

В. Драгобецький

Професор, д-р техн. наук

А. Бєлкіна

Аспірантка

Е. Клімов

Інженер

О. Марцинюк

Аспірантка

Кременчуцький державний
політехнічний університет імені
Михайла Остроградського,
м. Кременчук

УДК 621.96.001

СПАДКОВА РОЛЬ ПРУЖНОЇ ДИНАМІКИ ЗАГОТОВКИ ПЕРЕД ПРОБИВКОЮ-ВИРУБКОЮ

Розглядається реальна схема пружної динаміки заготовки з жорстко закріпленим контуром при пружно-пластичному деформуванні. Кількісно відображена спадкова роль пружної динаміки деформування при пружно-пластичному процесі розділення матеріалу, а також розглянута організація динамічного впливу при пробиванні-вирубванні в умовах статичного навантаження і розроблена конструкція пуансона, що створює ударний імпульс, передуючий основному навантаженню.

хвиля збурювання, динамічна спадковість, пробивка-вирубка, керн

Комплексне вдосконалення розділювальних процесів, штампів для пробивання-вирубання і обладнання є надзвичайно актуальною задачею і обіцяє значні економічні вигоди. Її розв'язання дасть можливість повніше використовувати резерви підвищення ефективності заготівельного виробництва, скоротити кількість штампів-дублерів і знизити собівартість штампованих виробів. Крім цього, варто підкреслити, що понад 90 % штампованих деталей отримують саме пробивкою-вирубкою з листової заготовки.

Перспективними завданнями вдосконалення і підвищення ефективності процесів пробивки-вирубки, в першу чергу, є [1 — 4]: підвищення стійкості штампів; розроблення й дослідження нових ефективних схем і способів активного керування пластичним формоутворенням поверхні розділу; підвищення якості поверхні зрізу, зниження відходів металу і розширення діапазону товщини листового металу.

У напрямі підвищення стійкості різальних частин штампів ведуться роботи в області теорії зносу, розв'язання прикладних задач зі створення нових інструментальних сталей і методів зміцнення, застосування зносостійких покриттів і ефективного мащення, підвищення

пластичності матеріалу заготовки й активізації процесу формування поверхні розділу на етапі руйнування.

Великий інтерес представляють роботи з підвищення пластичності матеріалу заготовки шляхом застосування спеціальної термічної обробки або здійснення процесу пробивки-вирубки з нагріванням заготовки. Встановлено [5], що при пробивці-вирубці ефективним є нагрівання до температури синьоламкості (+300 °С). Однак застосування нагріву ускладнює процес. Ефективніше для цього використовувати в процесі підвищену швидкість деформування. Застосування більш високих швидкостей деформування (понад 40 м/с) сприятливо впливає на процес пробивки-вирубки. Інерційні сили, локалізація зони пластичної деформації і хвильові процеси позитивно впливають на деформацію і руйнування матеріалу заготовки. Однак випуск обладнання, що реалізує підвищену швидкість деформування, обмежений. Тому досить привабливо здійснити високошвидкісне деформування і розігрів заготовки на традиційному обладнанні (кривошипні, гідравлічні преси) без додаткового підводу енергії і без внесення змін до конструкції преса.

Мета статті — з'ясування спадкової ролі пружної динаміки заготовки перед пробивкою-вирубкою, яка

виникає при вдарянні заготовки і робочої поверхні пуансона, розробити конструкцію пуансона, що створює ударний імпульс, передуючий основному навантаженню.

Матеріал та результати дослідження. При гідровибуховій штамповці до початку руху водяної маси або гідропотоку (основного формоутворюючого фактора) протягом малого проміжку часу на заготовку діє імпульс ударних хвиль. Цей імпульс викликає у заготовці пружну деформацію, що впливає на подальше навантаження. Виникає прогин заготовки з утворенням концентричної складки. В залежності від параметрів навантаження, складка або переміщується від центра до периферії, або утворюється «хлопун», що нагадує втрату стійкості при сферичній оболонці за симетричного зовнішнього навантаження. Крім цього, на поверхні деформованої заготовки з'являються кольори мінливості. Це свідчить про розігрів заготовки. Отже, при певних параметрах навантаження виникає локальний вигин заготовки, спрямований протилежно пружному, і нагрів. Ці фактори позитивно впливають на процес поділу матеріалу.

В умовах статичного навантаження динамічний вплив при пробивці-вирубці можна організувати так: на керні пробивного круглого пуансона з круглим пояском (ГОСТ 16624-70) потрібно виконати проточку (рис. 1).

Параметри керна (висота h і кут конусності β) підбираються так, щоб зусилля, що виникають при проникненні керна, викликали пружний вигин заготовки. Керн надає плоскій заготовці певну кривину і пробиває її.

При пробиванні заготовки настає розвантаження її матеріалу, що приводить до випрямлення конуса. При випрямленні заготовки під час розвантаження відбувається удар останньої в торцеву поверхню пуансона, що рухається в зустрічному напрямі. Виникає косий удар пуансона з заготовкою. В результаті цього відбувається комплекс складних явищ: значні контактні напруження, що призводять до зміни форми деформованої частини заготовки, втрати стійкості, зміцнення і знеміцнення матеріалу, перерозподілу напружень і повторного пружинення. При повторному ударі на круглу заготовку радіуса r , густини ρ і товщини δ з жорстким закладенням

по контуру діє поточний імпульс $P = qr \left(\Delta\tau - \frac{r}{c} \right)$, де q —

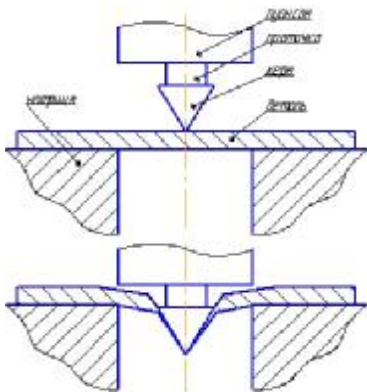


Рис. 1. Керн пуансона вигинає і пробиває заготовку

питоме навантаження; $\Delta\tau$ — час дії; c — швидкість імпульсу.

Заготовка відскакує від пуансона. Ударний імпульс починає повторно вигинати заготовку і надає їй певну кількість руху I_1 та частоту ω :

$$\omega = 2gqr \frac{\left(\Delta\tau - \frac{r}{c} \right)}{\gamma r \delta}, \quad (1)$$

де g — пришвидження сили тяжіння.

Повторне розвантаження діє з тією ж частотою ω , що прагне спрямити кривину (I_{20} протилежне за знаком I_{10}). Оскільки інерційний опір заготовки при розвантажуванні більший, ніж при навантажуванні ($I_2 > I_1$), в процесі навантажування-розвантажування з'являється надлишкова кількість руху

$$\Delta I \omega = \frac{\pi}{6} q x_1 \left(\Delta\tau - \frac{x_1}{c} \right) r^3, \quad (2)$$

де x_1 — поточне значення радіуса заготовки.

Останнє зрівноважується імпульсом моменту $\Delta M \Delta t$, який виникає на межі закріплення заготовки і діє на частину заготовки, яку вирубують-пробивають, як навантажувальний імпульс. Останній викликає в матеріалі заготовки хвилю збурення, яка втілюється в концентричну рухому складку (рис. 2) шириною $2\Delta r$.

За допущення про сталість кривини заготовки (в межах пружного випучування) залежність для моменту має такий вигляд [2]:

$$M = 0,135 \pi E r^2 R \left(\frac{\delta}{R} \right)^{\frac{5}{2}}, \quad (3)$$

де E — модуль пружності; R — радіус кривини деформованої заготовки.

Оскільки момент кількості руху системи дорівнює імпульсу моменту, з (2), (3) визначаємо

$$R = 0,87 \left(\frac{E}{q} \right)^{\frac{2}{3}} \delta^{\frac{5}{3}} r^2 \left(\Delta\tau - \frac{x_1}{c} \right)^{\frac{3}{2}}. \quad (4)$$

Початкова кутова швидкість рухомої складки і її момент інерції відповідно дорівнюють:

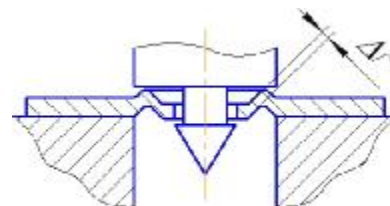


Рис. 2. Схема утворення концентричної рухомої складки

$$\omega_o = \frac{r}{R} \Delta\tau, \quad (5)$$

$$I_c = 2\pi\delta\rho\Delta r^3 \left(\frac{1}{3}r \pm \frac{1}{4}\Delta r \right). \quad (6)$$

Залежності (3) — (6) дають можливість розрахувати початкову амплітуду рухомої концентричної хвилі Δr . Для заготовок з відносною товщиною $\frac{d}{r} \approx 100 \div 200$, Δr — дуже мале, порядку δ . Імпульсне збурення $M\Delta t$ з частотою ω_o практично на заготовку не передається і не впливає на зусилля пробивання-вирубання. Однак наявність складки висотою $(0,2 \dots 0,3)\delta$ сприяє підвищенню якості зрізу і, крім цього, заусенець при пробиванні-вирубванні не утворюється. У цьому випадку різання відбувається як і при реверсивному пробиванні, але потреба у високо-вартісних пресах потрійної дії відпадає.

Зниження деформуючого зусилля можна досягнути, якщо врахувати, що до моменту збурювання заготовка сприймає імпульс від пуансона, що рухається в зустрічному напрямі. В результаті цього заготовка отримує початкову швидкість вертикального переміщення v_o з моментом імпульсу, рівним

$$\frac{2}{3}\pi\delta\rho\Delta r^3 r v_o (r - x_1)^{-1}, \quad (7)$$

де x_1 — поточне значення радіуса заготовки, яке змінюється від 0 до $r - \Delta r$.

З урахуванням (3), (4) отримуємо значення амплітуди хвилі залежно від координати:

$$\Delta r = 1,03 \left\{ \frac{q}{\rho} \left(\frac{r}{\delta} \right)^{\frac{1}{3}} \frac{r - x_1}{v_o} \Delta\tau \right\}^{\frac{1}{3}}. \quad (8)$$

Відомо [2], що потенціальна енергія Wn складки складає енергію вигину ребра і, з урахуванням (4), її величина

$$Wn = 5,1(qr)^{\frac{1}{3}} E^{\frac{3}{2}} \delta^{\frac{3}{5}} x_1^{\frac{3}{5}}. \quad (9)$$

Кінетична енергія хвилі

$$Wk = 0,72\pi q v_o \Delta\tau x_1^3 (r - x_1)^{-1}. \quad (10)$$

Розглянувши вираз для потоку енергії (швидкість розповсюдження якого дорівнює $v_o x_1/R$), за законом Фур'є можна отримати локальну зміну температури заготовки за її радіусом:

$$t = 2,88 v_o (q x_1)^{\frac{7}{3}} r^{\frac{4}{3}} \lambda^{-1} B^{-1} E^{\frac{3}{4}} \delta^{\frac{3}{10}} (r^4 - x_1^4) + 0,414 v_o^2 \Delta\tau \lambda^{-1} B^{-1} E^{\frac{3}{2}} (q x_1)^{\frac{5}{3}} \left(\frac{r}{\delta} \right)^{\frac{5}{3}} \times$$

$$\times \left\{ r^2 \left[\frac{(r - x_1)}{\Delta r} - \ln \left[\frac{\Delta r}{r \left(1 - \frac{x_1}{r} \right)} \right] - x_1 (r + 0,5r) \right] \right\}, \quad (11)$$

де B — механічний еквівалент теплоти; λ — коефіцієнт теплопровідності матеріалу заготовки. Розрахунок за цією залежністю показав, що заготовка зі сталі товщиною $3 \cdot 10^{-3}$ м, діаметром 0,1 м розігрівається до температури $\sim 560^\circ$.

Таким чином, короткочасний імпульс, що викликає втрату стійкості заготовки, чинить істотний вплив на процес пробивання-вирубання.

Прирівнюючи критичне стискаюче напруження для круглої пластини із затисненим краєм [3] зі стискаючим напруженням від вигину ребра [2], знаходимо критичний радіус втрати стійкості середньої частини заготовки:

$$r_k = \left(\frac{13,56}{1 - v^2} \right)^{\frac{2}{5}} R^{\frac{2}{5}} \delta^{\frac{3}{5}}, \quad (12)$$

де v — коефіцієнт Пуансона.

При $x_1 = r_k$ виникає характерний «прохлоп» і в цьому місці вся кінетична й потенціальна енергії хвилі виділяються в ребрі з радіусом r_k . По радіусу r_k утвориться зона пластичної деформації з локальною втратою стійкості (утворення «шийки») і сильним місцевим розігрівом. Наближаючи r_k до кромки матриці при пробиванні-вирубванні, отримуємо блискучий поясок і трикратне — чотирикратне зниження деформуючого зусилля.

Висновки. У заготовці ударний імпульс (хвиля збурювання), що передує основному деформуючому зусиллю, вкладає у процес пробивки-вирубки динамічну спадковість, що забезпечує поділ матеріалу в пластичному нагрітому стані. При цьому досягається зниження зусилля пробивання-вирубання в 3 — 4 рази, виключається утворення заусенця й утворюється блискучий поясок.

Література

1. Погорелов А.В. Геометрические методы нелинейной теории упругих оболочек. — М.: Наука, 1967. — 280 с.
2. Тимошенко С.П. Устойчивость упругих систем. — М.: Госполитиздат, 1955. — 368 с.

Отримана 25.03.09

V. Dragobetskij, A. Belkina, E. Klimov, O. Martsunuk

Congenital role of before piercing chipping

Kremenchuk State Polytechnic University named after M. Ostrogradsky, Kremenchuk

The real circuit of resilient dynamics of billet with rigid contour in process of plasto-elastic deformation is considered in this article. Congenital role of resilient dynamics of deformation in elastoplastic material decompression process is imaged in the given work. Organization of dynamic influence in piercing chipping process in conditions of static load was also considered. Engineering of die construction was conducted. As a result construction of die which makes collision momentum before basic load was received.