

Теоретичний розрахунок умов заповнення рельєфу при з'єднанні різнорідних металів витягуванням з потоншенням

Р. С. Борис*, В. А. Тітов, О. В. Холявік
<https://doi.org/10.31174/NT2018-158VI18-09>

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

*Corresponding author. E-mail: boris_ryslan@ukr.net

Paper received 24.01.18; Revised 28.01.18; Accepted for publication 29.01.18.

Анотація. Розроблена комплексна методика теоретичного дослідження процесу витягування з потоншенням двошарової заготовки з різнорідних металів з використанням рельєфу граничної поверхні. З використанням теорії пластичної течії розроблена математична модель деформування процесу сумісного витягування з потоншенням двох різнорідних металів з нагрівом в умовах плоского деформованого стану, яка дозволила встановити взаємозв'язок параметрів напружено-деформованого стану на граничній поверхні та ступеню деформації потоншення шарів з вихідними геометричними параметрами заготовки, та проаналізувати необхідні умови для заповнення рельєфу граничної поверхні.

Ключові слова: різнорідні метали, гранична поверхня, ступінь деформації, рельєф поверхні, витягування з потоншенням, двошарова заготовка, вихідні геометричні параметри заготовки.

В наш час в машинобудівній промисловості як в Україні, так і закордоном характеризуються підвищеними вимогами до якості та експлуатаційних властивостей виробів та низькій собівартості їх виробництва. Для забезпечення ефективності виробів машинобудування в їх конструкціях широко використовують поєднання різних матеріалів для забезпечення необхідних специфічних функціональних властивостей, котрі не притаманні жодному з елементів окремо. Для цих цілей широке застосування знаходять шаруваті металеві композиції трубчастої форми (біметалеві трубчасті елементи — БТЕ), а для їх використання запропоновано застосування рельєфу на граничній поверхні.

Теоретичні основи та аналіз енергосилових параметрів процесу та граничних умов ступенів деформації при витягуванні з потоншенням циліндричних виробів присвячені роботи [1–3]. У вказаних вище роботах представлені теоретичні дослідження, які виконані шляхом вирішення сумісних рівнянь рівноваги та умов пластичності.

В попередніх роботах [4,5] авторів статті було розглянуто аналіз кінематичних та деформаційних особливостей деформування двошарової заготовки металів з ідеально пластичними властивостями для умов гарячої деформації без врахування сил тертя та з врахуванням сил тертя на контактних поверхнях завдяки яким забезпечується точність розрахунку параметрів напружено-деформованого стану. Тому теоретичний аналіз розрахунку параметрів процесу сумісного витягування з потоншенням, які необхідні для формування елементів рельєфу є актуальною науково-технічною задачею.

В даній роботі авторами розглядається теоретичний розрахунок процесу деформування двошарової заготовки витягуванням з потоншенням з врахуванням геометрії деформуючого інструменту, зміни товщин шарів металів, напружено-деформований стан на граничній поверхні двох матеріалів та зміна швидкості в осередку деформації, які необхідні для формування елементів рельєфу.

Метою даної роботи є теоретичний розрахунок напружено-деформованого стану параметрів процесу сумісного витягування з потоншенням двошарової заготовки, які необхідні для формування елементів рельєфу на граничній поверхні.

Для визначення заповнення елементів форми рельєфу граничної поверхні потрібно визначити контактні стискаючі напруження та вибрати необхідну оптимальну форму рельєфу, яка повністю заповниться під дією стискаючих напружень при витягуванні з потоншенням двошарової заготовки.

Вважаємо, що процес заповнення здійснюється за принциповою схемою представленою на рис. 1.

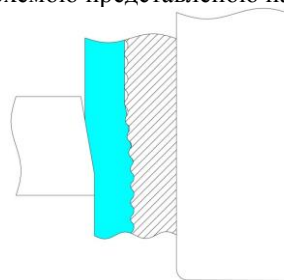


Рис. 1. Принципова схема процесу витягування з потоншенням з елементами рельєфу граничної поверхні

Схема взаємодії шарів різнорідних металів при витягуванні з потоншенням для дифузійно-механічного з'єднання представлено на рис. 2, розрахункова схема процесу заповнення одиничного конструктивного елемента рельєфу граничної поверхні представлено на рис. 3 [6].

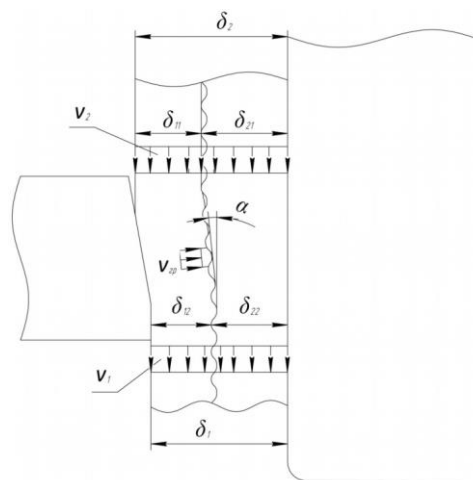


Рис. 2. Схема взаємодії шарів різнорідних металів при витягуванні з потоншенням для дифузійно-механічного з'єднання

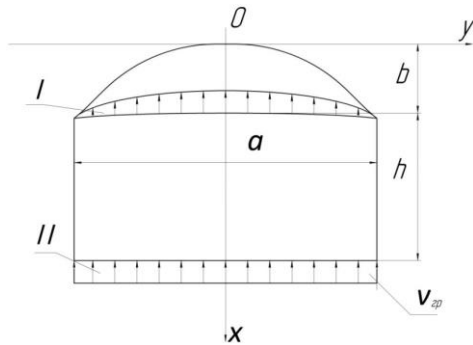


Рис. 3. Розрахункова схема процесу заповнення одиничного конструктивного елемента рельєфу граничної поверхні

Задачу вважаємо пласкою. Пластичну течію металу розглядаємо в площині ХОУ. Місце сполучення стінок матеріалу апроксимуємо параболічною функцією.

Згідно прийнятої методики [6], розглянемо пластичну ділянку заготовки шириною a і висотою h , де h – половина від товщини зовнішнього шару металу після витягування з потоншенням. При заповненні радіуса спряження I повинна доторкуватися до поверхні сформованої форми рельєфу, тобто по осі симетрії здійснити шлях, рівний b .

Для теоретичного аналізу скористаємося методикою, яка використовує загальні закономірності механіки суцільних середовищ. Вертикальну компоненту швидкості V_x визначаємо у вигляді:

$$V_x = V_{xI} + V_{xII} \quad (1)$$

де V_{xI} , V_{xII} – швидкості переміщення точок матеріалу, які належать поверхням I і II відповідно (рис. 2). Вважаємо, що на поверхні I в залежності від координати X швидкість змінюється по параболічному закону, а на поверхні II швидкість постійна і дорівнює $V_{гр.}$, де $V_{гр.}$ – швидкість переміщення інструменту, котра залежить від кута матриці.

Використавши відомі граничні кінематичні умови для вертикальної компоненти швидкості отримаємо:

$$V_x = A \left(\frac{4y^2}{a^2} - 1 \right) \left[\frac{b-x}{h} + 1 \right] + \frac{V_{гр.}}{h} (b-x) \quad (2)$$

де A – швидкість переміщення точки заготовки, яка знаходиться на поверхні I .

$$V_x = \frac{3}{\sqrt{2}} V_{гр.} \quad (3)$$

Горизонтальну V_x знаходимо з рівняння нерозривності:

$$\frac{dV_x}{dx} = - \frac{dV_y}{dy} \quad (4)$$

Виконавши деякі перетворення отримаємо:

$$V_y = \frac{V_{гр.} y}{2h} \left(\frac{4y^2}{a^2} - 1 \right) \quad (5)$$

Таким чином функції (3) і (4) визначають собою поля швидкостей руху частин металу при його видавлюванні.

$$\frac{\partial \sigma}{\partial y} = \frac{\rho V_{11} y}{2h \cos \alpha} \left(\frac{4y^2}{a^2} - 1 \right) \left[\frac{V_{11}}{h \cos \alpha} \left(\frac{6y^2}{a^2} - \frac{1}{2} \right) \right] + \frac{6\sigma_s y}{a\sqrt{3} \left(\frac{6y^2}{a^2} - \frac{1}{2} \right)} \quad (15)$$

Розрахуємо узагальнену швидкість деформації, використавши припущення, що зсувна компонента швидкості деформації в напрямку координатних осей:

$$V_y = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{V_{гр.}}{h} \left(\frac{6y^2}{a^2} - \frac{1}{2} \right) \quad (6)$$

Коефіцієнт жорсткості розраховуємо з урахуванням того, що пластична деформація здійснюється в нагрітому стані, тоді отримаємо:

$$\mu_i = \frac{\sigma_s h}{2\sqrt{3} V_{гр.} \left(\frac{6y^2}{a^2} - \frac{1}{2} \right)} \quad (7)$$

де σ_s – межа текучості матеріалу з меншими механічними властивостями, яка відповідає температурному інтервалу.

Рівняння пластичної течії з урахуванням отриманих функцій (2) і (5) мають вид:

$$\frac{\partial \sigma}{\partial x} = \rho \left(\frac{\partial V_x}{\partial t} + V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} \right) - \mu_i \frac{\partial^2 V_x}{\partial x^2} - 2 \frac{\partial \mu_i}{\partial x^2} \frac{\partial V_x}{\partial x} \quad (8)$$

$$\frac{\partial \sigma}{\partial y} = \rho \left(\frac{\partial V_y}{\partial t} + V_x \frac{\partial V_y}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_y}{\partial y} \right) - \mu_i \frac{\partial^2 V_y}{\partial x^2} - \frac{\partial \mu_i}{\partial x^2} \frac{\partial V_y}{\partial x} \quad (9)$$

де ρ – густина матеріалу з меншими механічними властивостями.

Середнє напруження в об'ємі, що деформується:

$$\sigma = \int_x \frac{\partial \sigma}{\partial x} dx + \int_y \frac{\partial \sigma}{\partial y} dy \quad (10)$$

На наступному етапі проведемо розрахунок напружено деформованого стану на границі рельєфу, для цього визначимо швидкість переміщення (схема наведена на рис. 1).

Тоді запишемо рівність:

$$\delta V_1 = \delta V_2 \quad (11)$$

Враховуючи товщину матеріалів та їх властивості розрахуємо коефіцієнт деформації кожного з матеріалів:

$$\frac{\sigma_{sTi} S_{Ti}}{\sigma_{sAl} S_{Al}} = K \quad (12)$$

Враховавши коефіцієнт K можна сказати, що заготовка з меншими механічними властивостями буде деформуватися в K разів більше, тому розрахуємо швидкість деформування зовнішнього шару:

$$V_{11} = V_1 \frac{\delta_{12}}{\delta_{11}} \frac{1}{K} \quad (13)$$

Враховавши те, що $V_{11} = V_{гр.}$, але також залежить від кута нахилу α , тому отримаємо:

$$V_{гр.} = \frac{V_{11}}{\cos \alpha} \quad (14)$$

Припустимо, що $V_{гр.}$ постійна ($V_{гр.} = \text{const}$) вздовж границі шару на одиничній ділянці рельєфу. Тоді зробивши деякі перетворення для похідних від середнього напруження по змінним x і y отримаємо:

$$\frac{\partial \sigma}{\partial x} = -\frac{\rho V_{11} y}{h \cos \alpha} \left[\frac{3 \left(\frac{4y^2}{a^2} - 1 \right)}{2} (b+h-x) + (b-x) \right] \left[\frac{V_{11}}{h \cos \alpha} \left(\frac{6y^2}{a^2} - \frac{1}{2} \right) \right] + \frac{6\rho V_{11}^2 y^2}{h^2 a^2 \cos^2 \alpha} \left(\frac{4y^2}{a^2} - 1 \right) (b+h-x) - \frac{6\sigma_x (b+h-x)}{a^2 \sqrt{3} \left(\frac{6y^2}{a^2} - \frac{1}{2} \right)} \left[1 - \frac{12y^2}{a^2 \left(\frac{6y^2}{a^2} - \frac{1}{2} \right)} \right] \quad (16)$$

Про інтегрувавши отримані вирази, запишемо наближене рівняння для знаходження осьового напруження σ_{xx} в точці при $x = 0$. постійну інтегрування C , яка входить в рівняння визначимо з умови $\sigma_{xx} = 0$ при $x \leq b$.

Визначивши постійну інтегрування C можна записати наближене рівняння для знаходження величини напруження σ_{xx} :

$$\sigma_{xx} = -\frac{6\sigma_s b \left(\frac{b}{2} + h \right)}{a \sqrt{3} \left(\frac{6y^2}{a^2} - \frac{1}{2} \right)} \left[\frac{12y^2}{a^2 \left(\frac{6y^2}{a^2} - \frac{1}{2} \right)} - 1 \right] - \frac{\rho V_{2p} b}{h} \left[\frac{3 \left(\frac{4y^2}{a^2} - 1 \right)}{2} \left(\frac{b}{2} + h \right) + \frac{b}{2} \right] \quad (17)$$

Рівняння (17) дозволяє визначити напруження стиску на поверхні рельєфної матриці при видавлюванні плоскої заготовки. Величина необхідного питомого тиску для повного заповнення рельєфу визначається максимальним значенням σ_{xx} , що відповідає координаті максимальної висоти рельєфного елемента.

Розрахувавши рівняння (17) отримаємо графік питомого зусилля стиску на контактній поверхні у зоні одиничного рельєфу.

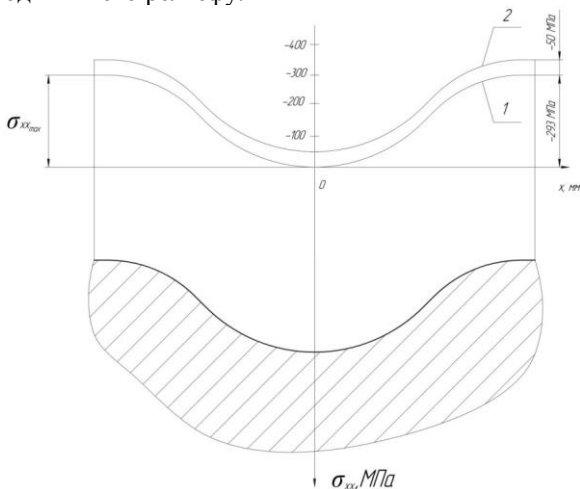


Рис. 4. Графік питомого зусилля стиску на контактній поверхні у зоні одиничного рельєфу

Графік на рис. 4. має дві криві: 1 – питоме зусилля необхідне для заповнення рельєфу; 2 – питоме зусил-

ля, яке необхідне для дифузійного з'єднання шарів металів.

Теоретичний аналіз оцінки умов з'єднання шарів різнорідних металів при витягуванні з потоншенням показав що:

1. Для повного заповнення одиничного рельєфу необхідний стиск, що по величині дорівнює σ_{xxmax} в місці максимальної висоти одиничного рельєфу (рис. 4 крива 1).

2. Для створення дифузійного з'єднання необхідний мінімальний стиск в кожній точці граничної поверхні шарів повинен перевищувати -50 МПа.

3. Для забезпечення цієї умови необхідно, щоб в цій точці мінімуму контактний тиск $\sigma_{xx} \geq \sigma_0 = -50$ МПа (рис. 4 крива 2).

4. Для забезпечення умови дифузійного з'єднання в даному випадку стиск, що діє на зовнішню поверхню, повинен бути $\sigma_{xxmax} + (-50)$ МПа, що дорівнює для даного випадку -350 МПа.

Висновки.

1. Розраховано мінімальний необхідний тиск на контактних поверхнях для повного заповнення елемента рельєфу, який склав -300 МПа для даного випадку.

2. Зроблений порівняльний аналіз необхідного тиску, що потрібний для повного заповнення одиничного елемента рельєфу та для отримання дифузійного з'єднання між шарами металів, що виконують при реалізації процесу витягування з потоншенням.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов Е.А. Основы теории листовой штамповки / Е.А. Попов – М., «Машиностроение», 1968. – 283с.
2. Валиев С.А. Комбинированная глубокая вытяжка листовых материалов / С.А. Валиев – М., «Машиностроение», 1973. – 176с.
3. Алексеев Ю.Н. Вопросы пластического течения металлов / Ю.Н. Алексеев – Харьков, изд-во ХГУ, 1958. – 188с.
4. Тітов В.А. Розрахунок напружено-деформованого стану витягування з потоншенням ідеальнопластичного двохшарового металу / Тітов В.А., Борис Р.С. // Обробка матеріалів тиском. – 2012. – №1 (30). – С. 45-52
5. Борис Р.С. Особливості врахування сил тертя при витягуванні з потоншенням двохшарових заготовок / Борис Р.С., Тітов В.А., Вишневикий П.С. // Обработка материалов давлением. – 2012. – № 2 (31). – С. 22-29
6. Лимберг Э.А. Определение удельных давлений заполнения радиусов сопряжения в инструменте для объемной штамповки / Э.А. Лимберг, Г.Д. Селиванов // Обработка металлов давлением в машиностроении, вып. 17, 1981 – С. 22-27.

REFERENCES

1. Popov E.A. Fundamentals of the theory of sheet punching / E.A. Popov - M., "Mechanical Engineering", 1968. - 283p.
2. Valiev S.A. Combined deep drawing of sheet materials / S.A. Valiev - M., "Mechanical Engineering", 1973. - 176p.
3. Alekseev Yu.N. Questions of plastic flow of metals / Yu.N. Alekseev-Kharkov, publishing house of the KhSU, 1958.- 188p.
4. Titov V.A. Calculation of the stress-strain state of extraction with thinning of an ideal plastic two-layer metal / Titov VA, Boris R.S. // Processing materials under pressure. - 2012. - No. 1 (30). - P. 45-52
5. Borys R.S. Features of taking into account the frictional forces when pulling out with the thinning of two-layer preforms / Borys RS, Titov VA, Vishnevsky P.S. // Materials processing by pressure. - 2012. - No. 2 (31). - P. 22-29
6. Limberg E.A. Determination of the specific pressures of filling the radii of conjugation in a tool for volume stamping / E.A. Limberg, G.D. Selivanov // Processing of metals by pressure in mechanical engineering, No. 17, 1981 - P. 22-27

Theoretical calculation of the conditions for filling the relief when connecting dissimilar metals by pulling with thinning

R. S. Boris, V. A. Titov, O. V. Holiavik

Abstract. A comprehensive methodology of theoretical studies drawing process with a two-layer preform thinning of dissimilar metals with the relief of the boundary surface. Using the theory of plastic flow mathematical model of deformation of the joint drawing process with thinning of two dissimilar metals with heating under plane strain state, which allowed to establish the relationship parameters of the stress-strain state at the interface and the degree of deformation thinning with initial geometrical parameters of the workpiece, and analyze the necessary conditions for the boundary surface relief fill.

Keywords: stress-strain state, the components of the stress and strain rate, dissimilar metals, the boundary surface, the degree of deformation, surface topography, extract with thinning, two-layer preform, the geometric parameters of the original piece.

Теоретический расчет условий заполнения рельефа при соединении разнородных металлов вытяжкой с утонением

Р. С. Борис, В. А. Титов, О. В. Холявик

Аннотация. Разработана комплексная методика теоретического исследования процесса вытяжки с утонением двухслойной заготовки из разнородных металлов с использованием рельефа граничной поверхности. С использованием теории пластического течения разработана математическая модель деформирования процесса совместной вытяжки с утонением двух разнородных металлов с нагревом в условиях плоского деформированного состояния, которая позволила установить взаимосвязь параметров напряженно-деформированного состояния на граничной поверхности и степени деформации утонения с исходными геометрическими параметрами заготовки, и проанализировать необходимые условия для заполнения рельефа граничной поверхности.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, компоненты напряжений и скоростей деформаций, разнородные металлы, граничная поверхность, степень деформации, рельеф поверхности, вытяжка с утонением, двухслойная заготовка, исходные геометрические параметры заготовки.