

УДК. 621.863.3

О.В. Калюжний, к.т.н., ст. викл.

НТУУ України „Київський політехнічний інститут”, м. Київ, Україна

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ФОРМОУТВОРЮЮЧИХ ПРОЦЕСІВ ХОЛОДНОГО ЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ

В НТУУ «КПІ» розроблена спеціалізована інформаційна технологія визначення параметрів формообразуючих процесів холодної листової штамповки. Параметри отримання осесиметричних деталей розраховуються на основі моделювання формозмінення методом кінцевих елементів. Показані приклади проектування технології витяжки, обжимки, отбортовки.

Specialized informational technology of parameter's definition of forming processes of sheet metal forming was developed in NTUU "KPI". The parameters of acquisition of axisymmetric details are calculated on basis of forming simulation by finite-element method. The examples of designing of technology of drawing, breaking-down and flanging processes are shown

Вступ. Розрахунки параметрів отримання вісесиметричних виробів формоутворюючими процесами холодної листового штампування (ХЛШ) виконуються в основному по даних, які наведені в джерелах [1-2]. Розробка технологій зводиться до визначення кількості переходів формоутворення виробів та розрахунків силових режимів. Критерії призначення кількості переходів базуються на експериментальних даних та виробничому досвіді. Тому в багатьох випадках, з метою виключення руйнування металу та втрати стійкості листових заготовок, кількість переходів штампування збільшена. Крім того, параметри багатоперехідного штампування потребують доопрацювання експериментальними роботами. Останнє приводить до збільшення часу на підготовку виробництва, а також великих матеріальних і трудових витрат. В останній час для визначення параметрів ХЛШ виробів різноманітної конфігурації використовують математичне моделювання методом скінчених елементів шляхом використання універсальних комерційних пакетів (ANSYS, LS-DYNA, FastForm, DynaForm, NASTRAN, COSMOS, ABAQUS та інші). Однак дані програми мають один суттєвий недолік - для роботи з ними необхідна висококваліфікована підготовка персоналу: фахівців в програмуванні для підготовки вихідних даних для розрахунків та фахівців в області обробки металів тиском - для аналізу результатів моделювання та обґрунтування їх використання на виробництві.

Мета та постановка задачі досліджень. Метою роботи було створення інформаційної технології визначення параметрів отримання виробів формоутворюючими процесами холодної листового штампування.

Результати досліджень. На кафедрі МПМ та РІП НТУУ «КПІ» створена інформаційна технологія, яка дозволяє визначати параметри для проектування процесів холодної об'ємної і формоутворюючих операцій листового штампування. Вона оснований на базі методу скінчених елементів (МСЕ) і пакету прикладних програм. Інформаційна технологія дозволяє визначити способом початкових напружень пружно-пластичний стан металу при інтенсивному холодному деформуванні з вихідного стану заготовки до отримання кінцевої форми виробу з урахуванням великих деформацій та розвантаження після пластичної деформації. За допомогою технології можливо визначити силові режими, точний розподіл питомих зусиль на деформуючому інструменті, кінцеві розміри виробу та прогнозувати або забезпечувати механічні властивості здеформованого металу. Визначені параметри на потребують доопрацювання експериментальними роботами.

При створенні інформаційної технології було проаналізовано всі фактори, які впливають на ХЛШ. Вони розподіляються на конструктивні, технологічні та матеріалознавчі. До конструктивних факторів Φ_K належить геометрія деформуючого інструменту. Технологічні фактори Φ_T це: геометрична форма заготовки і виробу, наявність неусталеної течії металу та позаконтактної деформації, ступінь деформації, тип змащення, розвантаження металу після пластичної деформації, зміщення деформуючого інструменту. Матеріалознавчі фактори Φ_M включають діаграму істинних напружень, діаграму пластичності та пружні властивості матеріалу заготовки.

Конструктивні, технологічні та металознавчі фактори впливають на силові режими деформування P_D , питомі зусилля на контактуючих поверхнях між металом, що деформується, та інструментом p , а також показники якості Q виробів. До показників якості віднесли: кінцеву геометричну форму виробу, зміщення та ступінь використання ресурсу пластичності здеформованого металу. Обґрунтований підхід до моделювання, сутність якого полягає в наступному: 1. Оскільки зусилля деформування $P_D = f(\Phi_K, \Phi_T, \Phi_M)$, питомі зусилля $p = f(\Phi_K, \Phi_T, \Phi_M)$, якість виробів $Q = f(\Phi_K, \Phi_T, \Phi_M)$ є функціями вказаних факторів, то в інформаційній технології необхідно врахувати комплексний вплив факторів при моделюванні формозміни інтенсивної пластичної деформації в процесах ХЛШ на отримання виробів необхідної форми з прогнозованими властивостями здеформованого металу та необхідної форми з забезпеченими властивостями; 2. Процес моделювання формозміни необхідно починати з вихідного положення заготовки для врахування неусталеної течії і історії розвитку напружено-деформованого стану по всьому об'єму в ній, а також визначення фактичних розмірів осередку деформації, можливості руйнування при формозміні, кінцевої геометрії виробу та зміщення матеріалу здеформованої заготовки. Комплексний вплив параметрів дозволить моделюванням визначити схему напруженого стану, силові режими, розподіл питомих зусиль та технологічну пластичність здеформованого металу. По

технологічній пластичності є можливість встановити отримання виробу за один перехід та розрахувати кількість переходів ХЛШ, а також виявити необхідність термічної обробки (відпалу) для другого і в подальших переходах; 3. При отриманні виробів необхідної форми (з врахуванням п.2) відкриваються можливості заміни марки матеріалу на більш дешеву без зміни службових властивостей виробів що також дозволить зменшити зусилля деформування і підвищити стійкість штампового оснащення. В такому випадку якість виробів є прогнозованою для подальшої обробки або використання в виробництві; 4. Для забезпечення заданої якості виробів при необхідній геометрії моделюванням встановлюється комплексний вплив параметрів на характер формозміни матеріалу і отримання кінцевої геометрії виробу при раціональній кількості переходів і раціональних силових режимах деформування.

Особливістю створеної інформаційної технології є можливість прогнозувати та забезпечувати якість виробів, які отримуються ХЛШ по наступній схемі (рис. 1).

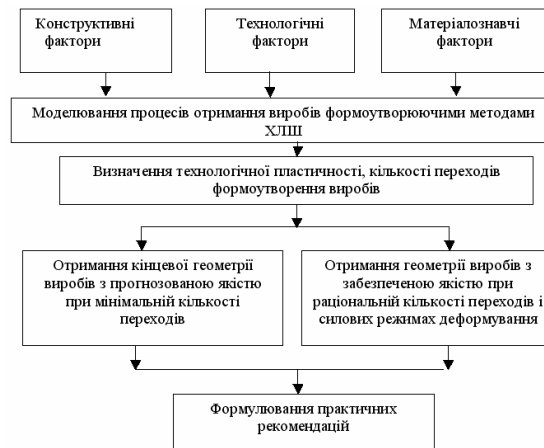


Рис. 1. Схема прогнозування та забезпечення якості виробів моделюванням процесів ХЛШ

Інформаційна технологія складається з загальносистемних, спеціальних та прикладних компонентів. Для забезпечення високої надійності і можливості багатоцільового використання при моделюванні процесів ХЛШ технологія виконана в вигляді окремих підсистем (рис. 2.). Підсистеми функціональні, які реалізують розрахунковий цикл, та допоміжні, що організовані по модульному принципу. Програмне забезпечення підсистем створено за двома принципами: на діалоговий та пакетний режим роботи. Зв'язок між підсистемами можливий за рахунок оперативних або архівних баз даних.

Підсистема підготовки вихідних даних та формування розрахункових схем процесів, які розглядаються, включає в себе формування вхідних даних: по кресленню виробу складається розрахункова схема; виконується розподілення вихідної заготовки на скінчені елементи, визначаються їх номери і номери вузлів, з яких вони складаються, та координати вузлових точок; задаються координати крайніх точок поверхонь інструменту з відомими статичними та кінематичними граничними умовами; визначаються вузли, в яких відомі наведені граничні умови; вводяться характеристики матеріалу заготовки.

Структура інформаційної технології визначення параметрів формуючих процесів ХЛШ



Рис. 2. Структура створеної інформаційної технології

Підсистема аналізу напружено-деформованого стану металу, кінцевої геометрії виробу, визначення зусиль деформування та питомих зусиль на оснащенні, зміцнення та ступеня використання ресурсу пластичності zdeформованого металу створена для формування математичного апарату для моделювання інтенсивної пластичної деформації в формуючих процесах ХЛШ при дії статичного або кінематичного навантаження на вихідну заготовку

в режимі розподілу всього процесу деформування на певну кількість кроків навантаження. Вирішенням методом скінчених елементів визначаються компоненти переміщень, деформацій та напружень в вузлах скінчених елементів. В якості вихідних даних використовується інформація з файлу, який генерується попередньою підсистемою. Результати розрахунків також зберігаються в файлі.

Підсистема візуалізації, виведення графічної та текстової документації необхідна для представлення кінцевої геометричної форми виробу та виконання візуалізації розподілу всіх компонентів напружено-деформованого стану по об'єму zdeформованої заготовки.

Підсистема зберігання інформації формує текстову інформацію про вихідні дані та про результати розрахунків.

Підсистема тестування задач дозволяє проводити тестування задач інтенсивної пружно-пластичної холодної деформації заготовок, а також є можливість вирішувати задачі пружного стану деформуючого інструменту та оптимізації його геометричної форми з метою збільшення стійкості.

Підсистема навчання користувачів дає можливість підготовки користувачів до роботи з інформаційною технологією.

Наведемо приклади визначення параметрів в формоутворюючих процесах ХЛШ вісесиметричних виробів за допомогою створеної інформаційної технології. Так вирішена задача виключення потоншення заготовки в небезпечному перерізі при витягуванні зі сprofilьованої заготовки виробу з титанового сплаву. На рис. 3 наведена половина sprofilьованої заготовки для витягування, геометрія якої визначена розрахунковим шляхом.

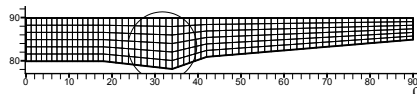


Рис. 3. Розрахункова геометрія sprofilьованої заготовки (розміри в міліметрах)

В отриманій заготовці виділене місце розрахункового необхідного потовщення заготовки для подальшого виключення потоншення її при витягуванні. Результати моделювання витягування показані на рис. 4. Наведена половина заготовки після витягування, на якій вказано місце виключення потоншення. На рис. 5 представлена заготовка з титанового сплаву, яка отримана по параметрам, що визначені по інформаційній технології.

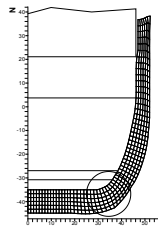


Рис. 4. Заготовка після витягування.



Рис. 5. Заготовка з титанового сплаву.

Представимо результати моделювання витягування з потоншенням виробів з порожниною простої та ступінчатої конфігурації. Витягування з потоншенням використовують для збільшення висоти виробу за рахунок зменшення товщини стінок (рис. 6), на якому зображено витягування з потоншенням виробу зі ступінчатою порожниною. Зліва від вісі симетрії показаний вихідний стан, справа - після витягування. Заготовку 3, яку можна отримати холодним зворотним видавлюванням або витягуванням, встановлюють на конічну поверхню матриці 1, витягування виконують за допомогою переміщення пуансона 2. Повзушками 4 знімають zdeформовану заготовку з пуансона при зворотному ході. Метою проведення моделювання витягування з потоншенням виробів з порожниною постійного діаметра з низьковуглецевої сталі ІЮА було визначення впливу кута конусу матриці на сили

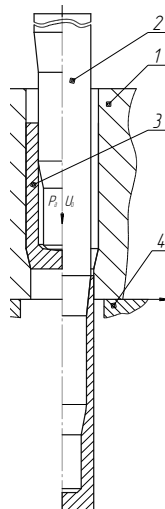


Рис. 6. Схема витягування з потоншенням

режими витягування, зміцнення та ступінь використання ресурсу пластичності zdeформованого металу. На рис. 7 представлені геометричні форми заготовок після витягування. Перший та другий переходи витягування з потоншення виробу з порожниною постійного діаметра показані на рис. 7а і 7б. Експериментальний зразок, який отриманий В.І. Стеблюком і М.В. Орлюком наведений на рис. 7в. Мінімальне зусилля вказаних переходів витягування має місце при куті при вершині конуса матриці 24 градусів. Максимальне зміцнення zdeформованого металу відбувається при витягуванні в матриці з кутом 32 градуси. Більш рівномірний деформований стан по ширині стінки отриманий при кутах конусу матриці 12-20 градусів. Результати моделювання витягування з потоншення виробів із високовуглецевої сталі зі ступінчатою порожниною показані на рис. 7г.

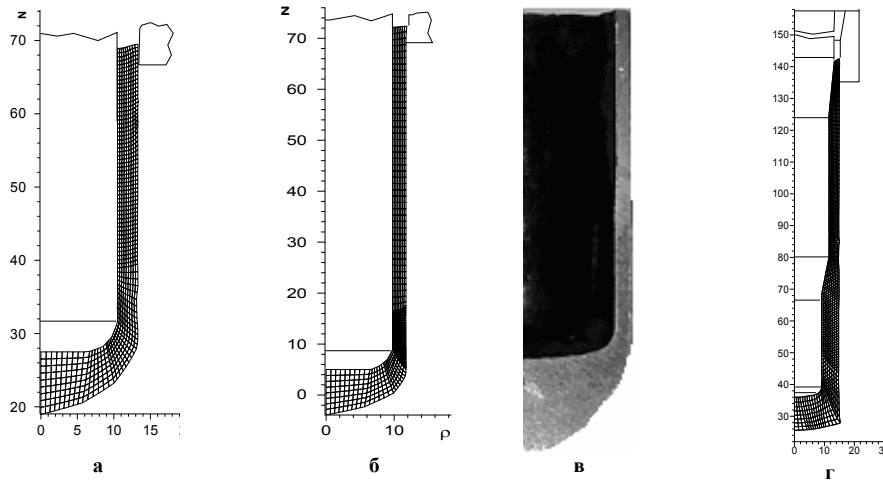


Рис. 7. Результати моделювання витягування з потоншенням (розміри в міліметрах) : а – 1 перехід, б- другий перехід, в- експериментальний зразок, г- витягування з потоншенням ступінчатої порожнини

В процесі витягування проходить спочатку обтискування циліндричної поверхні пуансона та подальше витягування з потоншенням з одночасним обтискуванням металу по зовнішній поверхні пуансона. Розміри зовнішньої поверхні пуансона виконані таким чином, щоб виключити подальшу механічну обробку виробу. Максимальне значення зусилля складо 150 КН. По розподілу відносних радіальних напружень на матриці при даному зусилля встановлене максимальне питоме зусилля 1460 МПа на кінчній поверхні матриці. Максимальне значення ступеня використання ресурсу пластичності 0,8 має zdeформований метал в верхній частині стінки виробу.

Наступний перехід для отримання кінцевої геометрії виробу зі ступінчатою порожниною це обтискування верхньої частини з отриманням забезпеченого зміцнення zdeформованого металу. За допомогою інформаційної технології проведено моделювання процесу обтискування. На рис. 8 наведена схема процесу обтискування: 1- заготовка, 2- контейнер, 3 -матриця, 4- оправка, 5- пуансон, 6- zdeформована заготовка (зліва від вісі симетрії показаний вихідний стан перед обтискуванням, справа – після обтискування). Обтискування виконується за рахунок переміщення пуансона 5. Розрахунковий аналіз виконували для визначення силових режимів, питомих зусиль і особливо геометрії виробів, тому що при обтискуванні має місце потовщення частини заготовки, що деформується. Крім того, необхідно було встановити можливість втрати стійкості стінки заготовки при даних співвідношеннях розміру заготовки і деформуючого інструмента. Встановлена геометрія виробу після обтискування (рис. 9). Максимальне зусилля обтискування 200 КН отримане наприкінці процесу. Також

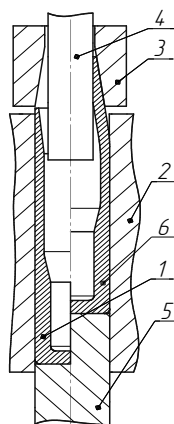


Рис. 8. Схема процесу обтискування

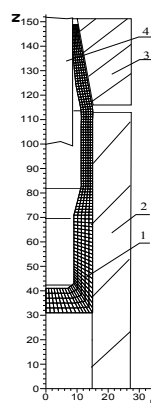


Рис. 9. Геометрія виробу після обтискування

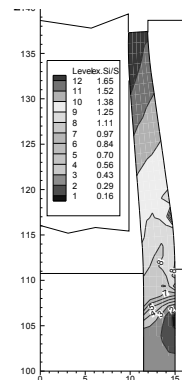


Рис. 10. Розподіл відносного істинного напруження

встановлений розподіл компонент відносних істинних напружень $\sigma_s/\sigma_{0,2}$ (σ_s – істинне напруження, $\sigma_{0,2}=375$ МПа- умовна межа течії високо вуглецевої сталі), по якому можна оцінити зміцнення zdeформованого металу. На рис. 10 показаний

розподіл відносних істинних напружень в верхній частині виробу після обтискування. З нього видно, що верхня частина зміцнилася в 1,52—1,65 рази в порівнянні з вихідним станом.

Інформаційна технологія також дає необхідні дані для проектування штампового оснащення: зусилля деформування та розподіл питомих зусиль на деформуючому інструменті. Для прикладу наведемо конструкцію спроектованого штампу для витягування з жорстким прижимом заготовок з маловуглецевої сталі (рис. 11). Штмп складається з матриці 1, до якої болтами 8 закріплений жорсткий прижим 2. Матрицю 1 на чотирьох опорах 5 встановлено на нижню плиту 6 і закріплено гвинтами 11. Пуансон складається з циліндричної частини 4, в яку встановлено сферичний торець 3 з вставкою 7. За допомогою болта 10 складові частини пуансону прикріплюються до верхньої плити 9. Згідно кресленням був виготовлений виробничий штмп для витягування. Штмп встановлювали на гідравлічному пресі ДБ2432 зусиллям 1,6 МН (рис. 12). Деталі, які отримані з заготовки діаметром 398 і товщиною 1,5 міліметрів показані на рис. 13.

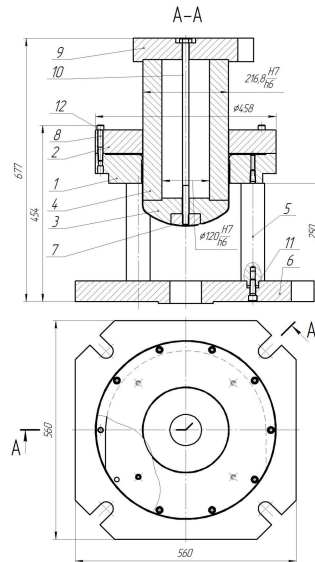


Рис. 11. Конструкція штампу для витягування



Рис. 12. Штмп для витягування, який встановлений на гідравлічному пресі ДБ2432 зусиллям 1,6 МН



Рис. 13. Заготовки з маловуглецевої сталі, які отримані витягуванням

Висновки

1. Створена інформаційна технологія визначення параметрів отримання вісесиметричних виробів формуючими процесами холодного листового штампування. Параметри визначаються на стадії проектування технології штампування по кресленню виробу і не потребують доопрацювання експериментальними роботами.

2. На наведених прикладах моделювання процесів холодного листового штампування методом скінчених елементів було показано можливості інформаційної технології для визначення параметрів технологічних процесів витягування, витягування з потоншенням, обтискування. Визначені параметри дозволяють отримувати кінцеву геометрію виробу і прогнозувати механічні властивості zdeформованого металу.

3. Розрахунковим шляхом визначаються силові режими штампування і робота деформації для вибору ковальсько-пресового обладнання, точний розподіл питомих зусиль на деформуючому інструменті для розрахунків на міцність. Показаний приклад спроектованого і виготовленого штампу для витягування по даним інформаційної технології.

Список літератури

1. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – 6-е изд., перераб. и доп. – Л: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1979. – 520 с.
2. Ковка и штамповка: Справочник: В 4 т. Т. 4 Листовая штамповка/ Под ред.. А.Д. Матвеева; Ред. совет: Е.И. Семенов (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1985-1987. – 544 с.