

ПОБУДОВА КОНТУРУ ЗАГОТОВКИ КОРОБЧАСТОЇ ДЕТАЛІ МЕТОДОМ ПОТЕНЦІАЛУ

Стеблюк В.И., Холявік О.В. (НТУУ „КПІ”, г.Київ)

Викладено метод розрахунку розмірів та визначення форми заготовки для витягування деталей коробчастої форми. З цією метою розглядається гідродинамічна модель “оберненого” витягування, для якої визначається потенціал поля швидкостей та визначаються еквіпотенціальні лінії, що визначають форму заготовки.

Деталі коробчастої форми із листового металу різних розмірів широко використовуються у машино- та приладобудуванні, зокрема при виробництві контрольновимірюючих дозиметричних приладів і апаратури. Виготовлення такого виду виробів витягуванням забезпечує міцність і жорсткість, герметичність та екрануючу здатність проти електромагнітного та радіаційного випромінювання, при невисокій собівартості, обумовленій високою продуктивністю штампування.

На відміну від витягування вісесиметричних виробів витягування деталі коробчастої форми до останнього часу вивчені недостатньо. Зокрема, залишається відкритим питання про раціональну форму заготовки та форми проміжних переходів при багатоопераційному витягуванні, що забезпечують ефективне використання матеріалу та мінімальну кількість операцій, тобто визначають ресурсозберігаючі складові технологічного процесу.

Загальної методики побудови раціональної заготовки для виробів складної форми до нашого часу не існує, якщо не рахувати способу пробного витягування з послідувачим корегуванням. Рекомендації, що надаються у літературі [1, 2], по побудові конфігурації заготовок для виробів, які не являються тілами обертання, ґрунтуються на експериментальних дослідженнях та виробничій практиці.

Розміри і форму заготовок, побудованих за вказаними рекомендаціями [1, 2, 3, 4] доводиться корегувати в процесі відлагодження технологічного процесу, що призводить до збільшення термінів підготовки виробництва при освоєнні нових виробів. Тому з метою скорочення витрат металу, зменшення кількості переходів та прискорення підготовки виробництва, слід застосовувати заготовки оптимальної форми і розмірів.

Нами запропонований [6] більш простий метод побудови оптимальної форми і розмірів заготовки для витягування деталей типу квадратних і прямокутних коробок з використанням теорії потенціалу швидкостей плоского поля швидкості течії ідеальної рідини. Метод базується на наступних

припущеннях, справедливості яких підтверджено експериментами і виробничою практикою.

1. Поле швидкостей переміщень металу в пластичній зоні є потенціальним, оскільки в ньому не спостерігається поворотів одних елементів відносно інших, що їх оточують, а також відсутні витоки і стоки поля швидкостей.

2. На контурі матриці швидкість переміщення направлена по нормалі до контуру, а її модуль дорівнює швидкості Пуансона.

3. Метал в зоні однорідного напруженого стану, що прилягає до прямолінійних ділянок, переміщується з постійною швидкістю по нормалі до контуру як жорстке тіло (рис.1.б.).

4. На границі жорсткої зони і пластичної зони (лінія а-а рис.1.б.) нормальна до лінії розриву швидкостей деформацій компонента швидкості є безперервна. Розрив має тільки дотична компонента. (п. 2.,3.,4., що повністю узгоджується з властивостями поля характеристик – ліній ковзання).

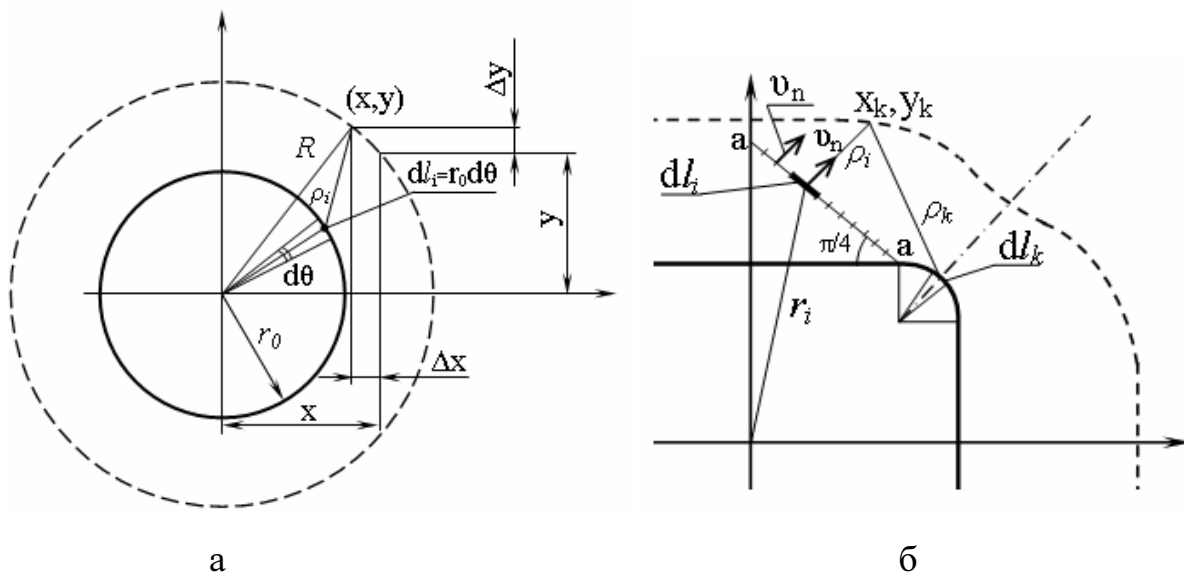


Рисунок 1 – До визначення потенціалу $\Phi(x, y)$

З метою перевірки можливості використання методів теорії потенціалу до розрахунку розмірів і форми заготовки і переходів при витягуванні коробчастих в плані деталей розглянуто задачу моделювання “зворотного” витягування деталі із ізотропного ідеально-пластичного матеріалу.

Контур матриці розділений на елементарні ділянки довжиною $dl_i = r_0 d\theta_i$. Кожну таку ділянку можна розглядати як виток рідини (або пластичної чи в’язкої маси) з розходом $q_i = dl_i v_r = r_0 v_r d\theta_i$, що створює потенціал в точці з координатами x, y в тій частини поверхні, що знаходиться за межами контуру матриці, який визначається за формулою (рис.1.а):

$$\Phi(x, y) = \frac{q_i}{4\pi} \cdot \ln|\rho_i| = \frac{V_r \cdot r_0}{4\pi} \cdot d\theta_i \ln|\rho_i|, \quad (1)$$

де $|\rho_i|$ - відстань від точки з координатами x, y і серединою елементарного відрізка $d\theta_i$ (рис.1.).

Розбивши контур матриці на елементарні ділянки, обмежені однаковим кутом $d\theta$ знаходять потенціал $\Phi(x, y)$ від розподілених по контуру витоків, як суму потенціалів від елементарних точкових витоків:

$$\rho_i = \left\{ \left[x - r_0 \cos\left(\theta + \frac{1}{2}d\theta_i\right) \right]^2 + \left[y - r_0 \sin\left(\theta + \frac{1}{2}d\theta_i\right) \right]^2 \right\} \quad (2)$$

де ρ_i - відстань від точки з координатами x, y і серединою елементарного відрізка $d\theta_i$.

$$\Phi(x, y) = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{4\pi} \cdot \ln|\rho_i| = \sum_{i=1}^n \frac{V_r \cdot r_0}{4\pi} \cdot d\theta_i \ln|\rho_i|, \quad (3)$$

З урахуванням (2) останню формулу запишемо у вигляді:

$$\Phi(x, y) = \frac{V_r \rho_0}{8\pi} \sum_{i=1}^n \ln \left\{ \left[x - \left[r_0 \cos\left(\theta_0 + \left(\frac{1}{2} + i\right)d\theta\right) \right] \right]^2 + \left[y - \left[r_0 \sin\left(\theta_0 + \left(\frac{1}{2} + i\right)d\theta\right) \right] \right]^2 \right\} \quad (4)$$

($i = 0, 1, \dots, n$)

Таким чином сума підраховується для всіх елементів, які утворюють замкнутий контур.

Для того щоб визначити на скільки точно даний метод дозволяє визначити потенціал в точці з координатами x, y порівняємо значення потенціалу розрахованого по формулі (3) із значенням потенціалу від точкового витoku, зосередженого в центрі кола (рис.1.a.), що обмежує контур матриці, і розраховується за точною формулою:

$$\Phi(x, y) = \Phi(R) = \frac{V_{rm} r_0}{2\pi} \ln|R| \quad (5)$$

Метод можна вважати з достатньою точністю ($\varepsilon < 0,001$) справедливим, якщо вказані формули дадуть однаковий результат розрахунку.

Визначити потенціал розподілених по контуру отвору матриці радіуса r_0 витоків потужністю $v_r d\theta$ в формулах (1, 2) можна замінивши суму інтегралом по вказаному контуру шляхом граничного переходу:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{r_0 V_0}{2\pi} d\theta \sum_{i=0}^{n-1} \ln \left\{ (x - r_0 \cos[(\varphi_2 + i)d\varphi])^2 + \left(y - r_0 \sin \left[\left(\frac{1}{2} + i \right) d\varphi \right] \right)^2 \right\} =$$
$$= \frac{r_0 V_0}{2\pi} \int_0^{2\pi} \ln \left\{ (x - r_0 \cos \theta_i)^2 + (y - r_0 \sin \theta_i)^2 \right\} d\theta_i = \frac{r_0 V_0}{2\pi} \int_0^{2\pi} \ln (R^2 - r_0^2 - 2Rr_0 \sin \theta_i) d\theta_i \quad (6)$$

Не важко зрозуміти, що вираз під знаком інтеграла не що інше, як відстань ρ_i між елементом контуру і точкою, в якій знаходимо потенціал.

Обчислення визначеного інтегралу доводиться виконувати чисельним методом, тому формула (6) не має якихось переваг перед формулою (3) і надалі ми будемо користуватись останньою. Для знаходження потенціалу в довільній точці з координатами x, y (або на відстані R від центра кола) скористаємось формулою (3).

Так як задача вісесиметрична, то досить задати одну точку (або радіус R), щоб знайти лінію рівного потенціалу, що є колом радіуса R . Розрахунки за формулами (4) і (5) практично співпадають і метод можна застосовувати для визначення потенціалу для витоків, розподілених по довільному контуру.

Але при відсутності осьової симетрії необхідно побудувати еквіпотенціальну лінію по значенню потенціалу, знайденого в одній довільній точці. Рівнянням еквіпотенціальної лінії буде:

$$\Phi(x, y) = C_K \quad (7)$$

де C_K - значення потенціалу в деякій точці з координатами x_K, y_K :

$$C_K = \Phi(x_K, y_K) \quad (8)$$

Якщо нам потрібно знайти по значенню потенціалу в точці x_K, y_K іншу точку, що лежить на лінії рівного потенціалу і має координати x_1, y_1 , то для цього задаємось деяким значенням Δx , знаходимо $x_1 = x_K + \Delta x$ і підставляємо його в рівняння (4), після чого знаходимо розв'язки його відносно y_1 .

Таким чином, повторюючи цей прийом, для нового значення знаходять точку x_2, y_2 , що лежить на еквіпотенціальній лінії, після чого будують сімейство еквіпотенціальних ліній, які і будуть являтися контуром заготовки коробчастої деталі, яку шукають.

Література

1. Романовский В.П., *Справочник по холодной штамповке*, - Л: Машиностроение, 1979.
2. Вайнтрауб Д.А., *Технологические расчеты при вытяжке высоких прямоугольных деталей*. - Л: Ленинградский дом научно-технической пропаганды, 1969.

3. Скворцов Г.Д., Основы конструирования штампов для холодной листовой штамповки. – М: Машиностроение, 1964.
4. Руководящий технический материал. РТМ 34-65. Штампы для холодной листовой штамповки. Расчеты и конструирование,- М: ВНИИНМАШ, Издательство стандартов, 1966.
5. Стеблюк В.І, Холявік О.В., Азарх І.П., “Розвиток аналітичних методів розрахунку розмірів та форми заготовок і переходів при витягуванні коробчастих виробів із листового металу”, Вестник Национального технического университета Украины „Киевский политехнический институт” Вып. 50, 2007 г.
6. Стеблюк В.І, Холявік О.В., “Математична модель процесу витягування порожнистих виробів коробчастої форми”, Вестник Национального технического университета Украины „Киевский политехнический институт” Вып. 46, 2005 г.

© Стеблюк В.І., Холявік О.В. 2008