

Прогнозування гофроутворення в процесах витягування за результатами моделювання в середовищі DEFORM

М.В. Орлюк¹

Received: 25 May 2022 / Accepted: 1 October 2022

Анотація. При розробці технологічних процесів витягування ймовірність втрати стійкості заготовки в процесі деформування та необхідність застосування притискача для запобігання гофроутворенню оцінюється відповідно до рекомендацій довідкової літератури. Однак за певних умов деформування довідкова література не має чітких рекомендацій або дає суперечливі рекомендації стосовно необхідності застосування притискача. В цьому випадку вирішення задачі потребує додаткових експериментальних досліджень.

Перевірка можливості та ефективності використання комп'ютерного моделювання процесів вісесиметричного витягування у середовищі DEFORM для прогнозування втрати стійкості тонколистової заготовки в процесі деформування.

За допомогою комп'ютерного моделювання з використанням методу скінченних елементів у середовищі DEFORM 3D досліджені технологічні процеси витягування без потоншення з високою ймовірністю втрати стійкості заготовки в процесі деформування.

За результатами досліджень встановлено, що моделювання процесу витягування тонколистової заготовки у середовищі DEFORM 3D дозволяє з високим ступенем ймовірності візуалізувати процес утворення гофр і спрогнозувати, таким чином, втрату стійкості заготовки в реальних процесах деформування за умови, що деформування відбувається за відносно простої геометрії вихідної заготовки та деформуючого інструменту.

За більш складних умов деформування результати натурного експерименту та комп'ютерного моделювання можуть відрізнятися (моделювання може не вказувати на утворення гофр). Це децю ускладнює прогнозування гофроутворення, але проблема вирішується розширеним аналізом напружено-деформованого стану та поведінки металу заготовки в осередку деформації. Поява в заготовці ділянок, на яких відбувається непрогнозована та неконтрольована втрата контакту матеріалу заготовки з деформуючим інструментом або виникають зони з значною нерівномірністю швидкостей переміщення точок заготовки чітко вказує на проблемні місця з підвищеною ймовірністю утворення гофр в реальному процесі витягування.

Отримані результати досліджень дозволяють підвищити ефективність прогнозування утворення гофр за допомогою комп'ютерного моделювання процесів витягування в середовищі DEFORM 3D.

Ключові слова: витяжка, втрата стійкості, гофри, притискач, комп'ютерне моделювання, прогнозування, критерій руйнування.

Вступ

На сучасному етапі розвитку машинобудування доля великосерійного і масового виробництва продукції поступово знижується. Зазвичай споживач потребує більшого різноманіття товарів за невеликої серійності. За таких умов конкурентоспроможність вироб-

ництва буде визначитись можливістю налагодити випуск нової продукції в найкоротші терміни за мінімальною собівартості.

В одиничному і дрібносерійному виробництві при виготовленні вісесиметричних деталей та напівфабрикатів без потоншення традиційно використовують обкатку роликком або ротаційну витяжку з використанням універсального або спеціального давильного обладнання [1, 2]. Однак використання ротаційних способів обмежується необхідністю застосування дорогих силових слідкуючих гідроприводів, електрогідрравлічних копіювальних пристроїв і систем числового програмного управління або залученням висококваліфікованої

✉ М.В. Орлюк
minorkpi@ukr.net

¹ КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

робочої сили при використанні універсального обладнання. Зі збільшенням серійності більш ефективною стає традиційна багатоопераційна витяжка в штампах [3–5].

Підвищити ж ефективність технології отримання деталей штампуванням (особливо в серійному виробництві) можна лише шляхом оптимізації, тобто формотворенням виробу за мінімально можливою кількістю основних і допоміжних операцій із застосуванням максимально простого за конструкцією штампного оснащення та універсального пресового обладнання.

Складність штампів для витяжки без потоншення, що застосовуються для виготовлення вісесиметричних виробів, зазвичай визначається наявністю або відсутністю буферного пристрою та притискача. Необхідність використання останнього залежить від відносної товщини заготовки та ступеня деформації при витяжці і визначається за номограмами або емпіричними формулами, наведеними в довідковій літературі [3–6]. Однак, як показує практика, за певних умов витяжка без притиску (без використання буферних пристроїв) можлива і за менш сприятливих умов процесу [5, 7]. Крім того досить часто при розробці технологічних процесів витягування виникають ситуації, коли відповідно до рекомендацій довідкової літератури не вдається однозначно відповісти на питання необхідності застосування притискача і вирішувати його доводиться експериментально.

Сучасним варіантом розробки складних технологічних процесів штампування є використання програмних комплексів (AutoForm, PAM-STAMP, QForm, Deform) для аналізу процесів обробки металів тиском, які дозволяють шляхом комп'ютерного моделювання коригувати і оптимізувати технологічні процеси на етапі проектування штампного оснащення.

Проте ці програмні комплекси не універсальні, призначені для моделювання певного класу технологічних задач та мають високу вартість. Наприклад такі програмні продукти як AutoForm та PAM-STAMP використовуються суто для моделювання технологічних процесів обробки листового матеріалу. Вони вирізняються високою відповідністю результатів моделювання реальним результатам штампування, однак мають настільки велику вартість, що використовувати їх можуть лише потужні виробники автомобільної та аерокосмічної промисловості.

В свою чергу Deform та QForm більшою мірою орієнтовані на моделювання процесів об'ємного штампування, але можуть використовуватись і для аналізу процесів листового штампування, але з певними застереженнями. Наприклад в Deform [8] є обмеження на максимальну кількість елементів розрахункової сітки, що значно ускладнює моделювання деформування великогабаритних деталей з тонколистового матеріалу, особливо для таких операцій як витягування без потоншення та формовка. Крім того Deform для моделювання певного класу задач з листового штампування

бажано використовувати за умов наявності експериментального підтвердження відповідності результатів моделювання в Deform певного процесу результатам штампування.

Мета роботи

Метою даної роботи є оцінка ефективності прогнозування гофроутворення в процесах витягування вісесиметричних виробів за результатами комп'ютерного моделювання з використанням методу скінчених елементів (МСЕ) в середовищі DEFORM

Конструкторсько-технологічний аналіз

Проблема прогнозування утворення гофр виникла при розробці технології витягування напівфабрикату (рис. 1) для виготовлення пітчера для молока та напівфабрикату корпусу вентилятора (рис. 2).

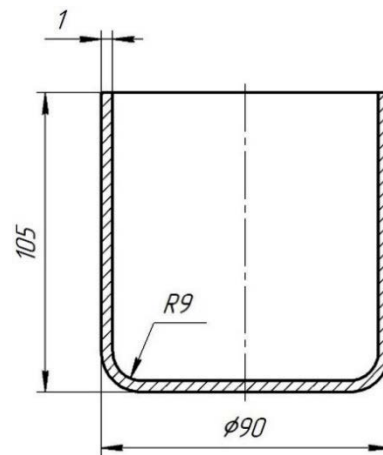


Рис. 1. Ескіз напівфабрикату для виготовлення пітчера

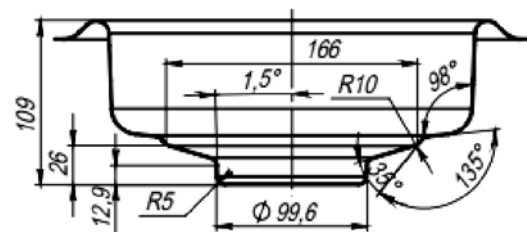


Рис. 2. Ескіз напівфабрикату корпусу вентилятора

Вісесиметричний стаканчик (рис. 1) діаметром 90 мм отримують витягуванням заготовки діаметром 208 мм товщиною 1 мм з нержавіючої сталі 08X18H10T за дві операції, з коефіцієнтами витягування по операціям $m_1 = 0,54$ та $m_2 = 0,8$. Відповідно

діаметр проміжного напівфабрикату після першої витяжки становить 112 мм.

Відповідно до рекомендацій довідкової літератури [3] витягування на першій операції можливе лише за умови застосування притискача. У свою чергу рекомендації щодо необхідності використання притискача на наступних операціях витяжки сильно різняться. Так, згідно з довідковими даними [3] необхідність притискача для другого і подальших переходів витяжки визначається з умови: $\frac{100 \cdot S}{d_1} < 1,25$. У нашому випадку

нерівність має вигляд: $\frac{100 \cdot S}{d_1} = \frac{100 \cdot 1}{112} = 0,89 < 1,25$, що

говорить про необхідність притискання. У довідковій літературі [5] необхідність застосування притискача рекомендується визначати залежно від граничного коефіцієнта витяжки і відносної товщини заготовки. При відносній товщині $\frac{100 \cdot S}{d_1} = 0,89$ фактична ступінь витяжки при витягуванні без притискання має бути меншою 1,25. У нашому випадку для другої витяжки

$K_2 = \frac{d_1}{d_{\text{дем}}} = \frac{112}{90} = 1,25$. Оскільки фактичне значення

ступеня витяжки дорівнює граничному, можемо зробити висновок, що витяжку бажано проводити з притисканням заготовки. У той же час існує ймовірність виконання другої витяжки без утворення гофр в процесі витягування.

Визначення необхідності притискача за номограмою, наведеною в літературі [6], показало, що при відносній товщині $\frac{100 \cdot S}{d_1} = 0,89$ мінімальний коефіцієнт витяжки без використання притискача $[m_2] = 0,78$. У нашому випадку коефіцієнт витяжки на другому переході $m_2 = 0,8$, а значить відповідно даної рекомендації існує можливість здійснення витяжки на другому переході без використання притискача.

Також практикою встановлено, що знизити ймовірність утворення гофр при витягуванні можна за рахунок використання більш складної по конструкції матриці з конусно-тороїдальною формою робочої поверхні. На відміну від матриці з традиційною формою робочої частини, ця форма дозволяє створити більш сприятливі умови деформування при малих кутах матриці через зменшення значення напружень, що виникають на ділянках вигину заготовки [5, 7].

Чисельні розрахунки

Враховуючи неоднозначні рекомендації щодо застосування притискача для другої витяжки можливість отримання деталі за два операції та необхідність застосування притискача на кожній з них перевірялась шляхом чисельного моделювання процесів в програм-

ному комплексі Deform 3D [8], який ефективно використовується як для моделювання процесів об'ємного [9–11], так і листового штампування [12–14].

Розрахункові схеми реальних процесів витяжки наведені на рис. 3, 4. Перший перехід витяжки проводився в матриці з традиційною тороїдальною формою робочої поверхні і з використанням притискача фланця заготовки, другий – в матриці з конусно-тороїдальною формою робочої поверхні без притискання заготовки.

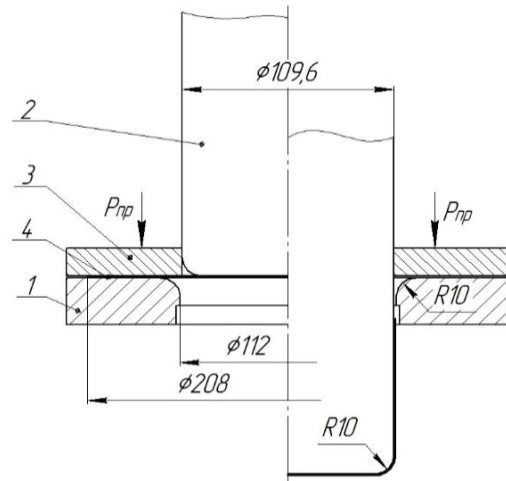


Рис. 3. Схема першої витяжки: 1 – матриця, 2 – пуансон, 3 – притискач, 4 – заготовка

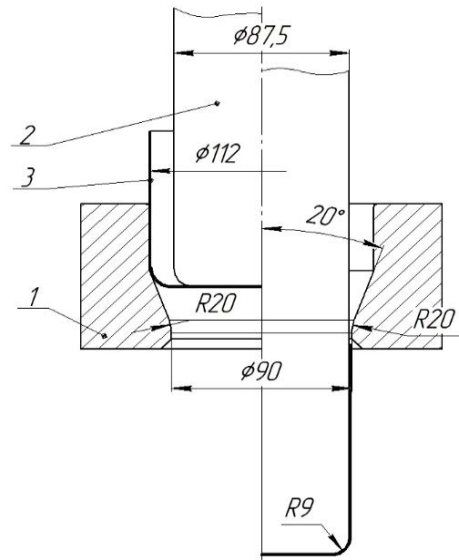


Рис. 4. Схема другої витяжки: 1 – матриця, 2 – пуансон, 3 – заготовка

В якості матеріалу заготовки при моделюванні була використана сталь AISI 304 – аналог сталі 08X18H10T. Модель матеріалу - пластична. Для оцінки можливості прогнозування гофроутворення в процесі витяжки в Deform 3D був змодельований процес першої витяжки заготовки без застосування притискача 3 (див. рис. 5).

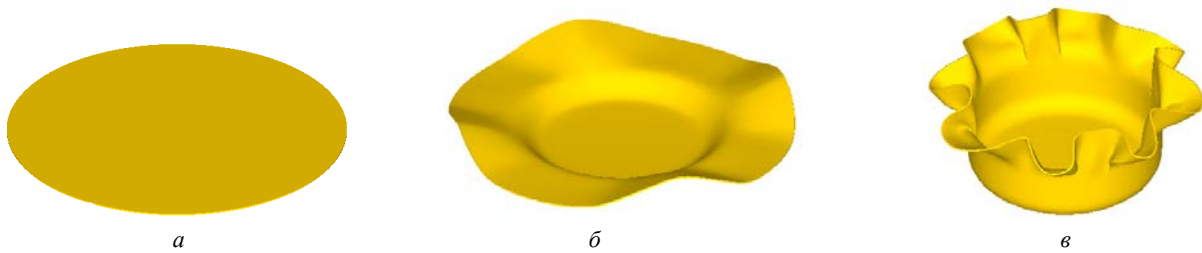


Рис. 5. Заготовка на різних етапах першої витяжки без притискання фланця заготовки: а – заготовка, б – початок утворення гофр, в – зтягування гофр в робочу зону матриці

Результати моделювання першої витяжки (рис. 5) підтверджують необхідність застосування притискача заготовки, оскільки через тангенційні напруження стискання у фланці заготовки відбувається втрата його стійкості в процесі витяжки заготовки. Отримані результати не протирічають рекомендаціям довідкової літератури узгоджуються з результатами, отриманими раніше при моделюванні процесів витяжки вісесиметричних деталей [12].

Результати моделювання першої витяжки з притискачем представлені на рис. 6, 7.

Процес формозміни заготовки на різних етапах витяжки представлено на рис. 6. Результати моделювання показали, що застосування притискача дозволяє отримати напівфабрикат без значного гофроутворення і відриву донної частини заготовки.

Розподіл інтенсивності напружень σ_i при максимальному зусиллі процесу наведено на рис. 7, а. Максимальні значення сягають 950 МПа на радіус-

ному переході в робочу зону матриці і 750 МПа в місці радіусного переходу стінки заготовки в донну частину. Як видно з рис. 7, б, максимальні значення інтенсивності деформацій ϵ_i спостерігаються по краю стінки напівфабрикату і сягають 0,9.

При моделюванні для прогнозування ймовірності руйнування матеріалу заготовки в процесі деформування [13, 14] використовувався критерій руйнування Normalized C&L, значення якого визначаються за формулою

$$C = \int \frac{\bar{\sigma}^*}{\bar{\sigma}} d\bar{\epsilon},$$

де $\bar{\epsilon}$ - накопичена пластична деформація, $d\bar{\epsilon}$ - приріст накопиченої деформації, $\bar{\sigma}^*$ - максимальне головне напруження, $\bar{\sigma}$ - інтенсивність напружень.

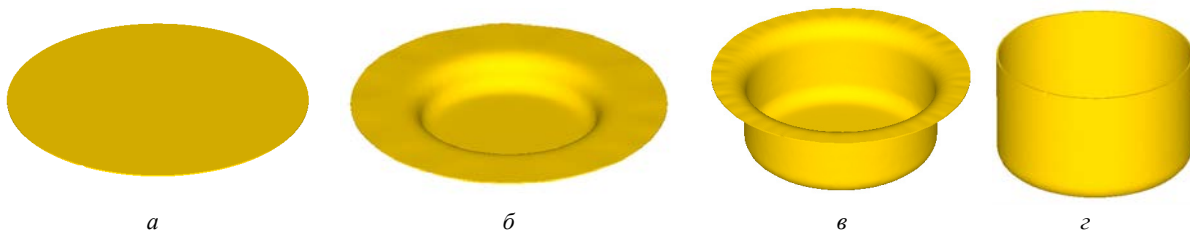


Рис. 6. Заготовка на різних етапах першої витяжки з притисканням фланця: а – заготовка, б, в – проміжні стадії витяжки, г – готовий напівфабрикат

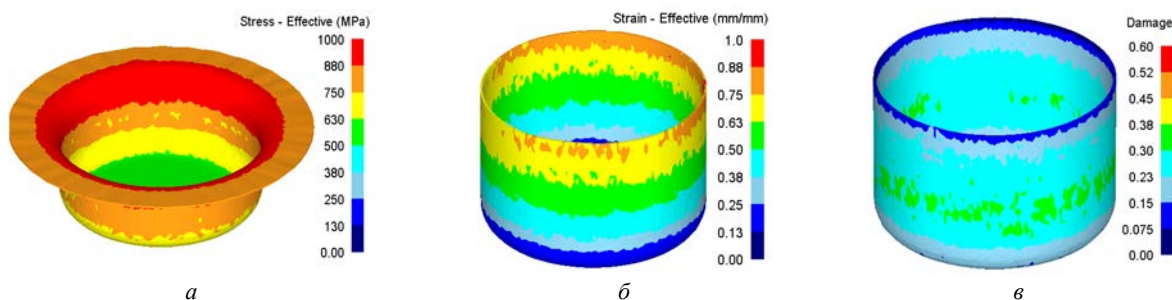


Рис. 7. Напружено-деформований стан в об'ємі напівфабрикату в процесі першої витяжки: а – розподіл інтенсивності напружень при максимальному зусиллі процесу σ_i , б - розподіл інтенсивності деформацій ϵ_i , в – картина розподілу значень критерію руйнування

Максимальні значення критерію руйнування (рис. 7в) сягають значень 0,3 та не перевищують граничних значень [13–14] для операцій витяжки без потоншення стінки.

Результати чисельного моделювання другої операції витяжки показані на рис. 8, 9. Як видно з рис. 8, при використанні матриці з конусно-тороїдальною формою робочої поверхні втрати стійкості стінки заготовки не відбувається.

На рис. 9 показано напружено-деформований стан в об'ємі напівфабрикату після другої витяжки. Розподіл інтенсивності напружень σ_i при

максимальному зусиллі процесу наведено на рис. 9а. Максимальні значення досягають 980 МПа біля вільного краю деталі і 420 МПа вздовж стінки деталі і в місці радіусного переходу стінки заготовки в донну частину. На рис. 9 б наведено розподіл інтенсивності деформацій ε_i , максимальні значення сягають 0,9. Картину розподілу значень критерію руйнування на поверхні напівфабрикату показано на рис. 9в. Максимальні значення сягають значень 0,5 та не перевищують граничних значень [13–14], тобто на другій операції витягування деформування відбудеться без руйнування напівфабрикату.

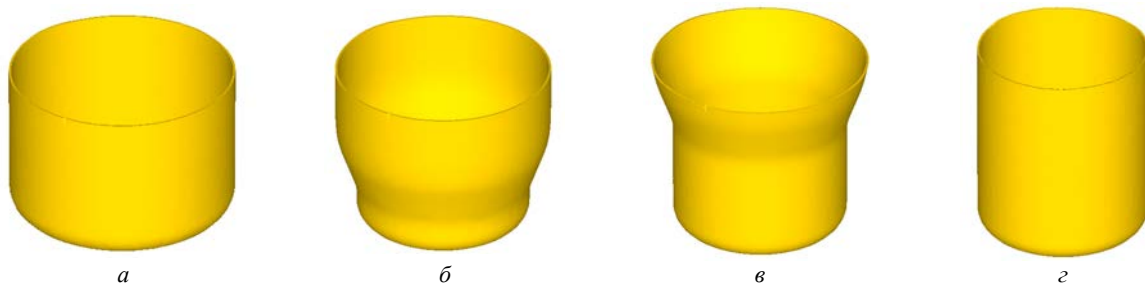


Рис. 8. Заготовка на різних етапах другої витяжки без притискання заготовки: а – заготовка, б, в – проміжні стадії витяжки, г – готовий напівфабрикат

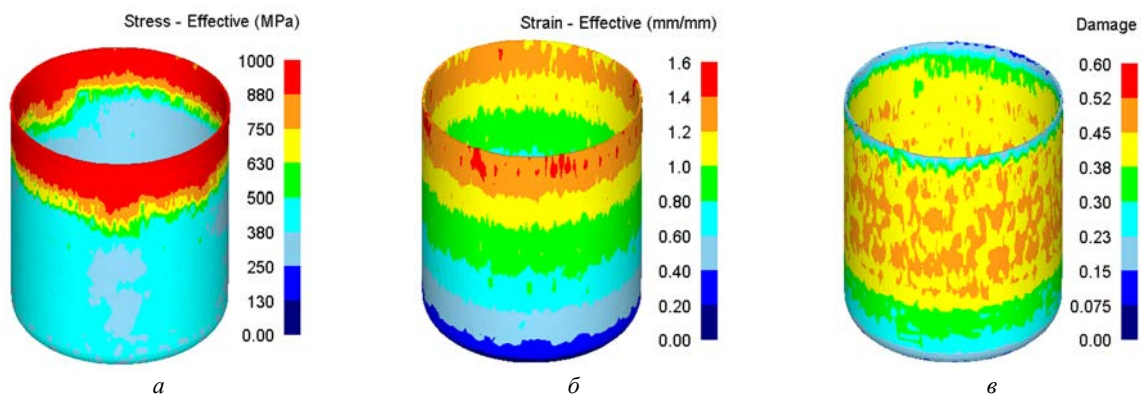


Рис. 9. Напружено-деформований стан в об'ємі напівфабрикату в процесі другої витяжки: а – розподіл інтенсивності напружень при максимальному зусиллі процесу σ_i , б – розподіл інтенсивності деформацій ε_i , в – картина розподілу значень критерію руйнування



Рис. 10. Технологічний ланцюжок виготовлення деталі: зліва-направо: заготовка, напівфабрикат першої витяжки, готова деталь після підрізання торця

За результатами моделювання було спроектоване відповідне штампове оснащення та виконане витягування стаканчика. Результати витягування представлені на рис. 10.

Експерименти підтвердили результати, отримані шляхом чисельного моделювання, і показали, що реалізація другого переходу витяжки без притискача можлива за рахунок застосування більш сприятливої схеми деформування, яка забезпечується підбором відповідного ступеня деформації та геометрією інструменту.

Крім того результати натурного експерименту підтвердили прогнозовану за результатами моделювання появу невеликих гофр (рис. 11а) під першою витяжкою за мінімально допустимого зусилля притискання фланця заготовки. Так на внутрішній поверхні напівфабрикату (рис. 11б) можна побачити блискучі риси, які утворились в результаті розрівнювання цих гофр при витяганні їх в зазор між пуансоном та матрицею в процесі витягування.

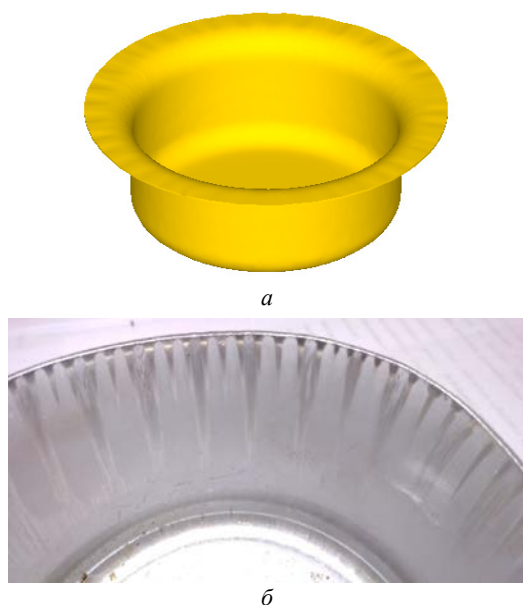


Рис. 11. Утворення дрібних гофр на першій операції витягування

При виготовленні напівфабрикату корпусу вентилятора (рис. 2) у виробника також виникла проблема з утворенням гофр. Для отримання напівфабрикату виробником було закладено три операції витягування (рис. 12), вихідна заготовка мала діаметр 414 мм, товщина – 0,8 мм, матеріал заготовки - сталь 08.

Перше витягування виконувалось у штампі з притискачем, друге та третє – без притискача.

Під час відпрацювання технології виготовлення напівфабрикату на перших двох операціях деформування відбувалось без проблем, а після третьої витяжки у центральній кільцевій частині напівфабрикату утворилися гофри (рис. 13), що відповідно до креслення деталі було неприпустимим.

Для встановлення причин гофроутворення було виконане моделювання операцій витягування у середовищі DEFORM 3D у відповідності до розробленої технології. У зв'язку з наявним обмеженням в DEFORM 3D кількості елементів розрахункової сітки моделювання велось на 1/8 заготовки з застосуванням площин симетрії.

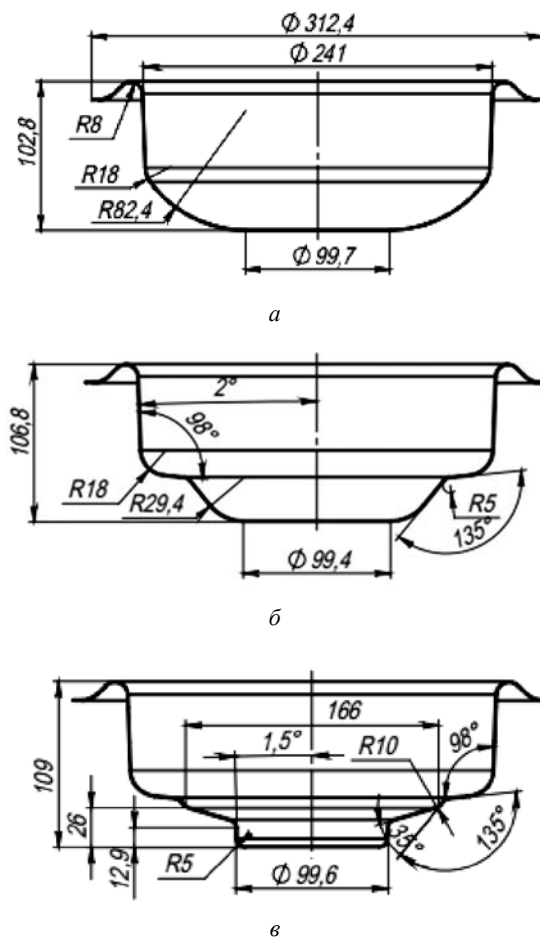


Рис. 12. Технологічні переходи виготовлення напівфабрикату корпусу вентилятора: а – перша витяжка; б – друга витяжка; в – третя витяжка



Рис. 13. Гофри у центральній кільцевій частині напівфабрикату після третьої витяжки

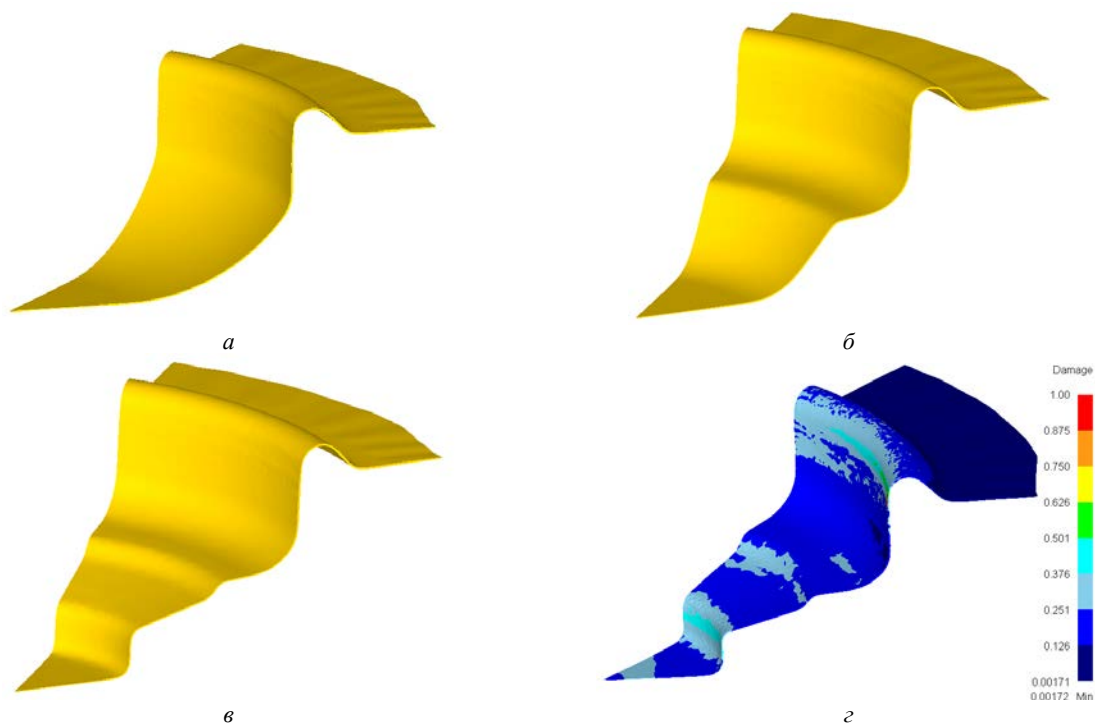


Рис. 14. Поопераційне моделювання процесу виготовлення напівфабрикату корпусу вентилятора: *a* – перша витяжка; *б* – друга витяжка; *в* – третя витяжка; *г* – картина розподілу значень критерію руйнування

За результатами моделювання (рис. 14) ознак втрати стійкості в zdeформованій частині не спостерігалось на жодній з операцій (рис. 14, *a–в*), максимальні значення критерію руйнування на останній операції витяжки (рис. 14, *г*) сягають значення 0,5 (не перевищують граничних значень [13–14]).

Така певна невідповідність результатів моделювання та результатів натурного експерименту для третьої витяжки засвідчила певну недосконалість DEFORM 3D у питанні прогнозування втрати стійкості та спонукала провести більш детальний аналіз процесу деформування на даній операції.

За результатами розширеного аналізу процесу деформування було встановлено, що геометрії останнього напівфабрикату та деформуючого інструменту, хоча і розраховані відповідно до рекомендацій довідкової літератури [3, 4], не відповідають реальній

картині деформування і не забезпечують необхідний перерозподіл металу в процесі витягування.

Як видно з послідовності деформування напівфабрикату на останній операції витягування (рис. 15) за даної геометрії деформуючого інструменту в центральній кільцевій частині напівфабрикату утворюється надлишок металу заготовки.

В результаті цього у центральній кільцевій зоні стискання матеріалу відбувається не тільки в окружному напрямку, а й радіальному, що призводить втрати стійкості металу у цій зоні та утворення хвилястої поверхні. Як видно з рис. 15 на цій ділянці практично відсутній контакт матеріалу заготовки з матрицею.

Про нерівномірний характер деформування на ділянці напівфабрикату, що досліджується, дуже добре сигналізує картина розподілу швидкостей матеріалу (рис. 16, *a*).

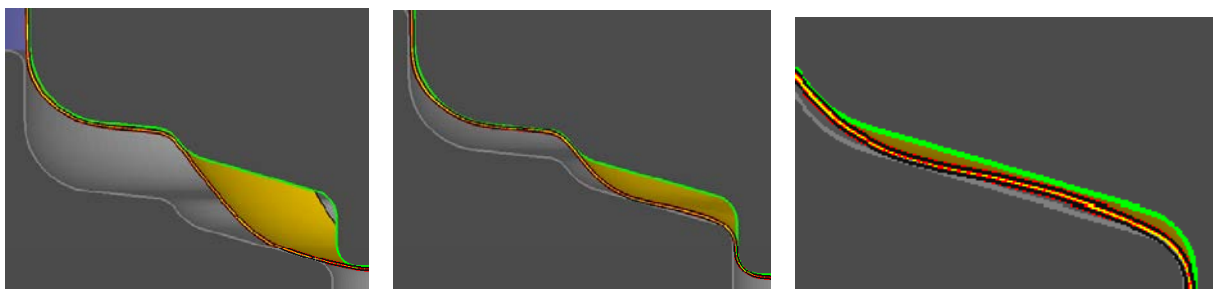


Рис. 15. Послідовність деформування центральної кільцевої частини напівфабрикату на третій операції витягування

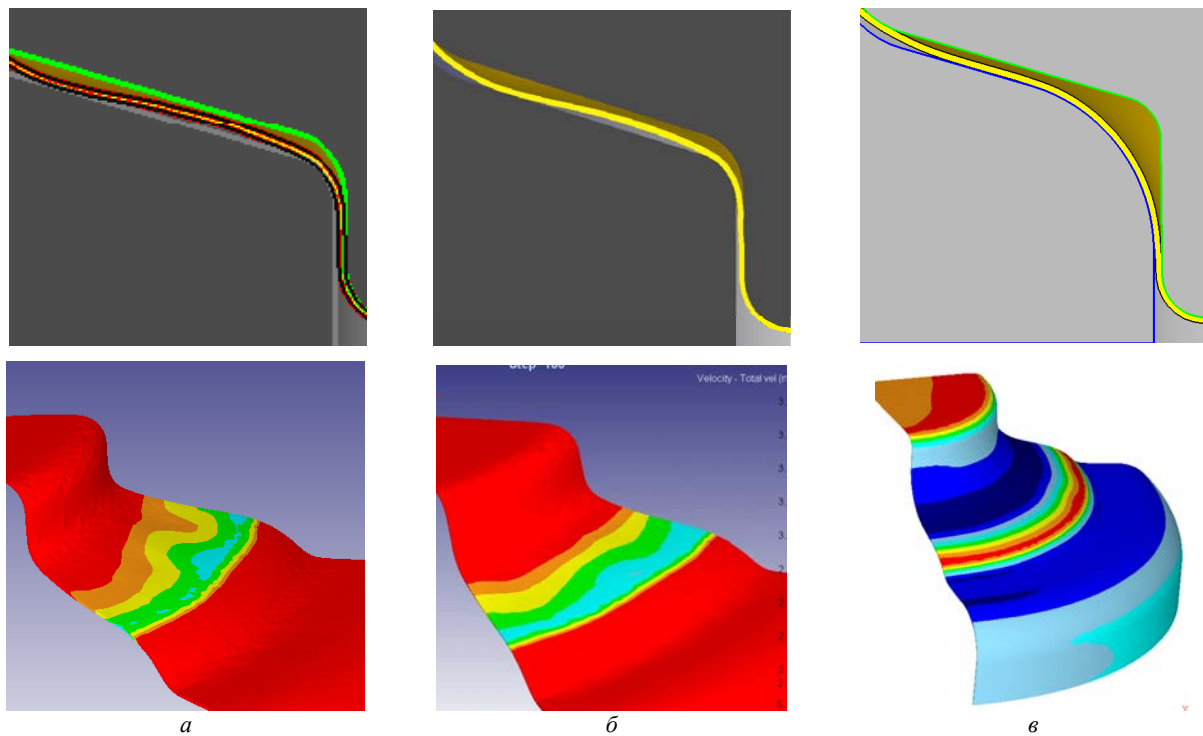


Рис. 16. Вплив геометрії деформуючого інструменту на процес витягування та картину розподілу швидкостей матеріалу на небезпечній ділянці напівфабрикату *a* – витяжка попередньо спроектованим інструментом; *b* – витяжка подовженим пуансоном; *v* – витяжка подовженим пуансоном та зі збільшеним радіусом матриці

В реальному процесі така ситуація і призвела до утворення гофр при змиканні деформуючого інструменту в кінці робочого ходу, хоча за результатами моделювання нерівності при змиканні інструменту розрівнювались.

Для покращення процесу перерозподілу металу в процесі витягування було запропоновано збільшити довжину центральної частини деформуючого пуансона та скорегувати в сторону збільшення радіус заокруглення в місці переходу кільцевої ділянки напівфабрикату у вертикальну стінку, оскільки малий радіус заокруглення суттєво ускладнює переміщення металу в процесі витягування.

На рис. 16 видно як зміна геометрії деформуючого інструменту впливає на процес перерозподілу матеріалу під час деформування та картину розподілу швидкостей матеріалу, що деформується. Відповідне коригування центральної частини пуансона та збільшення радіусу заокруглення на матриці дозволило уникнути втрати контакту заготовки з матрицею та отримати рівномірну картину розподілу швидкостей металу по периметру напівфабрикату, що має унеможливити появу гофр.

З урахуванням запропонованих рекомендацій геометрія кінцевого напівфабрикату корпусу вентилятора та деформуючого інструменту для його виготовлення були скореговані розробником, а проблема утворення гофр на останній операції – вирішена.

Висновки

Отримані результати досліджень свідчать про те, що програмний комплекс DEFORM 3D, який хоч і має певні недоліки при моделюванні операцій листового штампування, може досить успішно використовуватись для моделювання операцій витягування та прогнозування утворення гофр як при розробці технології виготовлення, так і для усунення причин гофроутворення в існуючих процесах.

Так за умови відносно простої геометрії вихідної заготовки, напівфабрикату (рис.1) та деформуючого інструменту (рис. 3, 4) моделювання процесу витягування тонколистової заготовки у середовищі DEFORM 3D дозволяє з високим ступенем ймовірності візуалізувати процес утворення гофр та прогнозувати втрату стійкості матеріалу заготовки.

У той же час при моделюванні у DEFORM 3D процесів витягування зі складною геометрією вихідних напівфабрикатів (рис. 12) не завжди вдається встановити момент утворення гофр на небезпечних ділянках напівфабрикату. А як показують натурні експерименти відсутність гофр за результатами моделювання не гарантує їх відсутність в реальному процесі.

Тому якісне прогнозування утворення гофр за допомогою DEFORM 3D потребує додаткового покрокового (а DEFORM це дозволяє) аналізу напружено-деформованого стану та поведінки металу заготовки

в осередку деформації, особливо на прикінцевих етапах процесу. Це дозволяє дослідити процес перерозподілу матеріалу при витягуванні, виявити ділянки, на яких відбувається непрогнозована та неконтрольована втрата контакту матеріалу заготовки з деформуючим інструментом або виникають зони з значною

нерівномірністю швидкостей переміщення точок по периметру напівфабрикату. Поява таких зон в процесі витягування чітко вказує на проблемні місця з підвищеною ймовірністю утворення гофр в реальному процесі деформування та сигналізує про необхідність коригування технологічного процесу витягування.

References

- [1] M.A. Greditor, *Davil'nye raboty i rotatsionnoe vydavlivanie*, Moscow: Mashinostroenie, 1971.
- [2] L.G. Yudin and S.P. Yakovlev, *Rotatsionnaya vytyazhka tsilindricheskikh obolochek*, Moscow: Mashinostroenie, 1984.
- [3] *Spravochnik konstruktora shtampov: Listovaya shtampovka*, L.I. Rudmana Ed., Moscow: Mashinostroenie, 1988.
- [4] V.P. Romanovskii, *Spravochnik po kholodnoi shtampovke*, 6th. ed., Leningrad: Mashinostroenie, 1979.
- [5] A.D. Matveeva Ed., "Listovaya shtampovka", in *Kovka i shtampovka: Spravochnik*, Vol. 4, Moscow: Mashinostroenie, 1987.
- [6] RTM 34-65. Shtampy dlya kholodnoi listovoi shtampovki. Raschety i konstruirovaniye, Moscow, 1965.
- [7] V.I. Stebliuk, M.V. Orliuk and D.B. Shkarluta, "Vytyahuvannya visesymetrychnykh tonkostinnykh vyrobiv iz nerzhaviuchoi stali 04Kh18N9T", *Udoskonalennia protsesiv i obladnannia obrobky tyskom v metalurhii i mashynobuduvanni: Tematychn. Zb. Nauk. Pr.*, pp. 268–270, 2007.
- [8] *Deform-3D – moshchnaya sistema modelirovaniya tekhnologicheskikh protsessov*. [Online]. Available: <http://www.thesis.com.ru/software/deform>
- [9] V.L. Kaliuzhnyi, O.S. Yarmolenko and K.L. Marchuk. "Stamping a medium – sized cartridge blank from low – carbon steel", *Mechanics and Advanced Technologies*, Vol. 5, No. 1, pp. 113–121, 2021. DOI: 10.20535/2521-1943.2021.5.1.234466
- [10] V.L. Kaliuzhnyi et al., "Pidvyschennia produktyvnosti taznyzhennia vytrat metalu pry shtampuvanni latunnykh hilz velykoi dovzhyny", *Ozbroiennia ta viiskova tekhnika*, No. 2(30), pp. 85–95, 2021.
- [11] M. Orliuk, V. Pimanov and V. Zhukov, "Cold stamping of a cartridge case blank for 40x53 mm caliber grenade launcher ammunition", *Mechanics and Advanced Technologies*, Vol. 5, No. 3, pp. 359-365, 2022. DOI: 10.20535/2521-1943.2021.5.3.248054
- [12] V.I. Stebliuk et al., "Kompiuterne modeliuвання protsesu vytyahuvannya porozhnistykh vyrobiv u seredovyskhi "DEFORM-3D", *Obrabotka materialov davleniem*, Kramatorsk: DHMA, No. 2 (23), pp. 24–27, 2010. DOI: doi.org/10.1016/j.jeur.2010.05.004
- [13] V.I. Stebliuk et al., "Opredelenie predel'nykh stepeni deformatsii pri komp'yuternom modelirovanii protsesa vytyazhki", *Scientific proceedings III international scientific congress "Innovations"*, Varna, Bulgaria, No. 1, pp. 233–236, 2017.
- [14] M.V. Orliuk, "Hranychni znachennia kryteriiv ruinuвання pry modeliuванні protsesiv vytyahuvannya v seredovyskhi DEFORM", *Obrabotka materialov davleniem*, Kramatorsk: DHMA, No. 2(45), pp. 22–29, 2017.

Corrugation prediction in process of sheet drawing based on the results of modeling in the DEFORM environment

M.V. Orlyuk

Abstract. In a process of sheet drawing technology developing, the probability of workpiece buckling during deformation and the necessity of blank holder using to prevent corrugation, is estimated in accordance with the recommendations of the reference book. However, reference literature does not have clear recommendations, or it gives contradictory recommendations for blank holder use cases for some deformation conditions. In these cases, problem solving requires additional experimental research.

Possibility and efficiency establishing of computer simulation using DEFORM environment of axisymmetric drawing processes to forecast the buckling of a thin-sheet workpiece during deformation.

Technological processes of sheet drawing with a high probability of workpiece buckling were investigated by means of finite element computer simulation in DEFORM 3D.

Research has established that simulation of thin-sheet workpiece drawing process in DEFORM 3D, allows to visualize the process of corrugation, and predict workpiece buckling with high probability, provided that the deformation occurs relatively simple geometry of the workpiece and deforming tool. In more complex deformation conditions, the experiments results, and computer simulation may differ (simulations may not indicate corrugation). This somewhat complicates corrugation prediction, but the problem is solved by an extended analysis of the stress-strain state and workpiece behavior in the deformation zone. The emergence of areas in the workpiece with an unpredictable and uncontrolled contact loss of the workpiece material with the deforming tool, or appearance of areas with significant irregular velocity of workpiece points movement, clearly indicates problem areas with high probability of corrugation in the real sheet drawing process.

Obtained results allow to increase the efficiency of expecting places of corrugation appearance prediction by means of computer simulation of sheet drawing process in the DEFORM 3D environment.

Keywords: sheet drawing, buckling, corrugation, blank holder, computer simulation, prediction, fracture criteria.