

УДК 621.983

ПЕРЕМІЩЕННЯ ПРИ РОТАЦІЙНІЙ ВИТЯЖЦІ ЛИСТОВОЇ ЗАГОТОВКИ

Шевчук Євген Ігорович аспірант

Сивак Іван Онуфрійович д.т.н., професор

Мироненко Олег Макарович ст. викладач

Вінницький національний технічний університет

Shevchuk E.

Sivak I.

Mironenko O.

Vinnitsa national technical University

Анотація: отримано наближений розв'язок задачі визначення переміщень точок поверхні круглої листової заготовки в залежності від величини прикладеної сили та законів її зміни при ротаційній витяжці. Установлено, що на величину переміщень впливає, в основному, величина прикладеної сили.

Ключові слова: ротаційна витяжка, деформація, навантаження, траєкторія, заготовка, втрата стійкості.

При ротаційній витяжці форма заготовки змінюється поступово за рахунок прикладання локального навантаження. При цьому деформуючий інструмент переміщається по заданих відносно листової заготовки траєкторіях, що дозволяє забезпечити необхідну історію навантаження, при якій заготовка деформується без руйнування і втрати стійкості [1]. Для того щоб локальна пластична деформація не приводила до втрати стійкості формозмінення необхідно, щоб величина переміщень точок поверхонь заготовки під дією деформуючої сили не перевищувала критичних значень які, в більшості випадків, визначаються експериментально [2,3].

Мета даної роботи полягає у визначенні переміщень точок поверхні листової заготовки в напрямі діючої сили в залежності від величини деформуючої сили та закону її зміни і від положення деформуючого елемента, яке визначається величиною радіуса r точки прикладання сили (рис. 1).

При розв'язку поставленої задачі прийнято припущення, що просторові переміщення точок поверхні заготовки вільних від навантаження є пружними, хоча локальна деформація матеріалу заготовки є пластичною.

На рисунку 1. представлена схема ротаційної витяжки круглої листової заготовки.

Будемо вважати, що на лист діє навантаження симетрично відносно осі BO . Тоді поверхня зігнутого листа буде також симетричною відносно цієї осі. У всіх точках, рівновіддалених від центра листа, прогини будуть однакові, тому розглянемо тільки діаметральний переріз листа (рис. 2). Помістимо початок координат O в центрі зігнутого листа. Через r позначимо радіальну відстань точок, які лежать в серединній площині, а через w – їх вертикальні переміщення. Тоді максимальний нахил поверхні листа в точці A буде дорівнювати $-dw/dr$. Кривизна серединної поверхні листа в діаметральному перерізі rz буде дорівнювати:

$$\frac{1}{r_n} = -\frac{d^2w}{dr^2} = \frac{d\varphi}{dr} \quad (1)$$

де φ – кут між нормаллю до зігнутої поверхні в точці A і віссю симетрії OB .

Із умов симетрії випливає, що $1/r_n$ є одна із головних кривизн поверхні в точці A .

Друга головна кривизна лежить в перерізі, який проходить через нормаль AB і перпендикуляр до площини rz . Так як подібні AB нормалі для всіх інших точок серединної поверхні з радіусом r створюють конічну поверхню з вершиною в B то відстань AB є радіусом другої головної

кривизни, який ми позначимо r . Тоді справедлива рівність:

$$\frac{1}{r_t} = -\frac{1}{r} \cdot \frac{dw}{dr} = \frac{\varphi}{r} \quad (2)$$

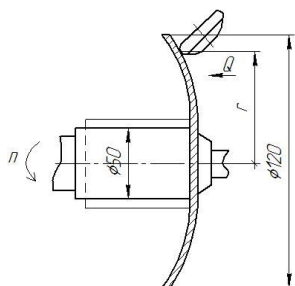


Рис. 1. Схема ротаційної витяжки листової заготовки

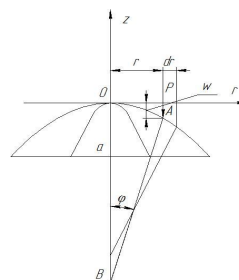


Рис. 2. Діаметральний переріз круглої листової заготовки

Використовуючи (1) і (2) можна написати вирази для згинальних моментів, вважаючи справедливими умови, які мають місце при чистому згині: [4]

$$M_r = -D \left(\frac{d^2 w}{dr^2} + \frac{v}{r} \cdot \frac{dw}{dr} \right) = D \left(\frac{d\varphi}{dr} + \frac{v}{r} \cdot \varphi \right), \quad (3)$$

$$M_t = -D \left(\frac{1}{r} \cdot \frac{dw}{dr} + v \cdot \frac{d^2 w}{dr^2} \right) = D \left(\frac{\varphi}{r} + v \cdot \frac{d\varphi}{dr} \right), \quad (4)$$

де $D = E \cdot \delta^3 / 12(1 - \nu^2)$ – жорсткість листа при згині, M_r – згинальний момент по колових (тангенціальних) перерізах листа, M_t – згинальний моменти по діаметральному перерізу rz , ν – коефіцієнт Пуассона, δ – товщина листа.

Значення M_r, M_t віднесені до одиниці довжини.

Рівняння (3) і (4) мають лиш одну змінну, або w , або φ , яка може бути визначена із умови рівноваги елемента листа $abcd$ (рис. 3), який вирізаний із листа двома циліндричними перерізами ab і cd і двома діаметральними ad і bc . Пара, яка діє по грані cd елемента дорівнює:

$$M_1 = M_r r d\theta. \quad (5)$$

Відповідна пара на грані ab буде дорівнювати:

$$M_1(r + dr) = \left(M_r + \frac{dM_r}{dr} dr \right) \cdot (r + dr) d\theta. \quad (6)$$

Кожна із пар, яка прикладена по гранях ad і bc буде дорівнювати $M_t dr$, обидві разом ці пари дадуть рівнодійну пару в площині roz , яка дорівнює:

$$M_2 = M_t dr d\theta. \quad (7)$$

Якщо поперечну силу, яка приходиться на одиницю довжини циліндричного перерізу радіуса r , позначити через Q , то повна поперечна сила, яка діє на грані cd елемента, буде порівнювати:

$$Q_{cd} = dr d\varphi. \quad (8)$$

Відповідна сила по грані ab буде дорівнювати:

$$Q_{ab} = \left(Q + \frac{dQ}{dr} dr \right) \cdot (r + dr) d\theta. \quad (9)$$

Якщо знехтувати різницею між поперечними силами по двом поперечним граням елемента, то можна записати, що ці поперечні сили дають пару в площині rz , яка дорівнює:

$$M_{rz} = Q r d\theta dr \quad (10)$$

Якщо скласти з урахуванням знаків моменти (5), (6), (7) і (10), то отримаємо для елемента $abcd$ наступне рівняння рівноваги:

$$\left(M_r + \frac{dM_r}{dr} dr \right) \cdot (r + dr) d\theta - M_r r d\theta - M_t dr d\theta + Q r d\theta dr = 0 \quad (11)$$

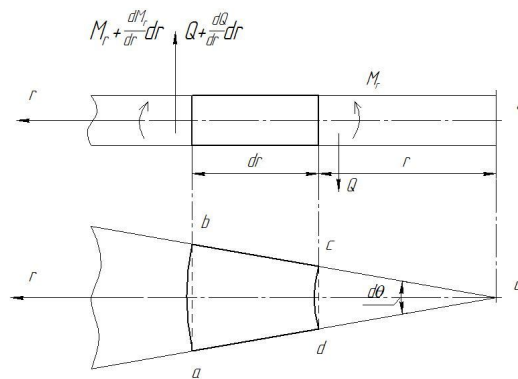


Рис. 3. Елемент полоски вирізаний з листа

Із (11), нехтуючи величинами більш високого порядку, находимо:

$$M_r + \frac{dM_r}{dr} \cdot r - M_t + Qr = 0 \quad M_r + \frac{dM_r}{dr} r - M_t + Qr = 0. \quad (12)$$

Якщо замість M_r і M_t підставити сюди їх вирази (3) і (4), то рівняння (12) прийме вид:

$$\frac{d^2\varphi}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{d\varphi}{dr} - \frac{\varphi}{r^2} = -\frac{Q}{D} \quad (13)$$

або в іншому вигляді

$$\frac{d^3w}{dr^3} + \frac{1}{r} \cdot \frac{d^2w}{dr^2} - \frac{1}{r^2} \cdot \frac{dw}{dr} = \frac{Q}{D} \quad (14)$$

Рівняння (13) і (14) можна переписати в наступному вигляді [4]:

$$\frac{d}{dr} \left(\frac{1}{r} \cdot \frac{d}{dr} (r\varphi) \right) = -\frac{Q}{D} \quad (15)$$

$$\frac{d}{dr} \left(\frac{1}{r} \cdot \frac{d}{dr} \left(r \frac{dw}{dr} \right) \right) = \frac{Q}{D} \quad (16)$$

Якщо повна поперечна сила Q є функцією тільки r , то рівняння (15), (16) інтегруються. Якщо Q є функцією r і φ , то рівняння (15) і (16) можна розв'язати тільки чисельним методом.

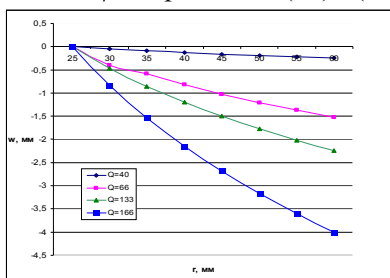


Рис. 4. Залежності прогинів w від діючих сил Q

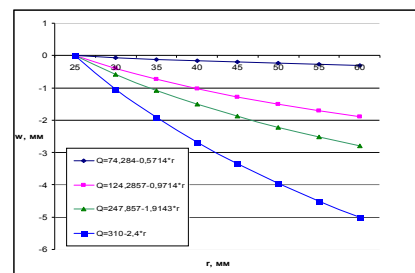


Рис. 5. Залежності прогинів w від діючих сил Q

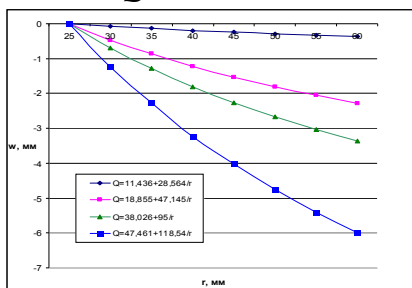


Рис. 6. Залежності прогину w від діючих сил Q

Нами отримано розв'язок рівняння (16) для випадків коли сила Q стала і дорівнює: $Q=40H$, $Q=66H$, $Q=133H$, і $Q=166H$, а також для випадків, коли сила Q змінюється за лінійним законом: $Q=74,28 - 0,57r$; $Q=124,28 - 0,97r$; $Q=247,86 - 1,91r$; $Q=310 - 2,4r$, та коли зміна сили Q описується рівняннями: $Q=11,44 + \frac{28,56}{r}$; $Q=18,85 + \frac{47,14}{r}$; $Q=38,02 + \frac{95}{r}$; та $Q=47,46 + \frac{118,54}{r}$.

Розв'язок задачі отримано для згину круглої заготовки із сталі 08кп діаметром $d=120$ мм. Діаметри циліндричної оправки дорівнює $d_{on}=50$ мм (рис. 3).

Розв'язок рівняння (16) при $Q=const$ має вид:

$$w = \frac{Q}{D} \cdot \frac{r^2}{4} + C_1 \cdot \ln r + C_2$$

При $Q = Q_0 - A \cdot r$,

$$w = \frac{Q_0}{D} \cdot \frac{r^2}{4} - \frac{A}{D} \cdot \frac{r^3}{9} + C_1 \cdot \ln r + C_2$$

При $Q = Q_0 - \frac{A}{r}$,

$$w = \frac{Q_0}{D} \cdot \frac{r^2}{4} + \frac{A}{D} \cdot r + C_1 \cdot \ln r + C_2$$

Сталі C_1 і C_2 визначали із умов що при $r=25$ мм, $w=0$, а при $r=60$ мм $w=w_{max}$. Значення w_{max} в кожному випадку визначали експериментально.

Отримані залежності прогинів w від радіуса r і від діючих сил Q приведені на рис. 4, 5, 6.

Як впливає із отриманих результатів від залежностей прогинів w від радіуса r мало залежить від законів, по яких змінюється сила Q в залежності від радіуса точки, в якій ця сила прикладена, а величина прогинів залежить, в основному, від величини сили Q .

Висновки

Отримано залежності переміщень точок поверхні листової заготовки в напрямі перпендикулярному до поверхні в залежності від величини деформуючої сили та законів її зміни в процесі ротаційної витяжки круглої листової заготовки. Установлено, що величина переміщень залежить, в основному, від величини сили і мало залежить від закону зміни її величини в процесі деформації.

Список літератури

1. Могильный Н.И. Ротационная вытяжка оболочковых деталей на станках / Н.И. Могильный. – М: Машиностроение, 1983. – 192с.
2. Тимошенко С.П. Устойчивость стержней, пластин и оболочек / С. П. Тимошенко. – М.: Наука, 1971. – 808 с.
3. Яковлев С.С. Экспериментальные исследования складкообразования анизотропной листовой заготовки при вытяжке / С.С. Яковлев, К.С. Ремнев, А.Е. Калашникова, В.А. Коротков // Изд-во ТулГУ. – 2014. – Вып.7. – С. 15-19.
4. Тимошенко С.П. Пластинки и оболочки / С.П. Тимошенко, С. Войловский-Кричер. – издательство "Наука" главная редакция физико-математической литературы. – Москва, 1966. - 635с.

References

1. Mogil'nyy N.I. Rotatsionnaya vytyazhka obolochkovykh detaley na stankakh / N.I. Mogil'nyy. - M: Mashinostroyeniye, 1983. - 192s.
2. Timoshenko S.P. Ustoychivost' stержней, plastin i obolochek / S. P. Timoshenko. - M.: Nauka, 1971. - 808 s.
3. Yakovlev S.S. Eksperimental'nyye issledovaniya skladkoobrazovaniya anizotropnoy listovoy zagotovki pri vytyazhke / S.S. Yakovlev, K.S. Remnev, A.Ye. Kalashnikova, V.A. Korotkov // Izd-vo TulGU. - 2014. - Vyp.7. - S. 15-19.
4. Timoshenko S.P. Plastinki i obolochki / S.P. Timoshenko, S. Voylovskiy-Kricher. - Izdatel'stvo "Nauka"

glavnaya redaktsiya fiziko-matematicheskoy literatury. - Moskva, 1966. - 635s.

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ПРИ РОТАЦИОННОЙ ВЫТЯЖКЕ ЛИСТОВОЙ ЗАГОТОВКИ

Аннотация: получено приближенное решение задачи определения перемещений точек поверхности круглой листовой заготовки в зависимости от величины приложенной силы и законов ее изменения при ротационной вытяжке. Установлено, что на величину перемещений влияет, в основном, величина приложенной силы.

Ключевые слова: ротационная вытяжка, деформация, нагрузка, траектория, заготовка, потеря устойчивости.

DISPLACEMENTS DURING ROTATIONAL DRAWING OF A SHEET BLANK

Summary: approximate solution to the problem of determining displacements of the points on the round sheet blank surface depending on the applied force value and its variation laws during rotational drawing process has been obtained. It has been found that the value of displacement is influenced, mainly, by the applied force value.

Keywords: rotational drawing, deformation, load, trajectory, blank, stability loss.