент кафедри вищої математики.

Трач Евгений Анатольевич – магістрант кафедри технології і автоматизації машиностроєння. Вінницький національний технічний університет.