

УДК 621.01.541

Грушко О.В. кандидат технічних наук, Молодецька Т.І. аспірант
Вінницький національний технічний університет

ОСОБЛИВОСТІ ТОВСТОЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ ЗА СХЕМОЮ ЗГИНУ ТА ЗСУВУ

Исследовано напряженно-деформированное состояние толстолистовых заготовок при формообразовании изгибом. Выявлены характерные области деформаций, которые являются опасными с точки зрения деформируемости. Определены зависимости усилий и максимальных деформаций процесса и установлены рациональные схемы штамповки в зависимости от углов наклона профиля штампа и радиусов их округлений. Для решения поставленной задачи использовали компьютерное моделирование с применением метода конечных элементов.

The stress-strain state of plates forming blanks at end. Distinctive Communities strains that are dangerous in terms of deformability. A reasonable scheme based on punching angles and punch profile radius of curves. To solve the problem using computer simulation using finite element method.

Одним із способів виготовлення ножа для різання цукрового буряку є фрезерування профільної заготовки із відносно великою товщиною стінки. Виготовляють такі ножі із високовуглецевих інструментальних сталей (сталі У7, У8, 65Г). Внаслідок малої пластичності цих матеріалів, профілюють листовий матеріал методами гарячої обробки тиском в інтервалі ковочних температур. Проте, вибір раціональної схеми навантаження, застосування науково обґрунтованих параметрів технологічного процесу, може дозволити деформувати заготовки в холодному стані [1], що дає суттєві переваги з т.з. енергозбереження, спрощення технології та зниження собівартості заготовки. Зазвичай, актуальними в цьому випадку стають питання сприятливої технологічної спадщини (деталь в подальшому термооброблюється), забезпечення стійкості інструменту, зниження деформівних зусиль тощо. Для встановлення можливості деформування металів без руйнування необхідно знати напружено-деформований стан в небезпечних областях осередку деформації, залежність пластичності металу від виду напруженого стану та інші фактори [2].

Формоутворення листових заготовок згином досить детально вивчено в літературі [3, 6-9]. Основні питання, що досліджувались – енергосилові та геометричні параметри процесів. В теоретичному аналізі автори застосовували гіпотезу плоских перерізів, нехтували тертям, нехтували або спрощували зміцнення матеріалу. Як наслідок, запропоновані залежності визначення поля напружень та деформацій в пластичній області суттєво відрізняються від таких, що реалізуються в дійсності, і їх використання для оцінки деформівності може призвести до невизначеної похибки та подальших технологічних відмов. Особливо це стосується згину заготовок на радіуси, що набагато менші за товщину стінки металу, яка сумірна з шириною деталі. В подальшому такі заготовки будемо називати товстолистими. Відмітимо, що в [3] розглядаються два методи формування профілю коритного типу – формування з постійними та змінними радіусами. На основі аналізу виникаючих контактних тисків по кутовим зонам профілю і величини стоншення пропонується використовувати схему зі змінними радіусами [3]. Розглядаються залежності визначення залишкових радіусів кривизни широкої та вузької заготовки, а також експериментальне визначення границі використання отриманих залежностей. [4]. В роботі

[5] отримана величина зусилля двохкутового згину. Встановлено, що в залежності від геометричних відношень максимальне зусилля двохкутового згину виникає при величині кута від 45° до 80° , коли плече згину має найменшу величину.

Метою роботи є дослідження напружено-деформованого стану товстолистових заготовок при їх штампуванні для виявлення небезпечних з точки зору деформівності зон та шляхів деформування матеріалу; визначення силових характеристик процесу та встановлення раціональних схем штампування в залежності від кутів нахилу профілю штампку та радіусів їх заокруглень.

Для аналізу механіки формоутворення без використання спрощувальних гіпотез використано комп'ютерне моделювання із застосуванням методу кінцевих елементів. Для цього застосовано пакет LS-DYNA, що призначений для аналізу суттєво нелінійних процесів із реалістичними моделями матеріалів та граничних умов.

Досліджували штампування заготовки бурякорізального ножа товщиною 6 мм, довжиною 200 мм і шириною 400 мм (рис. 1). Внаслідок великої ширини при згині реалізується плоский деформівний стан. Матеріал заготовки задавався як пластичний зі степеневим зміцненням, матриця та пуансон - абсолютно жорсткі (Rigid) тіла. Тип контакту для всіх пар автоматичний (Single Surface, Auto 2-D), зовнішнє навантаження задавалося у вигляді руху пуансона з швидкістю 100 мм/с.

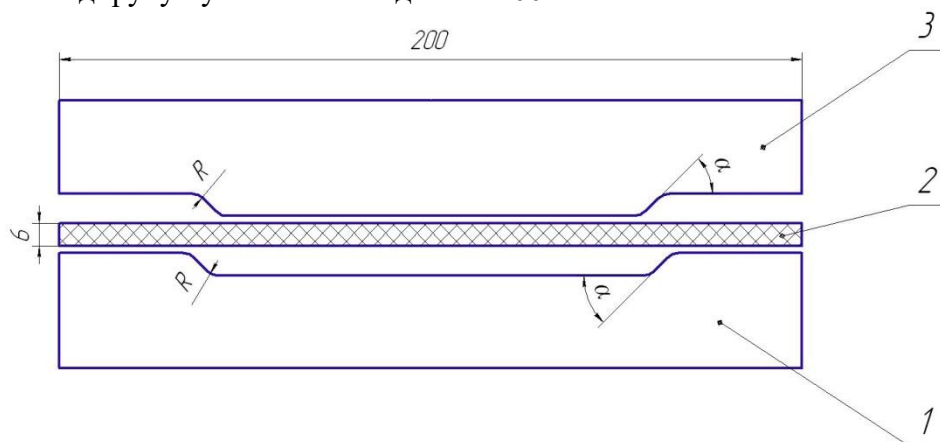


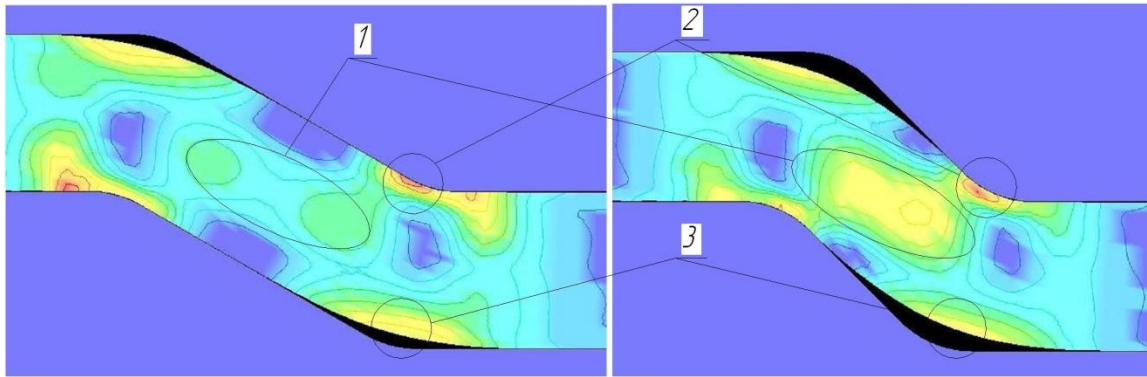
Рис. 1. Геометрична модель:

1 – нерухома матриця, 2 – заготовка, 3 – рухомий пуансон.

Варіювали значеннями кута нахилу штампку α та радіусами його заокруглень R , щодо їх впливу на напружено-деформований стан (рис. 1). Абсолютний зсув в заготовці, згідно вимог конструкції ножа, постійний - 6 мм.

Для прикладу, на рис. 2 представлено розподіл інтенсивності накопичених деформацій для двох варіантів штампку. Відмітимо наявність трьох характерних осередків. Перша знаходиться всередині заготовки, друга – на контактній поверхні з пуансоном та третя розташована на вільній поверхні заготовки. Основна частина металу деформується за схемою одночасного згину і зсуву (осередок 1). При цьому зсувні деформації проявляються тим більше чим більший кут α . В зоні 2 спостерігаються максимальні контактні напруження і деформації. Область 3 перебуває в стані двоосьового розтягу.

Величини максимальних деформацій і значення деформівних зусиль в залежності від кутів нахилу штампку та радіусів їх заокруглень представлено в таблиці 1. На основі цих даних показані відповідні графіки (рис. 3).



а) б)

Рис. 2. Деформована частина заготовки:

а) $\alpha = 30^\circ$, $R = 4$ мм;

б) $\alpha = 45^\circ$, $R = 4$ мм;

1, 2, 3 – осередки деформацій.

Таблиця 1

Значення зусиль та максимальних деформацій в залежності від кутів нахилу штампу та радіусів їх заокруглень

№ п/п	Кут нахилу профілю штамп	Радіус заокруглення кутів штамп, мм	Зусилля, кН	Максимальна деформація		
				Осередок 1	Осередок 2	Осередок 3
1	30°	2,5	2,4	0,21	0,26	0,21
2		4	2,55	0,12	0,26	0,21
3		6	2,7	0,12	0,23	0,18
4	45°	2,5	2,95	0,26	0,36	0,25
5		4	2,99	0,26	0,36	0,25
6		6	3,0	0,23	0,28	0,21
7	60°	2,5	3,6	0,32	0,42	0,27
8		4	3,65	0,27	0,35	0,25
9		6	3,7	0,18	0,25	0,21

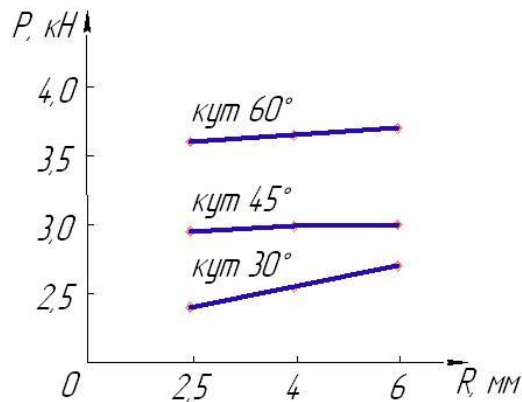


Рис. 3. Залежності зусиль від кутів та радіусів заокруглень

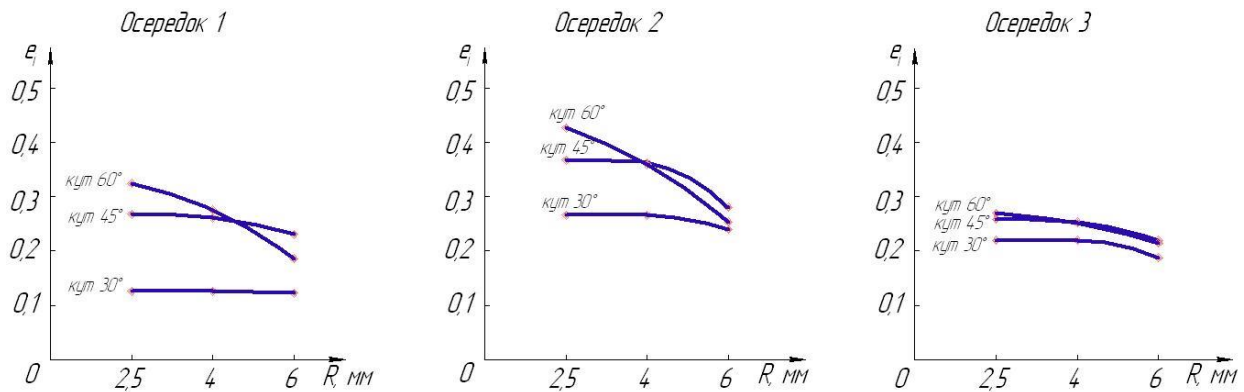


Рис. 4. Залежності максимальних деформацій від кутів та радіусів заокруглень нахилу штампу

З рис. 4 видно, що для невеликих кутів нахилу штампу, зокрема для 30° , радіус заокруглення практично не впливає на ступінь деформації, а для великих кутів – цей вплив є суттєвим. Зауважимо, що згідно гіпотези плоских перерізів α на величину деформацій не впливає [7]. Мінімальні зусилля реалізуються при малих кутах α та мінімальних радіусах.

В якості міри пластичності приймемо накопичену інтенсивність деформації до моменту руйнування, за визначенням А.А. Ільюшина та Г.А. Смирнова-Аляєва:

$$e_i = \int_0^t \dot{\varepsilon}_i d\tau \quad (1)$$

де $\dot{\varepsilon}_i$ – інтенсивність швидкостей деформацій,

t – час деформування, який до моменту руйнування стає рівним t_p , визначаючи граничну деформацію e_p .

При холодній обробці металів тиском вплив схеми напруженого стану є значним чинником, що визначає пластичність металів. Залежність граничної деформації від параметра, що характеризує «жорсткість» схеми напруженого стану, називають діаграмою пластичності [6]. Вплив схеми напруженого стану на пластичність оцінено за допомогою показника напруженого стану η , який згідно робіт В.О. Бабичкова і Г.О. Смирнова-Аляєва визначається співвідношенням:

$$\eta = \frac{3\sigma}{\sigma_i} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_i} = \frac{\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z}{\sigma_i},$$

де σ_i – інтенсивність напружень, σ – середнє нормальне напруження, $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z$ – сума осьових напружень або перший інваріант тензора напружень.

Методи побудови діаграм пластичності в координатах $e_p - \eta$ отримали розвиток в роботах Г.О. Смирнова-Аляєва, В.А. Огороднікова, В.Л. Колмогорова та ін. В цьому випадку пластичність вважаються залежною від показника напруженого стану [1]. Перевагою показника є те, що він складається з інваріантів тензора напружень, які враховують гідростатичний тиск, що здійснює значний вплив на пластичність, а також інтенсивність дотичних напружень, що визначають пластичну течію матеріалу [2].

Таким чином, за результатами розрахунків, отримано шляхи деформування матеріалу в характерних осередках в координатах $e_p - \eta$ (рис. 5). Зручність представлення в такому вигляді пов'язана з гіпотезою про слабкий вплив властивостей матеріалу на шляхи

деформування, що дозволяє проводити розрахунки деформівності заготовок з різних матеріалів без додаткових експериментів. На рис. 5 також показана частина діаграми пластичності сталі У8.

Відмітимо, що осередок 1 знаходиться в умовах, близьких до зсуву, осередок 3 – до двоосьового розтягу, 2 – всебічний стиск. Таким чином, область 3 є найнебезпечнішою, внаслідок реалізації «жорсткої» схеми напруженого стану. Оскільки діаграма пластичності сталі У8 перетинає окремі шляхи деформування матеріалу в осередку 3, то слід очікувати руйнування заготовки ($\alpha = 60^\circ, 90^\circ$; $R = 2,5, 4$ мм). Отже, для таких параметрів при використанні сталі У8 слід змінити умови деформування щодо зменшення жорсткості схеми напруженого стану, тобто змістити графік зони 3 в більш м'яку область, наприклад за рахунок гідростатичного тиску, чи шляхом зміни конструкції штампу [1]. В протилежному випадку можна збільшити пластичність металу за рахунок підігріву до набуття ним необхідної пластичності, чи замінити, при можливості, матеріал на більш пластичний.

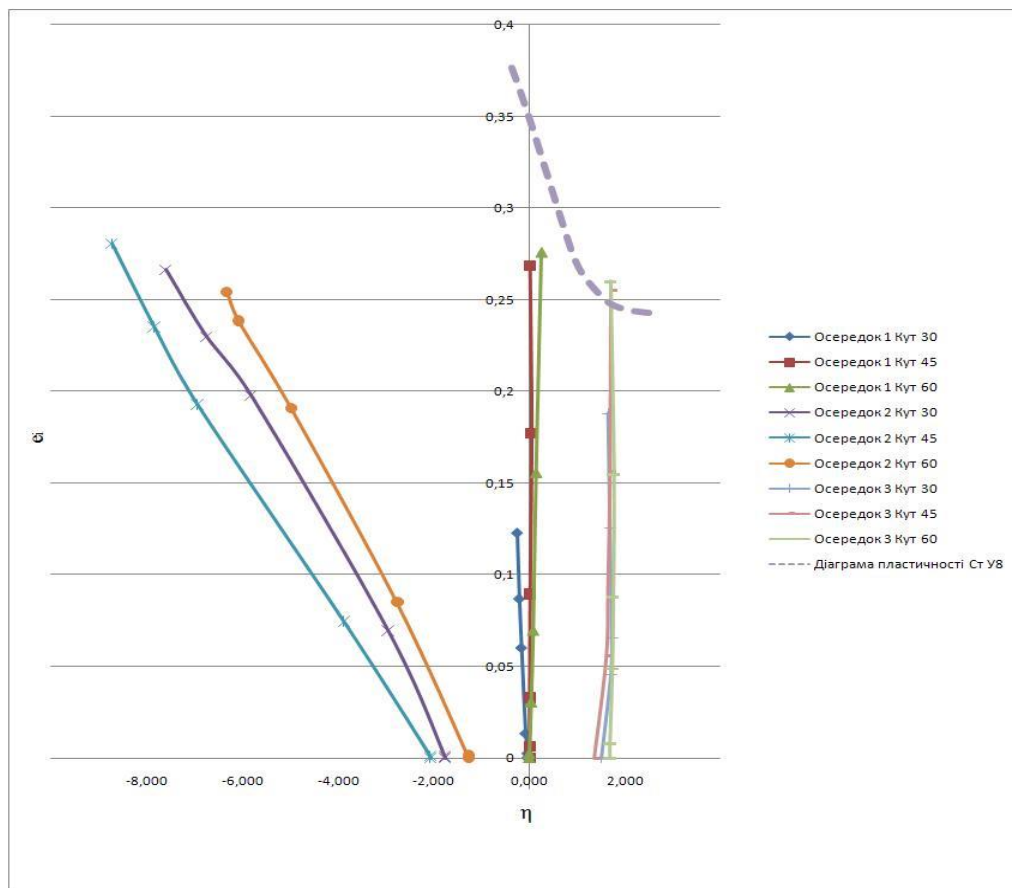


Рис. 5. Характерні залежності $\epsilon_i(\eta)$.

ВИСНОВКИ

При отриманні Z-подібної листової заготовки бурякорізального ножа штампуванням реалізується схема деформування згину зі зсувом. Розподіл деформацій суттєво залежить від кутів нахилу штампу α та радіусів їх заокруглень R . Чим більші кути нахилу профілю штампу α та радіуси заокруглень R , тим більші зусилля та деформації реалізуються при формуванні подібних заготовок.

Небезпечною областю з точки зору деформівності є позаконтактна частина заготовки (зона 3), оскільки реалізується «жорстка» схема напруженого стану при відносно великих деформаціях. Деформації в цій зоні для нахилу профілю штампа 45° (радіуси заокруглень 2,5 мм та 4 мм) та 60° (радіуси заокруглень 2,5 мм та 4 мм) перевищують граничні значення для сталі У8, отже за таких умов деформування без руйнування не можливе. Для кута 30° та $R = 6$ мм така технологія виготовлення може бути реалізована.

ЛІТЕРАТУРА

1. Огородников В.А. Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении: Учеб.пособие / В.А. Огородников. – К.: УМК ВО, 1989. – 152 с.
2. Огородников В.А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением / В.А. Огородников. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1983. – 175 с.
3. Илюшкин М.В. Выбор способа формовки угольковых зон профиля корытного типа в роликах на основе анализа действующих контактных давлений / М.В. Илюшкин, В.А. Марковцев, А.С. Баранов – Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2010. – т.12, №1(2). –С. 362-365.
4. И.В Ткачев. Учет ширины заготовки при определении параметров пружинения после гибки / И.В. Ткачев, С.И. Ткачев. – Межвуз.сб.науч.тр.Воронеж: ТООУВПО «Воронежский государственный технический университет». – 2008. – №2. – С. 39-43.
5. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке / В.П. Романовский. – Л.:Машиностроение. Ленинг.от-ние, 1979. – 520 с.
6. Губкин С.И. Пластическая деформация металлов. Физико-механические основы пластической деформации / С.И. Губкин. –М.:Металлургиздат, 1961. – 376 с.
7. Унксова Е.П. Теорияковки и штамповки: Учебное пособие для студентов машиностроительных и металлургических специальностей вузов / Е.П.Унксов, У.Джонсон, В.Л.Колмогоров, В.А.Огородников и др.– 2-е изд., перераб. и доп.–М.: Машиностроение, 1992,– 720 с.
8. Семенов Е.И. Ковка и штамповка: Справочник в 4 т. / Е.И.Семенов и др. – М.: Машиностроение, 1987. – Т.4. – 544 с.
9. Аверкиев Ю.А. Технология холодной штамповки: Учебник для вузов / Ю.А. Аверкиев, А.Ю.Аверкиев М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.