

У результаті досліджень встановлено, що економія металу на одній гільзі становить приблизно 30 кг. Нова технологія впроваджується у виробництво для всіх розмірів труб.

Ключові слова: труба, стан, пілігрімова прокатка, інструмент, дорн, пілігрімова голівка.

The methods of weight reduction pilgrim heads rolling thick- and thin-walled tubes. Industrial research carried out by rolling pipe size 245 × 10 mm using a special arbor rings providing dokatku pilgergolovki without the cylindrical portion at the rear end of the sleeve.

The studies revealed that the savings on a metal sleeve is approximately 30 kg. New technology is being introduced into production for all pipe sizes.

Keywords: pipe mill, pilgrim rolling, tool mandrel, pilgrim head.

УДК 621.983

В. І. СТЕБЛЮК, докт., техн. наук, проф., НТУУ «КПІ», Київ;

О. В. ХОЛЯВІК, канд., техн. наук, ас., НТУУ «КПІ», Київ.

РОЗРОБКА АНАЛІТИЧНОГО МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ РОЗМІРІВ І ФОРМИ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ВИТЯГУВАННЯ КОРОБЧАСТИХ ВИРОБІВ

В статті наведено аналітичний метод для визначення розмірів і форми заготовок при витягуванні коробчастих виробів з використанням методу потенціалу. Проведені експериментальні та теоретичні дослідження підтвердили можливість розвитку методів визначення розмірів і форми заготовок при витягуванні коробчастих виробів за рахунок використання методу потенціалу; показали задовільну кореляцію між собою результатів, отриманих експериментально та розрахованих за допомогою програмних засобів, розроблених на основі відповідних математичних моделей процесів.

Ключові слова: витягування, коробчасті вироби, моделювання, «зворотне» витягування, «обернений» процес, метод потенціалів, оптимальна форма заготовки, розрахунок заготовки, проміжні переходи.

Вступ. До сьогодні не існувало єдиного загального методу визначення розмірів і форми заготовки для витягування деталей коробчастої форми. Але у довідковій літературі наведено велику кількість рекомендацій різних авторів, що базуються на різноманітних припущеннях для різних співвідношень параметрів коробчастих деталей [1-4]. До того ж алгоритм розрахунку та побудови заготовок відрізняється не лише у різних авторів, але і в межах рекомендацій одного автора в залежності від відносних розмірів деталей (рис. 1.).



$$m_{об} = \frac{4B}{\pi D} \quad m_{об} = \frac{2(A+B)}{\pi D} \quad m_{об} = \frac{2(A+B)}{0,5\pi(L+K)} \cdot \frac{S}{D} \cdot 100 \quad \frac{S}{(L+K)} \cdot 200 \quad m_{cp} = \frac{B-0,43r}{0,5\pi R_{b_{n-1}}}$$

$$R_{b_{n-1}} = \frac{B-0,43r}{1,57m_{cp}} \quad b_n = R_{b_{n-1}} - 0,5B = \frac{\left(1 - 0,785m_{cp} - 0,43 \frac{r}{B}\right) B}{1,57m_{cp}} \cdot \frac{S}{B} \cdot 100 \geq 2 \quad B \leq 50S$$

Рис. 1 – Способи побудови переходів при багатоопераційному витягуванні квадратних коробчастих виробів по Романовському В.П. [1]

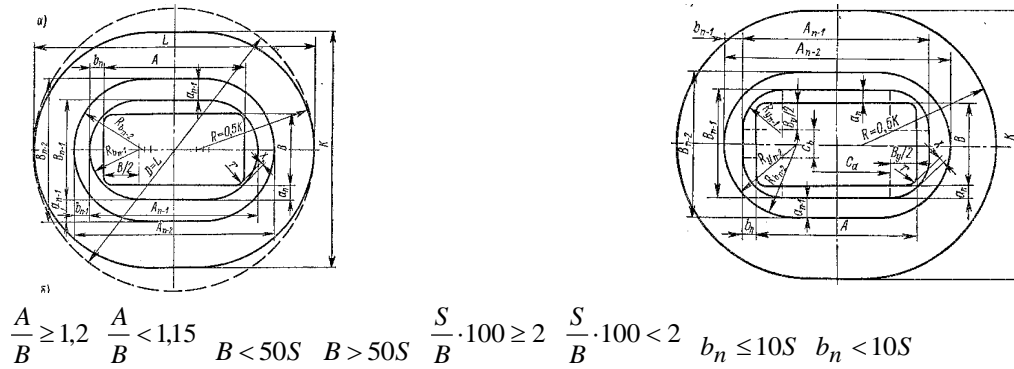


Рис. 2 – Способи побудови переходів при багатоопераційному витягуванні прямокутних коробчастих виробів по Романовському В.П. [1]

Навіть при дотриманні всіх рекомендацій наведених у довідковій літературі не можливо отримати раціональну форму заготовки (рис. 3.).



Рис. 3 – Утворення нерівного фланця при витягуванні прямокутних коробчастих деталей: а – [5], б – [1]

На практиці доводиться поетапно корегувати розміри і форму заготовки, а іноді і робочого інструменту, методом «проб і помилок», що потребує значних матеріально-технічних, а відповідно і економічних затрат, викликає зростання термінів підготовки виробництва, унеможливорює ефективне використання сучасних комп'ютерних методів проектування технології і оснащення виробництва деталей вказаного типу. Враховуючи, що потреба у деталях коробчастої форми (газові лічильники, корпуси приладів, що забезпечують непроникність при значному зовнішньому тиску і температурі, екрануючу здатність від електромагнітного випромінювання) була і залишається гострою, тому задача розробки більш досконалого методу розрахунку форми і розмірів заготовки для витягування коробчастих виробів є актуальною.

Як відомо, найбільш вивчений метод розрахунку розмірів заготовки і переходів для витягування циліндричних деталей із ізотропного матеріалу. Вихідний контур заготовки приймається еквідистантним контуру деталі (або контуру матриці), а її розмір визначається з умови рівності площ деталі та заготовки, тобто закон постійності об'єму замінюємо умовою сталості площ, через незначну зміну товщини заготовки в процесі деформації. З цього випливає, що вектор швидкості пластичної течії має радіальний напрямок, що еквівалентно тому, що пластична течія має потенціальний характер і поле

швидкості в точках кола радіуса r відповідає потенціалу швидкості від точкового витоку ідеальної нестисливої рідини:

$$\Pi = \frac{Q}{2\pi} \ln r \quad (1)$$

де Q – потужність (інтенсивність) витоку.

Еквіпотенціалами у цьому випадку, як відомо, є концентричні кола радіуса r . Потенціал поля і конфігурація потенціалів не зміняться, якщо інтенсивність точкового витоку замінити сумою рівномірно розподілених по замкнутому колу елементарних витоків:

$$Q = \sum \Delta q = \sum \Delta v_n = \sum r_0 \Delta Q v_n \quad (2)$$

Тому розрахунок розмірів та форми заготовки можна замінити визначенням потенціалу швидкості в деякій точці еквіпотенціалу з координатами (X_0, Y_0) , замінивши потужність витоку в центрі заготовки сумою елементарних витоків, розподілених на контурі матриці:

$$\Delta q = r_0 d\theta v_n = \Delta v_n, \quad (3)$$

Потенціал у цьому випадку визначається рівнянням:

$$\Pi(x_0, y_0) = \frac{v_n \cdot \Delta l}{2\pi} \sum_{j=1}^n \ln \rho_{jk} = C_0 \quad (4)$$

Визначивши постійну C_0 і розв'язавши відносно однієї з координат, наприклад, y , ми одержимо рівняння для побудови еквіпотенціалу, тобто контуру заготовки або його проміжного положення. Таким чином, методом потенціалу швидкості можна визначити форму і розміри заготовки для витягування вісесиметричних виробів.

Можливість витягування за один перехід визначається величиною коефіцієнту витягування:

$$m_0 = \frac{m}{D_3} = 1 - \varepsilon_{t \max} \quad (5)$$

Якщо допустимий коефіцієнт витягування для нових матеріалів нам невідомий, то можливість отримання деталі за один перехід або допоміжну кількість проміжних переходів можна визначити по допустимих розтягуючих напруженнях у небезпечному перерізі. Тобто, на цій стадії розробки технологічного процесу необхідно враховувати механічні властивості матеріалу і умови пластичності з диференціальних рівнянь рівноваги.

При витягуванні коробчастих виробів контур заготовки не є еквідістантним контуру деталі (або контуру матриці) і його конфігурація змінюється в процесі витягування.

Задача по визначенню координат точок зовнішнього контуру заготовки, які одночасно досягли б краю матриці, при витягуванні коробчастих деталей є досить складною. Виникає питання чи може метод потенціалу поля швидкості ідеальної нестисливої рідини бути застосований і у цьому випадку для визначення розмірів і форми заготовок коробчастих деталей.

Відомо, що модель течії в'язкої нестисливої рідини успішно застосовувалася при визначенні параметрів НДС при пластичній деформації твердого тіла. Можливість використання моделі течії нестисливої рідини при пластичній деформації твердого тіла пояснюється схожістю девіаторів напружень та девіаторів швидкостей деформацій. Чи може служити поле швидкостей течії ідеальної нестисливої рідини для моделювання пластичної деформації, в тому числі витягування невісесиметричних виробів. Відомі роботи Г.Я. Гуна, в яких отримано позитивні результати при моделюванні стаціонарних пластичних процесів (багатоопераційне витягування дроту складного поперечного перерізу, прокатування і пресування виробів із складною формою поперечних перерізів).

З теоретичної точки зору можливість моделювання процесу пластичної течії течією ідеальної нестисливої рідини замість моделювання течією в'язкої нестисливої рідини еквівалентна і зводиться до визначення умов спрощення рівняння Нав'є-Стокса:

$$\nabla^2 \vec{v} = \Delta \vec{v} = \text{grad div } \vec{v} - \text{rot} \cdot \text{rot } \vec{v} \quad (6)$$

до рівняння Ейлера:

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = \vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad } p \quad (7)$$

і визначення наскільки такі умови можуть бути виконані при витягуванні вказаних деталей.

Так як відсутня завихреність при витягуванні коробчастих виробів, то:

$$\text{rot } \vec{v} = 0, \quad (8)$$

а з умови безперервності випливає: $\text{div } \vec{v} = 0$, що спрощує другий доданок рівняння Нав'є-Стокса.

З урахуванням вище наведеного, отримуємо:

$$\left[\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \cdot \vec{v} \right] = \vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad } p \quad (9)$$

Для стаціонарної повільної течії конвективна компонента прискорення:

$$(\vec{v} \cdot \nabla) \cdot \vec{v} = 0 \quad (10)$$

і в цьому випадку рівняння Нав'є-Стокса спрощується до рівняння Ейлера чим і пояснюється успішне моделювання стаціонарних процесів пластичної течії твердого деформованого тіла течією ідеальної нестисливої рідини в роботах Г.Я. Гуна [6]:

$$\vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad } p = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t}. \quad (11)$$

Слід зазначити, що витягування коробчастих виробів у порівнянні з волочінням являється суттєво нестационарним процесом і може лише наближатися до нього за характером поля швидкості при відносно незначних переміщеннях. Це було доведено у експериментах Щипунова Г.І., Дячкова В.Д.

Як видно з малюнку, траєкторії переміщення матеріальних точок співпадають з лініями току (рис. 4).

В експериментах Щипунова Г.І., Дячкова В.Д., та ін. [7] було показано, що при витягуванні прямокутних коробок траєкторії переміщень матеріальних частинок практично співпадають з лініями току.

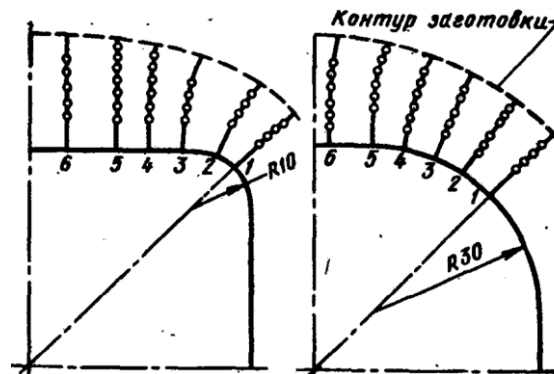


Рис. 4. Порівняння теоретичних і експериментальних траєкторій:
а – $R=10$ мм, б – $R=30$ мм, ---- -- теоретичні траєкторії [7].

Дана умова не є достатньою для обґрунтування стаціонарності процесу пластичної течії при витягуванні коробчастих виробів. Тому були проведені експерименти, щоб довести, що в умовах витягування глибоких виробів прямокутної та квадратної форми можливо допустити, що пластична течія у фланці наближається до стаціонарної.

Порівнюючи форму витісненої маси і форму контуру заготовки, розраховану методом потенціалів фіксуємо їх схожість. На підставі викладеного робимо висновок, що форму і розміри заготовок при витягуванні вказаних виробів можна визначити в першому наближенні методом потенціалу поля швидкості ідеальної нестисливої рідини, аналогічно процесу витягування циліндричних виробів. Але елементарні витоки для розрахунку потенціалу розподіляються не по всьому контуру матриці, а по контуру кутового заокруглення і границях жорсткої і пластичної зон. Для визначення координат точок екіпотенціалі, що служить контуром початкової заготовки, необхідно знати координати однієї точки, що належить контуру заготовки. Ця точка лежить на осі симетрії на відстані від контуру матриці, що дорівнює довжині твірної виробу:

$$P(x_n, y_n) = \frac{v_n}{2\pi} \sum_{j=1}^n \ln \left[(\xi_j - x_k)^2 + (\eta_j - y_k)^2 \right] = C_k \quad (12)$$

Вибираючи різні точки на осі симетрії, або на границі жорсткої і пластичної зон, що відповідають різній глибині витягування, ми знаходимо постійні C_k для потенціалей, що проходять через цю точку і визначають раціональну форму і розміри заготовок.

Для побудови сімейства екіпотенціалей розроблено алгоритм і програму розрахунку координат точок контуру [8]. Для цього потрібно розв'язати рівняння потенціалу відносно однієї координати, а потім знайти іншу координату:

$$\sum_{j=1}^n \ln \rho_j(x, y) = C'_k \quad y = y(C_i, x) \quad (13)$$

По сімейству екіпотенціалей можна побудувати сімейство ліній току.

Ширина смужки Δl між двома суміжними лініями току на кромці матриці однакова $\Delta l = const$. Ширина відповідних смужок на зовнішньому контурі заготовки – різна. Найбільша ширина ΔL_{max} знаходиться в зоні куткових заокруглень. Її ми можемо знайти методом впорядкування масиву.

Порівнюючи цю величину з розміром окружної деформації для вісесиметричних виробів можна стверджувати, що $\frac{\Delta l}{\Delta L_{max}}$ еквівалентна

коефіцієнту витягування $m = \frac{d}{D_{заг}}$ і при однакових значеннях $\frac{S}{B}$ та $\frac{S}{D}$ цей параметр може бути використаний для визначення допустимого коефіцієнту витягування за аналогічним параметром для циліндричних виробів.

Можливість такого підходу була підтверджена у роботах Каткова В.Ф. (МАТІ).

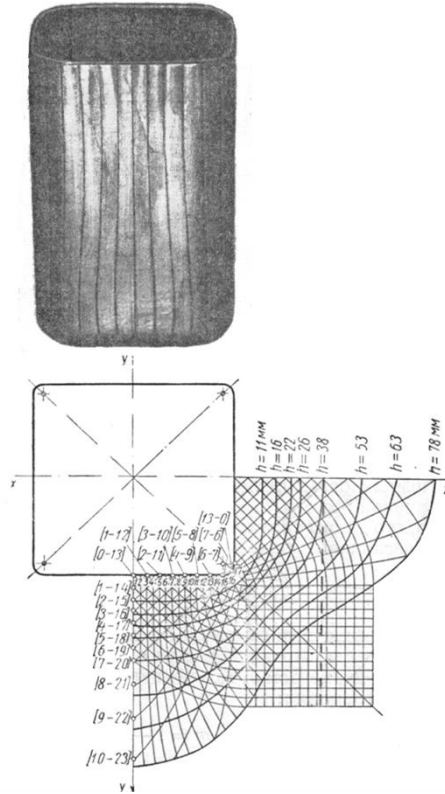


Рис. 5 – Розміри і форма оптимальних заготовок для витяжки квадратних коробок різної висоти та деталь, одержана із оптимальної заготовки ($H/B=0,95$) [9].

Так як реологічні властивості деформованого твердого тіла суттєво відрізняються від деформації нестисливої ідеальної рідини – цей метод можна розглядати тільки як перше наближення для визначення раціональної форми заготовки.

Знаючи перше наближення (форму і розміри заготовки) наступні наближення можна уточнити методом комп'ютерного моделювання. Для цього

найкраще використати одну із програм МСЕ. Нами використовувався програмний комплекс DEFORM-3D, який дозволяє внести необхідну корекцію як у розміри, так і у форму заготовки, а також визначити розподіл і величину напружень в осередку деформації.

Основні етапи комп'ютерного моделювання включають побудову твердотільних моделей заготовки та інструментів.

Реологічна модель базується на стандартних рівняннях рівноваги при умові пластичності

$$\sigma_i = \sqrt{3|I_2(D_\sigma)|} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}, \quad \sigma_s = A \cdot \varepsilon_i^n.$$

В процесі комп'ютерного моделювання створюється твердотільні моделі заготовки та інструментів для витягування за допомогою однієї з програм 3D-моделювання, після чого їх об'єм розбивається на кінцеві елементи.

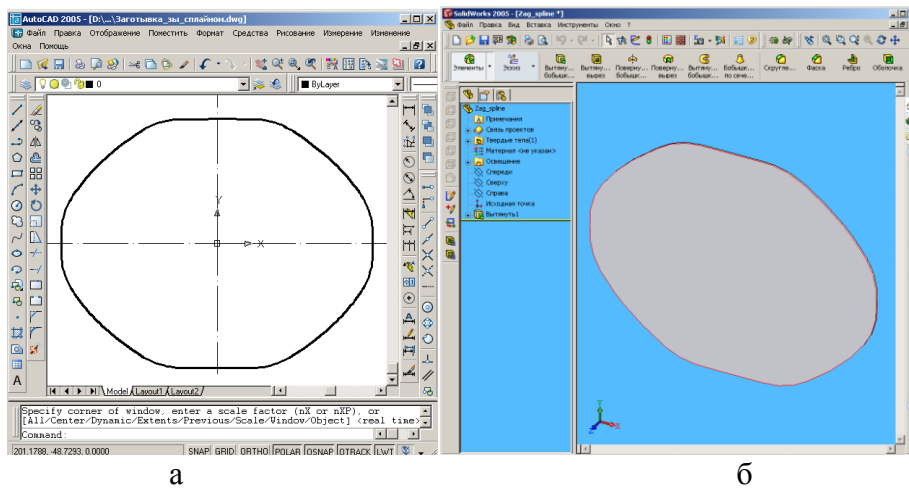


Рис. 6.– Інструменти, створені у SolidWorks: а– креслення та б – твердотільна модель заготовки для витягування порожнистого коробчастого виробу.

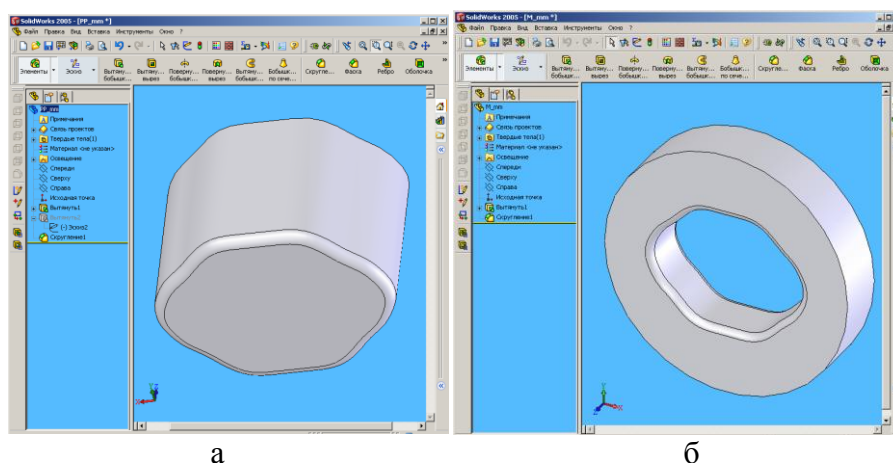


Рис. 7 - Твердотільні моделі: а – пуансона і б– матриці для першого переходу витягування коробчастого виробу.

Приклад створених таким чином у SolidWorks інструментів показано на рис. 6., а саме: пуансону і матриці для першого переходу. Тому вони мають досить складний профіль. На рис. 7.б. представлено твердотільну модель

матриці для першого витягування, яка повторює контур пуансона, але на відміну від нього її контур є еквідистантним контуру пуансона у плані. Зазор між пуансоном і матрицею розраховуємо із співвідношення 1,2 S.

Виходячи з результатів чисельного моделювання можна отримати розподіл напруження у об'ємі деталі та ступінь використання ресурсу пластичності. При умові його вичерпання можна змінити контури інструменту та відкоригувати форму і розміри заготовки – а відтак і початкові та крайові умови, що дозволяє з легкістю робити попереднє моделювання.

Висновки. За результатами проведених досліджень можна зробити висновки про те, що:

1. Вперше на основі гідродинамічної аналогії середовища розроблено єдиний підхід до розрахунку заготовок для витягування порожнистих виробів коробчастої форми незалежно від їх геометричних параметрів.

2. Для обґрунтування можливості і ефективності такого підходу вперше запропонований і експериментально підтверджений метод «зворотного» витягування, спроектований і виготовлений оригінальний пристрій для його реалізації.

3. Для визначення розмірів і побудови заготовок для витягування деталей типу квадратних і прямокутних у плані коробок вперше розроблено метод, що використовує властивості плоского потенціального поля швидкостей течії ідеальної нестисливої рідини. За рахунок цього можна підвищити коефіцієнт використання металу до 80-90%.

4. Показано, що процес і результати формоутворення порожнистих коробчастих виробів із плоскої заготовки, що впливає з форми екіпотенціалей та ліній току зазначеного поля швидкостей в цілому відповідає існуючим аналогічним результатам, отриманим методом ліній ковзання, що підтверджує коректність припущень, покладених в основу запропонованого методу та можливість використання в розрахунках заготовок деяких рекомендацій інших авторів.

5. Експериментально доведено, що запропонований метод розрахунку розмірів і побудови форми заготовки спрощує розробку технологічного процесу та скорочує необхідний для цього час майже удвічі.

6. Запропонований у роботі метод визначення розмірів і форми заготовки для витягування коробок прямокутної і квадратної в плані форми поєднує аналітичний і комп'ютерний підхід, що суттєво (на 30%) скорочує терміни підготовки виробництва, що приводить до зростання ефективності виробництва у 1,8...2,5 рази.

7. Одержані результати та рекомендації з визначення розмірів і форми заготовок для витягування квадратних і прямокутних в плані коробок забезпечують основу для розробки САПР технологічних процесів і штамів виготовлення деталей зазначеного типу.

Список літератури: 1. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. – 520 с., ил. 2. Вайнтрауб Д.А., Технологические расчеты при вытяжке высоких прямоугольных деталей. – Л.: Ленинградский дом научно-технической пропаганды, 1969. 3. *Руководящий технический материал*. РТМ 34-65. Штампы для холодной

листовой штамповки. Расчеты и конструирование,- М: ВНИИНМАШ, Издательство стандартов, 1966. 4. *Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка* /Под общ. ред. Л.И. Рудмана. – М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.: ил. – (Б-ка конструктора). 5. L. Fratini, E. Lo Valvo, I. Napoli, D.I. Russo, Ingegnerizzazione di processi di imbutitura di vaschette rettangolari, lamiera, è un mensile tecniche nuove, dicembre, 1997, 77-80. 6. Гун Т.Я. *Пластическое формоизменение металлов* / Т.Я. Гун, П.И. Полухин, В.П. Полухин и др. // М.: Издательство «Металлургия», 1968. – 420 с. 7. *Щиунов Г.И., Дьячков В.Д., Булдаков В.И.*, Кинематика фланца в процессе листовой вытяжки деталей коробчатых форм. – Кузнечно-штамповочное производство, 1971. – №12. 8. *Стеблюк В.І.* Побудова контуру заготовки на основі математичної моделі процесу витягування порожнистих виробів коробчастої форми / Стеблюк В.І., Холявік О.В. // *Обработка материалов давлением* №1 (20), 2009, 63-66. 9. Катков В.Ф. *Оборудование и средства автоматизации и механизации заготовительно-штамповочных цехов: Учебник для авиационных вузов.* М.: Машиностроение, 1985. – 384 с.

Надійшла до редколегії 04.11.2013

УДК УДК 621.983

Розробка аналітичного методу розрахунку розмірів і форми заготовок для витягування коробчастих виробів / Стеблюк В. І, Холявік О. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. – №43 (1016). - С.220-228. Библиогр.:11 назв.

В статье приведен аналитический метод для определения размеров и формы заготовок при вытяжке коробчатых деталей с использованием метода потенциала скорости течения идеальной жидкости. Проведенные экспериментальные и теоретические исследования подтвердили возможность развития метода определения размеров и формы заготовок при вытяжке коробчатых деталей с использованием метода потенциала скорости течения идеальной жидкости; показали удовлетворительную сходимость результатов, полученных экспериментально и рассчитанных с помощью программ, разработанных на базе соответствующих математических моделей.

Ключевые слова: вытяжка, коробчатые детали, моделирование, «обратная» вытяжка, метод потенциалов, оптимальная форма заготовки, расчет заготовки, промежуточные переходы.

In article provides to the improvement of analytical methods for the calculation of the size and shape of blanks in the drawing box-like parts through the use of the method of building. The experimental and theoretical studies have confirmed the possibility of development of methods for determining the size and shape of pieces in the drawing box-like parts through the use of the method of building and showed a satisfactory correlation between the results obtained experimentally and calculated using the programs developed on the basis of the corresponding models.

Keywords: extraction, box-type wares, design, «reverse» extraction, «reverse» process, method of potentials, optimum form of preparation, calculation of preparation, intermediate transitions.

УДК 620.179

Г. М. СУЧКОВ, докт .техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»;
С. Н. ГЛОБА, канд .техн. наук, доц., НТУ «ХПІ»;
ЛЕ ЧИ ХИЕУ, аспірант, НТУ «ХПІ».

ВИХРЕТОКОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТОЛЩИНЫ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА МЕТАЛЛОИЗДЕЛИЯХ

Разработана модификация компенсированного вихретокового преобразователя (ВТП), обладающего повышенным диапазоном измерений. Выполнены экспериментальные исследования ВТП, которые подтвердили перспективность его применения при контроле толщины диэлектрических покрытий на металлоизделиях.

Ключевые слова: толщинометрия, диэлектрическое покрытие, металлоизделие, вихретоковый преобразователь.

Введение. Определяющую роль в защите изделий от поражения различными воздействиями являются неэлектропроводные покрытия (краска,