

Інженерний моніторинг точності процесів багатопозиційного холодного об'ємного штампування

У статті представлені результати експериментальних досліджень точності виробів, отриманих методом багатопозиційного холодного об'ємного штампування. Проведено аналітичне прогнозування параметрів точності деталей із використанням надбудов програмного редактора Microsoft Excel XP. Запропоновано практичне впровадження отриманих залежностей під час розробки та фахового супроводження процесів холодного висаджування виробів складної конфігурації

точність, деформація, холодне висаджування, регресія, жорсткість, інструмент

Задача визначення сталості проміжних наборів є однією із найскладніших при розробці технологічних процесів багатопозиційного холодного висаджування виробів складної конфігурації. Відомі діаграми граничної пластичності [1], розроблені лише для обмеженого класу сталей. Тому, враховуючи високу ефективність, продуктивність та низьку матеріаломісткість процесів холодного висаджування, доцільно мати надійну методику прогнозування сталості проміжних переходів. Аналітичні методи прогнозування, із застосуванням відповідних Microsoft Windows-сумісних редакторів, дозволяють швидко оптимізувати існуючі технології висаджування і підвищувати (у порівнянні із номографічними методами) точність розрахунків.

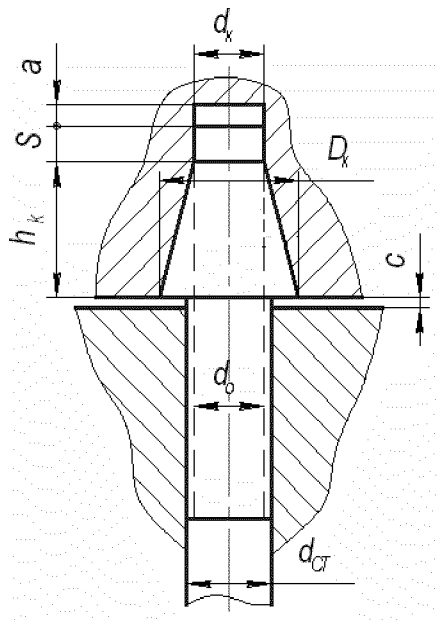


Рисунок 1 – Схема першого переходу висаджування стержньових виробів з однобічним защемленням заготовки

Під час прогнозування параметрів повздовжньої сталості заготовок необхідно враховувати нелінійний характер зміцнення матеріалу в ході деформування [2], умови фіксації кінців заготовки, її розміри тощо.

Попереднє висаджування може виконуватися за двома основними схемами: з однобічним (див. рис. 1) та двобічним (рис. 2) защемленням заготовки.

Перший випадок характерний для співвідношення $h_k/d_0 \leq 2,5$. В цьому випадку критичне зусилля вигину деформованої частини заготовки можна визначити шляхом розв'язання диференційного рівняння повздовжнього вигину

$$E'J \left(\frac{d^4 v}{dx^4} \right) + P_{кр} \left(\frac{d^2 v}{dx^2} \right) = 0,$$

де E – дотичний модуль пружності матеріалу заготовки;

J – осьовий момент інерції матеріалу заготовки;

v – функція можливого вигину матеріалу при висаджуванні.

В процесі моніторингу сталості проміжних переходів висаджування деталей сівалок СЗ-10,8 було з'ясовано, що найбільш точним вирішенням рівняння (що має задовільну відповідність практично отриманим даним) є залежність виду

$$P_{кр} = \frac{4\pi^2 E'J}{\beta^2 l_0^2},$$

де β – коефіцієнт защемлення.

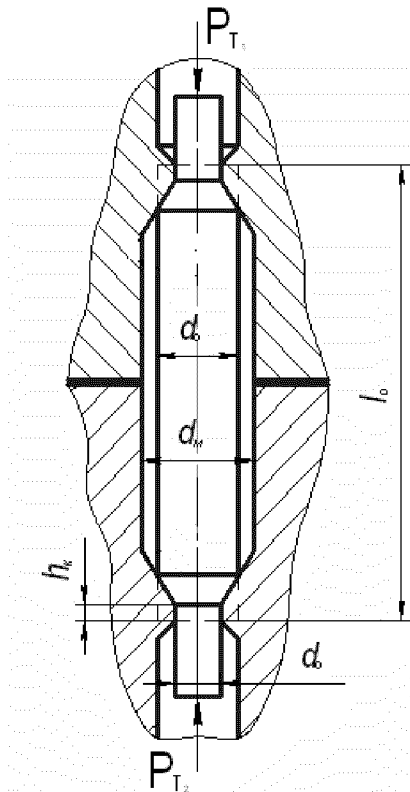


Рисунок 2 - Схема першого переходу висаджування стержньових виробів з двобічним защемленням заготовки

Далі необхідно визначити критичне напруження, при досягненні якого можна прогнозувати втрату повздовжньої сталості заготовки

$$\sigma_{kp} = \frac{4P_{kp}}{\pi d_0^2}$$

Звідси граничне значення коефіцієнту висаджування для циліндричної заготовки можна визначити

$$[k_{cp}] = \frac{\pi}{4\beta} \sqrt{E' \sigma_{kp}}$$

Сталість проміжного набору можна гарантувати, якщо проектоване значення коефіцієнту висаджування не буде перевищувати своїх граничних значень.

Щодо схеми із двобічним защемленням (див. рис. 2), то для неї степінь повздовжньої деформації заготовки

$$\varepsilon_i = \ln\left(\frac{l_0}{l}\right)$$

Тому в умовах зміцнення деформованого матеріалу в остаточний момент попереднього висаджування модуль пружності матеріалу досягне своїх максимальних значень

$$E'_{\max} = \frac{\sigma_s}{\ln\left(\frac{l_0}{l}\right)}$$

Аналітична залежність степені повздовжньої деформації заготовки від геометричних параметрів процесу висаджування, як відомо, має наступний вигляд

$$\varepsilon_i^{\max} = \ln\left[\frac{2ktg\alpha}{\left(\sqrt[3]{1+6ktg\alpha}\right)-1}\right]$$

Таким чином, можна зробити висновок, що в розрахунках слід приймати допущення щодо постійності значення модулю пружності матеріалу заготовки. Моніторинг отриманих залежностей свідчить про те, що вони не враховують умови тертя в процесі холодного висаджування. Це призведе до появи відповідних похибок (попередньо їх рівень прогнозували в межах 10...15%). Втім, у подальшому було встановлено, що введення вищезазначених факторів у дослідження значно ускладнить підготовку та проведення експериментів, збільшить їх працемісткість, тому надалі вони не враховувались, тим більше в умовах відносно невеликих значень конусності головки виробу (до 12°). Подібне спрощення нами прийняте також і для висоти затиснутих частин заготовки. Значення істинного опору металу деформації приймали за вирішенням аналітичної залежності

$$\sigma_s = \sigma_i - C \exp(-\varepsilon) - C_1 \exp(N\varepsilon),$$

$$\text{де } \varepsilon = 2 \ln\left(\frac{d}{d_0}\right) \text{ (див. рис. 1,2).$$

Емпіричні залежності, що увійшли до формули, були визначені за даними [2]. Внаслідок моніторингу прогнозування сталості процесу висаджування по схемі рис. 3 для розрахунку розмірів проміжного набору та подальшої технічної діагностики сталості процесу холодного об'ємного штампування необхідно попередньо вибрати діаметр вихідної заготовки. Для цього найбільше підходить залежність виду

$$\frac{d}{d_0} = \frac{1}{\sqrt[3]{1+6ktg\alpha}},$$

використовуючи яку, можна встановити всі необхідні для проектування оптимального варіанту технологічного процесу вихідні дані щодо заготовки;

Якщо під час фахового супроводження ставиться задача встановлення граничної степені деформації деформованого матеріалу з умови найповнішого заповнення конічної порожнини у пуансоні, то це можна зробити, використовуючи вже згадану раніше залежність

$$\varepsilon_i^{\max} = \ln \left[\frac{2ktg\alpha}{\left(\sqrt[3]{1+6ktg\alpha}\right)-1} \right].$$

При цьому довжину конічної частини заготовки доцільно обчислювати за формулою

$$l = \frac{l_0}{\lambda},$$

де

$$\lambda = \left[1 + \left(\frac{d}{d_0} \right) + \left(\frac{d}{d_0} \right)^2 \right] / 3$$

За результатами практичної перевірки отриманих залежностей в умовах метизного цеху ВАТ «Червона Зірка» була також встановлена і емпірична формула, за допомогою якої можливо визначати граничне значення коефіцієнту висаджування k_{np} та співвідношення d/d_0 в залежності від решти параметрів проміжного набору

$$\left[k_{np} \right] = 82,2435 E^{-3,0415} \varepsilon^{-0,0337},$$

де E – модуль пружності деформованого матеріалу, ГПа;

ε – степінь деформації у відносних одиницях.

Інша емпірична залежність пов'язує вихідні параметри проміжного набору від значення кута конусності порожнини у пуансоні

$$k = 0,00046\alpha^{5,6749} \left(\frac{d}{d_0} \right)^{-0,5135}.$$

Залежність дійсна, якщо кут конусності задається в градусах, причому він не повинен перевищувати 15° .

Отже, якщо передбачається багатопозиційне холодне висаджування виробів по схемі рис. 2, моніторинг сталості проміжного набору доцільно проводити так:

- визначитися із схемою процесу, що підлягає фаховому супроводженню (при цьому жорсткість елементів заготовки по довжині слід приймати постійною); якщо знехтувати значенням недоходу блока пуансонів до блоку матриць c (див. рис. 1), то можна вважати, що максимальний діаметр порожнини зрізаного конуса відповідає $l = 1$;

- виходячи із отриманого раніше рівняння, визначаються осьові моменти інерції.

Наприклад, для циліндричної дільниці заготовки

$$J_1 = \pi \frac{d_0^4}{64}.$$

Для конічної дільниці

$$J_2 = \frac{\pi(r_0 + x \operatorname{tg} \alpha)^4}{4},$$

де x – плинне відносне значення довжини заготовки від 0 до 1:

- встановлюється граничне значення k із урахуванням коефіцієнта закріплення заготовки у пуансоні та/або матриці v

$$[k] = 2,24 \frac{\sqrt{n}}{v},$$

де n – показник зміцнення (його можна приймати за даними довідкової літератури). В спеціальній літературі існує і інша залежність для визначення вищезазначеного параметру

$$[k] = \frac{1,3}{v} \sqrt{\frac{b}{(\sigma_{so} + 0,28)b}},$$

однак вона вимагає для свого використання інформації по додатковим показникам деформованого матеріалу, що можливо отримувати лише за даними спеціальних експериментів, які практично неможливо коректно підготувати та провести у заводських умовах. Результати розрахунків водночас практично однакові;

- далі необхідно, в залежності від виду проміжного набору, сталість якого прогнозується, встановити оптимальний вигляд залежності для обчислення коефіцієнту висаджування. Якщо висаджуваний матеріал не піддавався попередньому калібруванню або волочінню, то

$$[k] = \frac{\pi}{4v} \sqrt{n} \frac{1}{u^3 \sqrt[3]{(1-u^2)}} + \frac{1}{6 \operatorname{tg} \alpha} \cdot \frac{1-u^3}{u^3}.$$

Якщо конічні порожнини передбачаються і в матриці і в пуансоні, то

$$[k] = \frac{\pi}{4v} \sqrt{n} \frac{1}{u^3 \sqrt[3]{(1-u^2)}} + \frac{1}{3 \operatorname{tg} \alpha} \cdot \frac{1-u^3}{u^3}.$$

В цих формулах

$$u = \frac{d_0}{D}.$$

Якщо вихідний діаметр заготовки відомий, то зазначений параметр неважко знайти із вирішення трансцендентних рівнянь

$$\frac{\pi}{4v} \sqrt{n} \frac{3-4v^2}{(1-v^2)^{1,5}} + \frac{1}{2 \operatorname{tg} \alpha} = 0$$

або відповідно

$$\frac{\pi}{4v} \sqrt{n} \frac{3-4v^2}{(1-v^2)^{1,5}} + \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} = 0;$$

- у випадку, коли проміжний набір виконується послідовно двічі, слід попередньо задатися кутом конусності, а далі встановити граничне значення коефіцієнту висаджування на обох переходах

$$[k] = [k_1] + [k_2].$$

Було встановлено, що краще параметр k_1 розраховувати, а k_2 – приймати як (див. рис. 1)

$$k_2 = \frac{s+a}{d_0}$$

Подальше встановлення граничного значення коефіцієнту висаджування вже не являє собою складнощів

$$[k_1] = u + 2u^2 \operatorname{tg} \alpha + \frac{4}{3} u^2 \operatorname{tg}^2 \alpha$$

Далі було поставлене завдання практичної перевірки розробленої методики прогнозування. Моніторингові дослідження точності висаджуваних виробів по номенклатурі метизного цеху ВАТ «Червона Зірка» (м. Кіровоград) проводилися стосовно таких параметрів висаджуваних стержньових виробів як розбіжність по довжині стержня (див. рис.3, графік 1), розбіжність по висоті отримуваних головок (зона 2, рис.3) та розбіжність по діаметру головок (графік 3 на рис. 3).

Була виконана математична перевірка добротності отриманих емпіричних залежностей. З цією метою було вирішено застосувати програмну надбудову **Пакет аналізу** до програмного редактора Microsoft Excel [3].

Аналізуючи отримані результати (див. рис. 3), можна зробити наступні висновки:

- всі графіки надають достатньо високу кореляцію вихідних даних досліджень: коефіцієнти регресії практично наближаються до 1, що свідчить про чіткий та усталений взаємозв'язок параметрів фахового супроводження точності висаджуваних виробів;

- як видно із графіків нормального розподілу, у жодному із випадків (для параметру «висота головки» було проведено кореляційний аналіз пересічних значень вихідних даних) отримані результати не виходять за межу критичних значень (сіре поле на графіку), отже надалі можна керуватися принципом нормального розподілу і під час аналізу якості інших параметрів висаджуваних виробів;

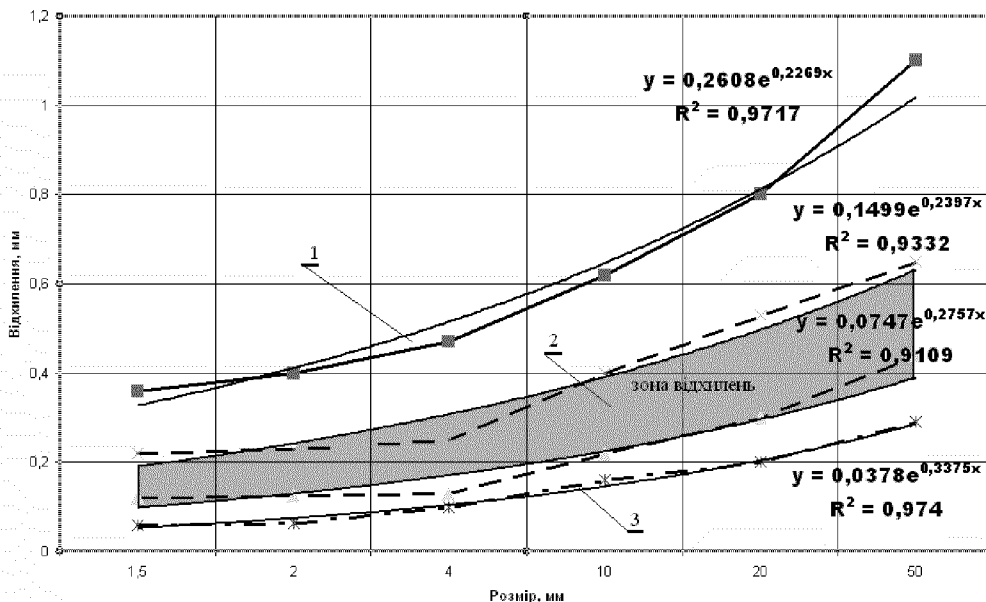


Рисунок 3 – Емпіричні залежності точності виробів після багатопозиційного висаджування від діаметру головки виробу

- порядок підрахованих решток (відхилень від кореляційного зв'язку між досліджуваними параметрами) настільки несуттєвий, що значеннями решток можна практично у подальшому нехтувати, що значно спрощує завдання кореляційного аналізу процесів багатопозиційного холодного висаджування;

Список літератури

1. Смирнов-Аляев Г.А., Чикидовский В.Н. Экспериментальные исследования в обработке металлов давлением. – Л.: Машиностроение, 1972. – 360с.
2. Третьяков А.В., Зюзин В.И. Механические свойства металлов и сплавов при обработке металлов давлением. – М.: Металлургия, 1973. – 221с.
3. Симонович С.В., Евсеев Г.А., Алексеев А.Г. Специальная информатика. – М.: АСТ-Пресс; Инфорком-Пресс, 1998. – 480с.

В. Кришкин, Д. Москаленко

Инженерный мониторинг точности процессов многопозиционной холодной объёмной штамповки

В статье представлены результаты экспериментальных исследований точности изделий, полученных методом многопозиционной холодной высадки. Проведено аналитическое прогнозирование параметров точности деталей с использованием надстроек программного редактора Microsoft Excel XP. Предложено практическое внедрение полученных зависимостей во время разработки и профильного сопровождения процессов холодной высадки изделий сложной конфигурации

В. Krishkin, D. Moskalenko

Engineering monitoring of exactness of processes of the multiposition cold by a volume stamping

The results of experimental researches of exactness of wares, got the metal of multiposition cold upsetting are presented in the article. Analytical prognostication of parameters of exactness of details is conducted with application of programmatic editor Microsoft Excel XP building up. Practical introduction of the got dependences is offered during development and type accompaniment of processes cold upsetting wares of the complicated configuration.

Одержано 04.12.09