

УДК 621.7.014.4

В.А. Огородніков, д.т.н., проф., В.Є. Перлов, С.В. Войтків
Вінницький національний технічний університет

КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЮ СПАДКОВІСТЮ ПРИ ЛИСТОВОМУ ШТАМПУВАННІ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ КОНСТРУКЦІЙ

Предложены зависимости для расчета усилия деформирования круглых тонколистовых пластин при их прогибе. Экспериментально определены поправочные коэффициенты для расчета усилий деформирования. Исследовано влияние изменения параметров технологического процесса штамповки на параметры технологической наследственности полученного элемента

An addiction to calculate the deformation effort round sheet plates at their trough. Experimentally determined correction factor for calculating the deformation effort. The effect of changes in parameters of technological process parameters on forming technological heredity received element

Експлуатація виробів, отриманих обробкою металів тиском часто пов'язана з поглинанням ними енергії. І питання про те, яка енергія витрачена на виготовлення тієї чи іншої заготовки, а в подальшому виробу і як він себе веде в експлуатації є актуальним і важливим.

В останні роки з'являються транспортні засоби, до конструкцій яких пред'являються високі вимоги міцності, жорсткості і енергопоглинання як в процесі експлуатації, так і при непередбачуваних відмовах, наприклад ДТП. Створення так званих безпечних конструкцій, що забезпечували б захист водія і пасажирів в таких ситуаціях являється актуальним завданням сучасних виробників вказаної техніки.

Поглинання енергії має бути направлене на конструкцію, а не на людину. Це забезпечується керуванням параметрами технології, яка забезпечувала б сприятливу технологічну спадковість – міцність, жорсткість конструкції та її енергопоглинання, що піддаються керуванню.

При штампуванні даху автобуса необхідно технологічно забезпечити мінімальне переміщення ділянок 1-8 при його подальшій експлуатації – можливій аварії, при цьому максимальний прогин вказаних ділянок, показаних на рис. 1 не повинен перевищувати 15 см. Це забезпечить безпеку водієві і пасажирам у разі аварійної ситуації.

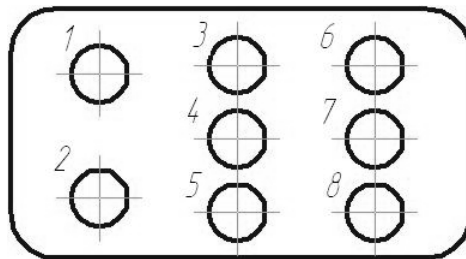


Рис. 1. Схема даху мікроавтобуса з розташуванням місць сидіння водія і пасажирів

Для здійснення вказаної умови необхідно вирішити дві задачі – розрахувати граничне значення інтенсивності розподіленого навантаження в областях 1-8 при заданих геометричних розмірах. При цьому розрахункова схема може бути представлена у вигляді круглої пластини, затисненої по контуру.

Розв'язок вказаної задачі в області пружних і невеликих пластичних деформацій, співмірних з товщиною пластин, приведене в [1]. Наближений розв'язок, в основу якого покладено припущення про те, що напруження рівномірно розподілене по товщині пластини, а форма зігнутої пластини близька до сферичної поверхні, приводиться в [2, 3].

У вказаних роботах розв'язок даний для ідеально пластичних матеріалів і не враховує їх зміцнення, а також наведений розв'язок складно застосовувати до вирішення конкретних виробничих завдань і експертної практики, де необхідні прості оціночні залежності. Аналіз результату розрахунку зусилля деформації по методиках [2, 3] показує істотне відхилення від експериментальних результатів. Це пов'язано з складністю розповсюдження теоретичного розв'язку задачі теорії пластичності на різну товщину металу, а також з обмеженням у вказаному розв'язку А. А. Іллюшина на величини прогину. У нашому випадку прогини перевищували товщину металу для тонких листів до 10 разів, і в цьому випадку спостерігається максимальне відхилення результатів розрахунку від експериментальних даних.

У роботі [4] проаналізований процес деформації квадратних тонколистових пластин, затиснених по контуру, проте більший практичний інтерес представляють саме круглі пластини.

Метою роботи є визначення залежностей для розрахунку зусиль деформації круглих тонколистових пластин, затиснених по контуру, експериментальне визначення поправочних коефіцієнтів для розрахунку пластин різної товщини, визначення характеру впливу технологічної спадковості кузовних елементів транспортних засобів на їх експлуатаційні характеристики і на підставі цього, розробка рекомендацій, щодо підвищення безпеки конструкцій.

Для оцінки точності результатів визначення енергії різними методиками в умовах деформації листових матеріалів проводили експериментальні дослідження на листових зразках у вигляді круглих пластин із сталі 08кп, діаметром $\varnothing 100$ мм різної товщини. Зразки виготовлялися з одного листа завтовшки 2,5 мм, після чого шліфувалися до різної товщини: $t_0 = 1$ мм; 1,5 мм; 2 мм. Конструкція пристосування дозволяє затискати пластини по контуру, при цьому можна вимірювати твердість в умовах консольного провисання пластин, або за наявності жорсткої опори.

На пластинах вимірювали твердість, при цьому середнє 10 вимірювань приймали за початкове число твердості. Потім кожна пластина, затиснена по контуру, деформувалася жорстким циліндровим пуансоном до різних ступенів деформацій.

Схема вантаження листових заготовок і загальний вид пристосування показані на (рис. 2, рис. 3)

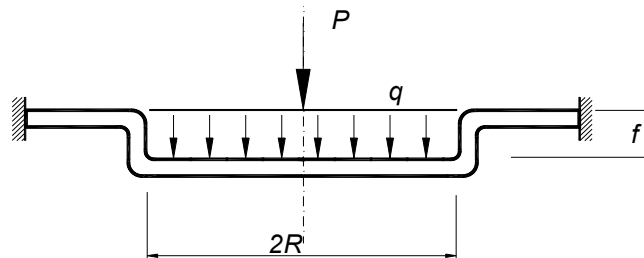


Рис. 2. Схема деформації листової заготовки циліндровим пуансоном

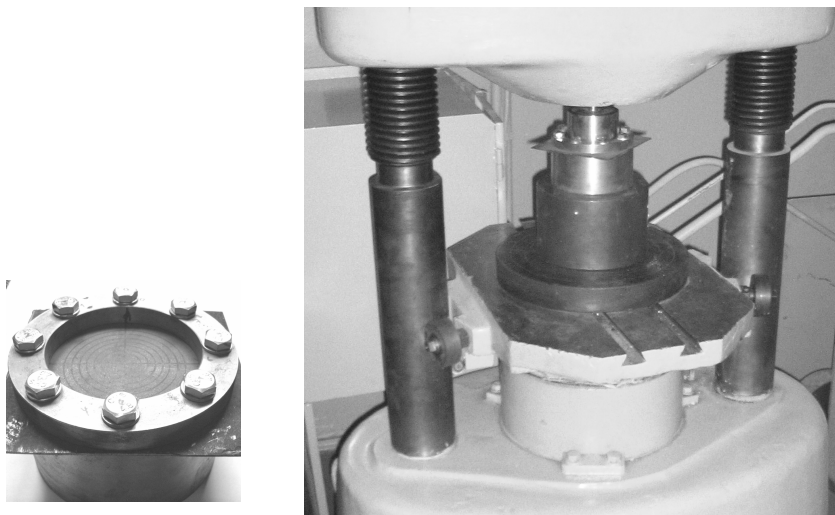


Рис. 3. Фото пристосування для проведення експерименту

На кожному ступені деформації фіксувалося зусилля деформації, за допомогою індикатора годинникового типу вимірювався прогин пластини, а також вимірювалася твердість у вузлах заздалегідь нанесеної ділильної сітки.

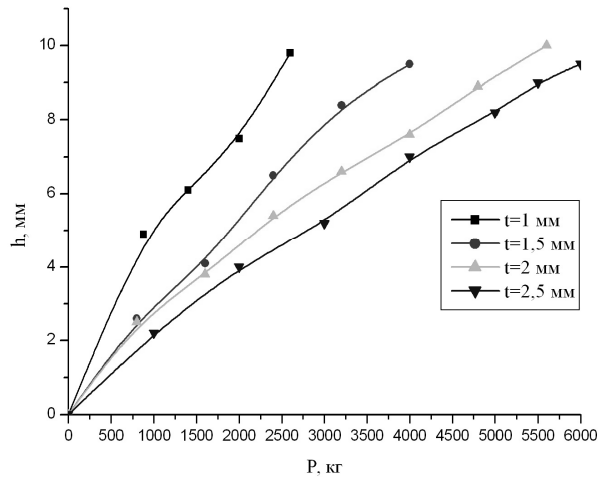
Максимальна величина прогину пластин, коливалася від 9,5 до 10 мм.

Результати вимірювань різних параметрів пластин приведені в табл. 1 і (рис. 4).

Таблиця 1

Результати експерименту при деформації круглих тонколистових пластин

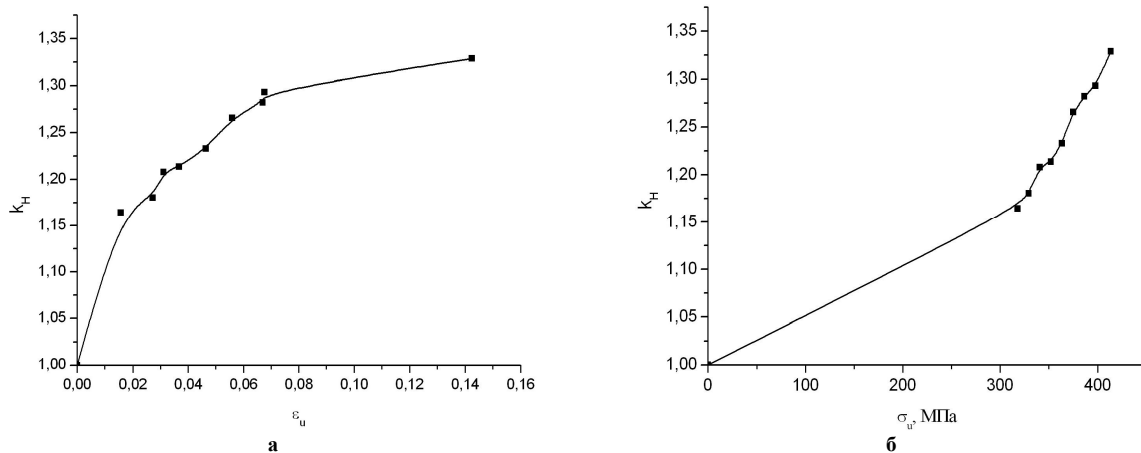
Товщина t , мм	$2R$, мм	Максимальний прогин f , мм	Зусилля деформування P , Н експеримент/ розрахунок	Твердість початкова H_{T0}	Твердість після деформації H_{Ti}	Розходження, %
1	100	9,8	2600/2689	505	652	3,42
1,5	100	9,5	4000/4121	454	589	3,03
2	100	10	5600/5893	390	509	5,23
2,5	100	9,5	6000/6313	395	517	5,22

Рис. 4. Залежність глибини прогину h від зусилля деформації P

Після деформації пластин і вимірювання всіх геометричних параметрів вимірювали твердість переносним динамічним твердоміром ТЕМП-3.

Для визначення енергії пластичної деформації листових заготовок по розподілу твердості необхідно мати в своєму розпорядженні тарувальний графік "коефіцієнт твердості k_H - інтенсивність напружень - σ_u - інтенсивність деформацій e_u ".

Тарувальні графіки $k_H = f(e_u)$ і $k_H = f(\sigma_u)$ побудовані по методиці, викладеній в [4] для матеріалу пластин, – сталі 08кп, приведені на (рис. 5).

Рис. 5. Залежність коефіцієнта твердості k_H від інтенсивності деформацій e_u (а) і інтенсивності напружень σ_u (б)

Для оцінки величини граничних навантажень, а також розподіленого навантаження, що доводиться на одиницю площі, пропонується використовувати формули [4]

$$P_{np} = \frac{\beta \sigma_u t^2 \pi}{4}, \quad (1)$$

$$q_{np} = \frac{\beta \sigma_u t^2}{4R^2}, \quad (2)$$

де R – радіус заготовки (рис. 1), що деформується, σ_u – інтенсивність напружень, яка є функцією інтенсивності деформацій e_u .

У вказаних формулах, на відміну від [4] інтенсивність напружень σ_u - функція від інтенсивності деформацій e_u , $\sigma_u = f(e_u)$, а β – коефіцієнт, залежний від товщини метали, визначений в даній роботі експериментально.

На рис. 6 показана залежність коефіцієнта β від товщини листового металу t_0 .

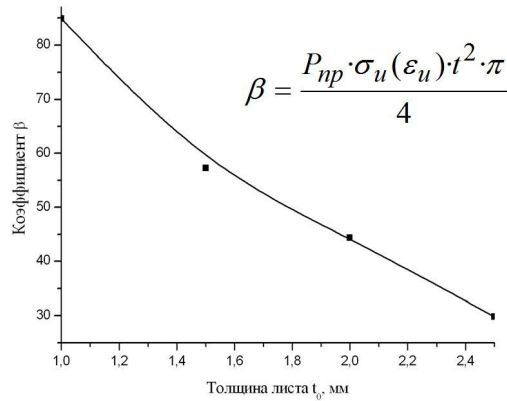


Рис. 6. Графічне визначення коефіцієнта β у формулах (1) (2)

Величину інтенсивності деформацій можна визначити по тарувальному графіку, а також за формулою

$$e_u = \alpha \frac{f^2}{R^2}, \quad (3)$$

де α – поправочний коефіцієнт, залежний від товщини металу, визначений експериментально (рис. 7).

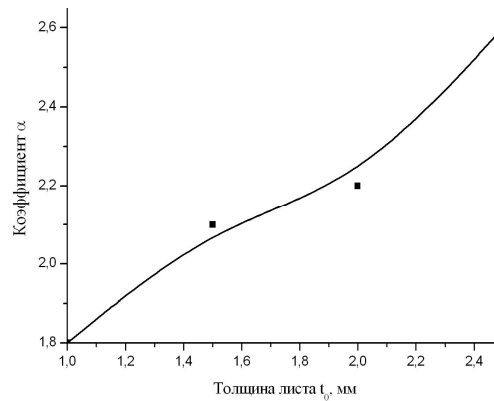


Рис. 7. Графічне визначення коефіцієнта α для різних товщин листа $1 \leq t_0 \leq 2,5$ мм

Питома енергія пластичної деформації визначалася за формулою [4]

$$W_{нит} = \int_0^e \sigma_u d\epsilon_u, \quad (4)$$

де σ_u - інтенсивність напружень, МПа, ϵ_u - інтенсивність деформацій.

Криву $\sigma_u = f(\epsilon_u)$ в теорії пластичності називають єдиною кривою течії, яка не залежить від виду напруженого стану, вона апроксимується рівнянням

$$\sigma_u = A\epsilon_u^n, \quad (5)$$

Тоді, підставивши (5) в (4), отримаємо

$$W_{y\partial} = A \int_0^e \epsilon_u^n d\epsilon_u = A \frac{\epsilon_u^{n+1}}{n+1}, \quad (6)$$

Повна енергія деформації досліджуваного зразка складає добуток питомої енергії на об'єм зразка, а зусилля деформації – добуток повної енергії на величину прогину. Результати розрахунку приведені в табл. 1.

Іншою не менш важливою задачею є оцінка можливості управління технологічною спадковістю у вигляді зміцнення металу, що деформується, на основі інформації про розподіл інтенсивності напружень і деформацій по поверхні кузовних елементів, отриманих листовим штампуванням (на прикладі даху мікроавтобуса). Штампування вказаного елемента відбувалось на електрогідравлічному пресі "ПЭГ-ХАИ-500" (рис. 8). Принцип його роботи полягає в тому, що на електроди подається напруга за певною програмою, в результаті вивільнюється енергія, яка і передається рідиною до заготовки з листового матеріалу.

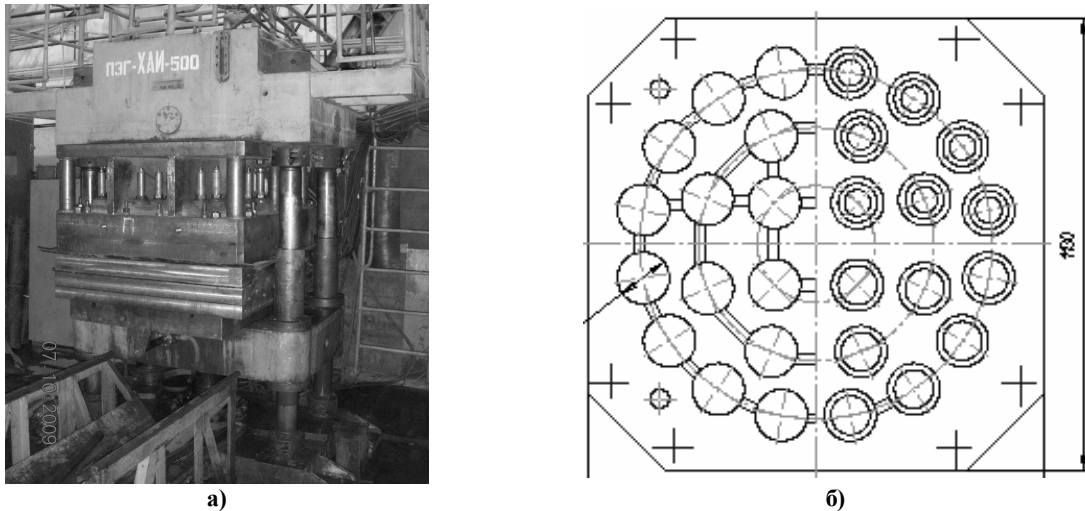


Рис. 8. Електрогідравлічний прес "ПЭГ-ХАИ-500": а) загальний вигляд, б) робочий варіанта розміщення порожнин багатоелектродного розрядного блоку

На виготовлений елемент (рис. 9) за допомогою маркера наносили ділильну сітку кроком 50 мм і у вузлах сітки вимірювали твердість переносним динамічним твердоміром "Темп-3" (рис. 10).

Із матеріалу даху були виготовлені плоскі зразки для випробування на розтяг і з їх допомогою отримано криву текучості та тарувальні графіки матеріалу. З допомогою тарувального графіку для кожної точки ділильної сітки були отримані значення інтенсивності напружень і інтенсивності деформацій та побудовані ізолінії їх розподілу.

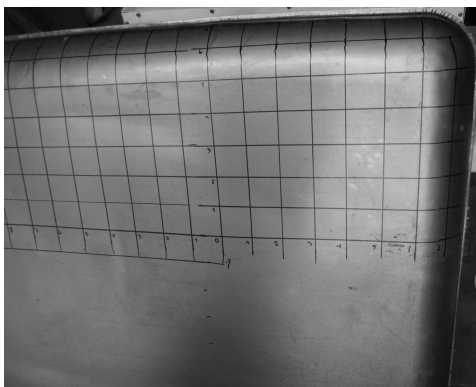


Рис. 9. Дах мікроавтобуса

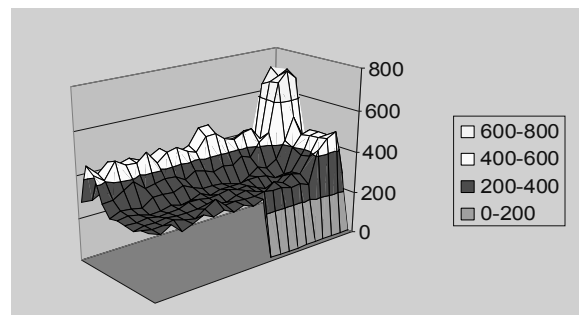


Рис. 10. Розподіл твердості по поверхні даху

В результаті дослідження було встановлено, що розподіл величин, що фіксувались, в значній мірі залежить від послідовності прикладання електророзрядів при технологічній операції штампування. В місцях, наближених до робочих порожнин розрядного блоку, які вмикались в даній технологічній операції, матеріал зазнавав найбільшого зміцнення, отже в технологічному процесі штампування даху мікроавтобуса доцільно вмикати виконавчі елемента саме на ділянках 1-8.

Висновки

Запропоновані залежності для розрахунку зусиль деформації, розподілені навантажень, а також енергії пластичної деформації при прогині круглих пластин, зашкелених по контуру.

Отримали подальший розвиток експериментально-розрахункові методи дослідження напружено-деформованого стану при штампуванні елементів конструкцій з листових заготовок методом електрогідроімпульсної штампування.

Встановили основні закономірності накопичення енергії формозміни при холодній деформації штампування.

Показано, що при певній послідовності подачі сигналів на виконавчі органи відбувається зміцнення в місцях прикладання імпульсів, а, отже, в цих місцях менш вірогідні втрата стійкості.

Список літератури

1. Дель Г.Д. Технологическая механика. - М.: Машиностроение, 1978. -174 с.
2. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1967, 552с.
3. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. Учебник для студентов ВУЗов. Издание 2-е перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1975. - 400 с.
4. Огородников В. А. Энергия. Деформации. Разрушение (задачи автотехнической экспертизы). Монография / Киселев В. Б., Сивак И. О. – Винница: УНИВЕРСУМ, 2004. – 204 с.