

ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА

УДК 629.331.064.5:330.341.1

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7\(38\).2.19-27](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).2.19-27)

Т.В. Гайкова, доц., канд. техн. наук, **Д.М. Ковальчук**, асп., **Р.М. Гайков**, асп.
*Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського,
м Кременчук, Україна
e-mail: dimakovalb12@gmail.com*

Аналіз науково-технічних інновацій в галузі машинобудування з виявленням закономірності впливу технологічних параметрів

У статті розглянуто виявлення закономірності впливу технологічних параметрів на неоднорідність інтенсивності деформації та опору матеріалу пластичному деформуванню у стінці деталі при витяжці прямокутних деталей із біметалів. При розробці технологічного процесу отримання виробів з шаруватих металів з попереднім зчепленням шарів необхідно враховувати пошарові деформації, їх залежності від параметрів процесів формозміни, їх механічні властивості, а також вплив термомеханічних параметрів обробки на міцність з'єднання складових.

біметал, витяжка, анізотропний матеріал, заготовка, деформація, напруження, механічні властивості

Постановка проблеми. На основі аналізу науково-технічної інформації встановлено, що шаруваті метали (біметали) – один із найсучасніших та найперспективніших матеріалів, що застосовується у галузі машинобудування та народного господарства. Застосування біметалів дозволяє досягти значної економії коштів, отримати матеріали, що володіють унікальними властивостями, підвищити ефективність виробництва і конкурентоспроможність широкого класу деталей і обладнання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню процесів деформування різнорідних металів присвячені роботи Стеблюка В. І., Холявіка О. В., Драгобецького В. В., Загорянського В. Г., Тітова В. А. [1-3], в яких авторами, в основному, розглядалися можливості отримання композиційних матеріалів і залишилися недостатньо вивченими питання деформаційних впливів на структуру та властивості шаруватих металів.

Найбільш складна операція обробки шаруватих металів тиском – витяжка, яка широко застосовується для отримання багатьох деталей (днищ, склянок тощо). Побудова теоретичних основ процесу витяжки шаруватих металів, деформування монометалів, локальної формозміни дозволить вибудувати технологію отримання виробів більш продуктивно та якісніше, уникаючи теоретичних помилок планування процесів, як це неодноразово вказувалося у роботах [4-5]. При пластичній деформації в шарах композиції виникають зони з різнозначними внутрішніми напруженнями, які можуть призвести до утворення складок, розривів та розшарування матеріалу готового виробу [6]. Так, наприклад, шаруваті метали, які отримані зварюванням вибухом, мають суттєву анізотропію механічних властивостей.

Наведені в роботі [7] вирази для визначення кінематики перебігу матеріалу, напруженого та деформованого станів в осередку пластичної деформації дозволили оцінити вплив технологічних параметрів на неоднорідність інтенсивності деформації та опору матеріалу пластичному деформуванню у стінці деталі при витяжці товстостінних вісесиметричних заготовок з анізотропних матеріалів.

Зарубіжний науковець Тенкхофф зазначає [8], що витяжку застосовують при виготовленні прямокутних деталей з шаруватих матеріалів, які мають достатню пластичність в холодному стані. Витяжка дозволяє отримувати деталі, що мають відносно точні розміри і високі властивості міцності, що в два-три рази перевищують міцність вихідного матеріалу. Це забезпечується зміцненням металу при деформуванні у поєднанні з відповідною термічною обробкою. Процеси пластичного деформування прямокутних анізотропних заготовок (вісесиметричний напружений та деформований стан) мало вивчені.

Постановка завдання. Метою статті є аналіз методів визначення напруженого стану заготовки з неоднорідними механічними характеристиками в процесі пластичної деформації та визначення напружено-деформованого стану при витяжці прямокутних деталей із біметалів.

Виклад основного матеріалу. Середовище застосування шаруватих металів досить велике, що дозволяє не тільки підвищити надійність і довговічність великого класу деталей і обладнання, але і значно скоротити витрати на їх виготовлення в результаті економії дорогих кольорових металів, крім того, використання шаруватих композицій сприяє розробці більш досконалих конструкцій машин, приладів, апаратів.

Міцний зв'язок між шарами, що перешкоджає взаємному зміщенню частинок металу на межі розділу шарів, істотно впливає на характер деформованого стану. При цьому деформації шарів більш рівномірні, ніж за відсутності міжшарового зв'язку. Таким чином, при розробці технологічного процесу отримання виробів з біметалів з попереднім зчепленням шарів необхідно враховувати пошарові деформації, їх залежності від параметрів процесів формозміни. Тому при створенні технологічних процесів обробки шаруватих металів тиском необхідно знати їх механічні властивості, а також вплив термомеханічних параметрів обробки на міцність з'єднання складових.

Основними операціями для надання заготовці форми готового виробу в листовому штампуванні є згинання та витяжка. Граничні радіуси згинання залежать від пластичних властивостей композиції та характеру зміни її механічних властивостей у процесі вигину. При занадто малому радіусі вигину може статися руйнування матеріалу, а при великому радіусі виникають тільки пружні деформації обох шарів або окремо взятого покриття. Однак слід враховувати, що згинання деталей відповідального призначення, для яких за умовами міцності конструкцій не допускається зниження механічних властивостей матеріалу, повинно проводитися на радіуси не менше 9-ти товщин листа [1]. При згинанні на менші радіуси для відновлення механічних властивостей деталі повинні піддаватися відпустці при температурі 640-660 °С і охолодженню після відпуску на повітрі. У відповідальних деталях без подальшої термічної обробки допускається зменшувати тільки радіуси відгинання фланців (з урахуванням місцевого характеру деформації) до двох товщин листа при товщині < 10 мм і до п'яти товщин листа при < 15 мм. Рівень зміни механічних властивостей при холодному згинанні біметалів залежить від відносного радіусу згинання і не залежить від способу її виконання: у вальцях, на гідравлічному пресі або листозгинальному верстаті типу ЛЗВ. При відносному радіусі > 9 мм механічні властивості сталі знижуються в межах, що задовольняють вимогам технічних умов.

Витяжка, будучи складним процесом для аналізу монометалів, ускладняється для багат шарових металів ще більше, оскільки потрібно враховувати неоднорідну деформацію шарів композиції, а також зміцнення та анізотропію.

Листовий біметал, що піддається плоскому деформуванню, як правило, має анізотропію, неоднорідність механічних властивостей, обумовлену маркою матеріалу і технологічними режимами його отримання.

Для врахування впливу неоднорідності механічних властивостей багат шарової заготовки користуються умовою плинності Мізеса – Хілла – Ольшака для анізотропного неоднорідного матеріалу [9]:

$$K_{23}(x, y, z)(\sigma_y - \sigma_z)^2 + K_{31}(x, y, z)(\sigma_z - \sigma_x)^2 + K_{12}(x, y, z)(\sigma_x - \sigma_y)^2 + K_{44}(x, y, z)\tau_{yz}^2 + K_{55}(x, y, z)\tau_{zx}^2 + K_{66}(x, y, z)\tau_{xy}^2 = 1 \quad (1)$$

де K – функції координат точок тіла, що характеризують неоднорідність та анізотропію;

x, y, z – основні осі анізотропії;

$\sigma_{i,j}$ – компоненти напруги у основних осях анізотропії.

Приймається асоційований закон течії [9] де вважається, що функція плинності збігається з пластичним потенціалом, встановлюється зв'язок між швидкостями деформації і напруженнями:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \lambda [K_{12}(x, y, z)(\sigma_x - \sigma_y) + K_{31}(x, y, z)(\sigma_x - \sigma_z)] \\ \varepsilon_y &= \lambda [K_{23}(x, y, z)(\sigma_y - \sigma_z) + K_{12}(x, y, z)(\sigma_y - \sigma_x)], \\ \varepsilon_z &= \lambda [K_{31}(x, y, z)(\sigma_z - \sigma_x) + K_{23}(x, y, z)(\sigma_z - \sigma_y)] \end{aligned} \quad (2)$$

де $\varepsilon_{i,j}$ – компоненти швидкостей деформацій;

λ – коефіцієнт пропорційності.

У разі плоскої деформації. З виразу (2) можна визначити:

$$\sigma_z = \frac{K_{31}(x, y)\sigma_x + K_{23}(x, y)\sigma_y}{K_{31}(x, y) + K_{23}(x, y)} \quad (3)$$

Умова плинності у разі плоскої деформації та дотичних напружень запишеться у вигляді:

$$K(x, y) \times [K_{23}(\sigma_y - \sigma_z)^2 + K_{31}(\sigma_z - \sigma_x)^2 + K_{12}(\sigma_x - \sigma_y)^2] = 1. \quad (4)$$

Її можна привести до вигляду:

$$(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4(1-c)\tau_{xy} = 4(1-c)T^2(x, y), \quad (5)$$

де c – характеристика анізотропії тіла за умов плоскої деформації;

$T(x, y)$ – межа плинності при зрушенні стосовно до головних осей анізотропії. І вирішуючи умови рівноваги для плоского напруженого стану, отримати рівняння для встановлення поля напруження:

$$\begin{aligned}
 \sigma_x &= \sigma + T(x, y) \left(\frac{1-c}{1-c \cdot \sin^2 2\phi} \right)^{1/2} \cdot \cos 2\phi \\
 \sigma_y &= \sigma - T(x, y) \left(\frac{1-c}{1-c \cdot \sin^2 2\phi} \right)^{1/2} \cdot \cos 2\phi \\
 \tau_{xy} &= T(x, y) \left(\frac{1-c}{1-c \cdot \sin^2 2\phi} \right)^{1/2} \cdot \sin 2\phi \\
 \sigma &= \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}
 \end{aligned} \tag{6}$$

де ϕ – кут між напрямком першої головної напруги та віссю X .

Використовуючи наведену умову плинності, рівняння рівноваги і задаючись характеристикою анізотропії тіла в умовах плоскої деформації можна визначити величину напруження. Однак дана методика визначення поля напруження і деформацій не враховує геометричних характеристик вогнища деформації та технологічних умов формозміни. Неясність у визначенні параметрів анізотропії і кута між напрямком першої головної напруги і віссю X не дає можливості використовувати її в технологічних розрахунках. Тому необхідно зробити нахил у бік експериментально-теоретичних методів досліджень для визначення механічних характеристик біметалів з подальшим їх використанням у виробничих розрахунках.

Деталі коробчастої, прямокутної у плані форми отримали широке застосування в машинобудуванні, автомобілебудуванні, літакобудуванні, при виготовленні різних виробів в електротехніці та енергетиці. В основному вони виготовляються операціями витяжки з листового матеріалу, який має кілька шарів металів з різними механічними характеристиками. За одну операцію витяжки можна отримати відносно неглибокі порожнисті деталі, оскільки при збільшенні глибини діючі зусилля зростають настільки, що ділянки металу, навантажені силами, що розтягують, руйнуються в процесі деформування витяжкою. Тому при виготовленні глибоких порожніх деталей виникає необхідність у поділі процесу витяжки на кілька операцій з тим, щоб уникнути перенапруження металу. Процеси витяжки коробчастих деталей вивчені і освітлені в спеціальній літературі досить широко і детально, але із застосуванням нових матеріалів і методів поєднання операцій виникає необхідність у доопрацюванні математичних моделей деформування, наприклад, двошарових металів з урахуванням нерівномірності деформацій за шарами [10].

Для детального аналізу напружено-деформованого стану заготовки в процесі витяжки необхідно розрізняти форму та геометричні співвідношення коробчастих деталей:

а) з прямолінійними стінками з опуклими закругленнями на кутах – квадратні та прямокутні;

б) з поєднанням прямолінійних стінок з опуклими і увігнутими закругленнями;

в) з криволінійними опуклими чи увігнутими стінками – овальні, еліптичні тощо.

д) деталі, що мають одну вісь симетрії або асиметричні.

г) деталі, що мають неоднакову, заздалегідь задану товщину на різних ділянках.

Залежно від форми деталі формозміна заготовки є процесом глибокої витяжки в чистому вигляді, або є поєднанням витяжки із згинанням.

При витяжці деталей коробчастої форми вогнище пластичної деформації знаходиться в кутових ділянках фланця, воно також охоплює зону сполучення фланця і бічних стінок. Напружений стан кутової ділянки фланця – плоский (стисло-

розтягнутий), деформований стан – об’ємний. Стінки деталі відчувають складний і нерівномірний напружено-деформований стан: стиск уздовж контуру і розтяг по висоті (рис. 1). Чим вище деталь, тим характер розподілу напружень і деформацій більш нерівномірний. При витяжці деталей коробчастої форми в кутових і криволінійних ділянках фланця виникають не тільки нормальні напруження, що діють у радіальному та окружному напрямках, але і відносні напруження, які діють у напрямках, ортогональних напрямку нормальних напружень (рис. 1). Ці дотичні напруження виникають внаслідок відсутності осової симетрії деформування, отже, нерівномірного розподілу деформацій за контуром деталі. На бісектрисі кутової ділянки дотичні напруження відсутні (у зв’язку з тим, що це вісь симетрії даної ділянки), а в місці сполучення криволінійної і прямолінійної ділянок контуру досягають найбільшого значення [10].

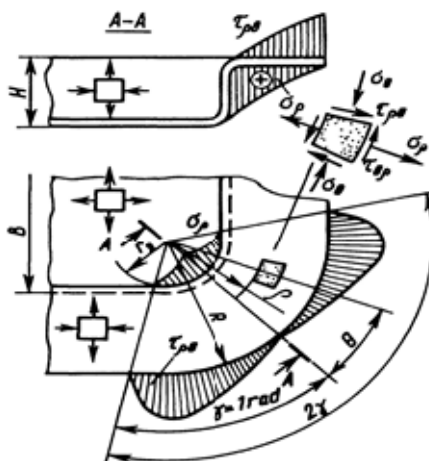


Рисунок 1 – Епюри напруги у фланці коробчастої деталі на першому переході витяжки

Джерело: [10]

Внаслідок суцільності металу дотичні напруження поступово спадають у двох взаємно протилежних напрямках: до бісектриси кута 2γ (рис. 1) і в напрямку прямолінійних ділянок контуру. Дотичні напруження змінюються і по ширині фланця, збільшуючись у міру наближення до периферійної його частини. Таким чином, дотичні напруження змінюються вздовж двох координат – ρ і θ (рис. 1). У роботі [10] наведена формула для визначення радіального напруження розтягу:

$$\sigma_{\rho} = \left[\frac{\sigma_s}{\gamma\sqrt{3}} \right] \left[\ln \frac{R}{\rho} - \theta^2 \right] + \frac{\mu Q}{\pi R s}, \quad (7)$$

де σ_{ρ} – меридіональне напруження розтягу;

σ_s – межа плинності металу;

Q – зусилля притиску заготовки.

Аналіз цієї формули показує, що σ_{ρ} збільшується зі зменшенням ρ і θ . При $\rho = r_y$ і $\theta = 0$ радіальне напруження розтягу досягає максимуму:

$$\sigma_{\rho} = \left[\frac{\sigma_s}{\gamma\sqrt{3}} \right] \left[\ln \frac{R}{r_y} - \theta^2 \right] + \frac{\mu Q}{\pi R s}. \quad (8)$$

Експериментально встановлено [6], що кут γ , що визначає протяжність вогнища пластичної деформації, може бути прийнятий рівним одному радіану: $\gamma = 1$ рад. У

цьому випадку максимальне за осередком деформації радіальне напруження розтягу, буде дорівнювати

$$\sigma_{\rho} = \left[\frac{\sigma_s}{\sqrt{3}} \right] \left[\ln \frac{R}{r_y} \right] + \frac{\mu Q}{\pi R s} . \quad (9)$$

Порівнюючи отриманий результат з виразом для витяжки порожнистої циліндричної заготовки було встановлено, що при витяжці коробчастих деталей напруження $\sigma_{\rho \max}$ на бісектрисі кута 2γ в 1,73 рази менше, ніж максимальне радіальне напруження на розтяг, що виникає при витяжці циліндричних деталей. Зазначене пояснюється розвантажувальною дією дотичних напружень, що виникають внаслідок відсутності осьової симетрії деформування при витяжці коробчастих деталей і сприятливого напрямку цих напружень до центру криволінійної ділянки контуру на межі зон вигину та витяжки. Цей висновок добре підтверджується практикою – гранично допустимий ступінь деформації при витяжці низьких коробчастих деталей приблизно в 1,5-2 рази вище, ніж при витяжці циліндричних деталей.

Внаслідок неоднакових умов деформування на різних ділянках контуру, а також анізотропії механічних властивостей матеріалу заготовки висота коробчастих деталей ще більш нерівномірна, ніж висота вісесиметричних деталей, отриманих витяжкою. Тому в технологічному процесі виготовлення таких деталей передбачають обрізання нерівного краю. Припуск на обрізання залежить від відносної висоти деталі. Чим вона більша, тим більший припуск. Внаслідок цього витягнуті деталі (або напівфабрикати) мають нерівномірну висоту: на кутових ділянках висота більша, а на прямолінійних – менше. Крім того, нерівномірні за контуром матриці умови втягування заготовки викликають нерівномірний напружений стан стінок деталі, що може призвести до її руйнування.

При витяжці в кутових ділянках контуру деталі відбувається природне потовщення фланця, це явище враховується при визначенні зазору між пуансоном і матрицею штампу для витяжки: у кутових ділянках зазор повинен бути більшим, ніж на прямолінійних ділянках контуру матриці. Відповідно до практичних даних на прямолінійних ділянках контуру зазор між пуансоном і матрицею $z = 1,25s$ і на криволінійних ділянках $z = (1,3-1,4)s$. Напрямок зазору байдужий на всіх операціях витяжки, окрім останньої. При витяжці деталей з необхідними зовнішніми розмірами зазор призначають зменшуючи розміри пуансона, при витяжці деталей з необхідними внутрішніми розмірами – збільшуючи розміри матриці. Для створення хоча б приблизно однакових умов втягування заготовки в матрицю по всьому контуру на прямолінійних її ділянках штучно збільшують опір втягування заготовки шляхом використання спеціальних перетяжних ребр, які служать своєрідним гальмом при переміщенні заготовки щодо матриці. Перетяжні ребра застосовують тільки при необхідності, оскільки їх установка ускладнює штамп і збільшує його вартість.

Ще більшу нерівномірність деформацій викликає витяжка коробчастих деталей з біметалів. На загальну знакозмінність напружень накладається різна величина деформацій шарів біметалічної заготовки, що викликає вигин і короблення прямолінійних частин напівфабрикату, і тому, неможливість отримання якісного виробу. На основі аналізу напружено-деформованого стану заготовки в процесі витяжки біметалу запропоновані такі положення: якщо механічні властивості шарів металу не відрізняються – двошаровий метал поводить, як одношаровий, то не змінюється співвідношення товщин двошарового металу після втягування; якщо механічні властивості шарів відрізняються, тоді змінюється співвідношення товщин двошарового металу після втягування. Так при зменшенні відношення σ_{s1}/σ_{s2} зменшується на виході товщина першого шару, що має менші механічні властивості;

співвідношення товщини після витягування залежить також від початкового відношення товщин металу.

Висновки. Наведені вище методики визначення поля напружень і деформацій не враховують геометричних характеристик вогнища деформації та технологічних умов формозміни. Неясність у визначенні параметрів анізотропії та кута між напрямком першого головного напруження та віссю X не дає можливості використовувати їх у технологічних розрахунках. Тому необхідно зробити нахил у бік експериментально-теоретичних методів досліджень для визначення механічних характеристик біметалів з подальшим їх використанням у виробничих розрахунках.

На основі проведеного аналізу напружено-деформованого стану заготовки при витяжці коробчастих деталей визначено наступні методи та прийоми для отримання якісних деталей витяжкою та економії матеріалу: застосовувати метали з близькими механічними властивостями; прагнення до збільшення кривизни кутових зон заготовки; проводити розрахунок розмірів заготовки для витяжки із залученням сучасного математичного апарату (метод потенціалу); замість гальмівних ребр застосовувати гальмівні середовища; впливати на осередок деформації, збільшуючи дію розвантажувально-дотичних напружень.

Список літератури

1. Стеблюк В. І., Холявік О. В. Побудова контуру заготовки на основі математичної моделі процесу витягування порожнистих виробів коробчастої форми. *Збірник наукових праць. Обробка металів тиском*. 2009. №1 (20). С. 63–67.
2. Загорянський В. Г., Драгобецький В. В., Костін В. В. Про випробування мідно-алюмінієвих композицій, отриманих плакуванням вибухом. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2012. №5. С. 67–71.
3. Тітов В. А., Борис Р. С., Тривайло М. С. Напрямки розвитку способів виготовлення біметалевих трубчастих елементів з різнорідних матеріалів витягуванням. *Вісник Національного технічного університету України Київський політехнічний інститут, серія Машинобудування*. 2009. №56. С. 154–159.
4. Miyazaki S., Kumai S., Sato A. Plastic deformation of Al–Cu–Fe quasicrystals embedded in Al₂Cu at low temperatures. *Mater Sci Eng*. 2005. A 300–5. P. 400–401.
5. Пузир Р. Г. Пластична деформація матеріалів, що мають різні механічні властивості. *Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування*: зб матер. Всеукр. наук.-практ. конф. Херсон: Херсонська державна морська академія, 2012. С.137–139.
6. Гайкова Т. В. Кінцева-елементна модель деформування біметалічної заготовки при отриманні витяжкою коробчастих деталей. *Вісник національного технічного університету ХПІ*. 2016. № 30 (1202). С. 21–25.
7. Козлов Л. Г., Сивак І. О., Шевчук Є. І., Ковальчук В. А. Ротаційна витяжка вісесиметричних деталей з використанням мехатронного приводу. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2017. № 1. С. 93-98.
8. Tenckhoff E. Review of the mechanism of deformation, texture and mechanical anisotropy in materials during drawing with thinning of thick-walled axisymmetric workpieces. *Journal of ASTM International*. 2005. Vol. 2. P. 1.
9. Аніщенко А. С. Прогресивні технологічні рішення в обробці металів тиском: навч. посіб. Маріуполь: ДВНЗ ПДТУ, 2013. 180 с.
10. Холявік О. В., Меленчук Ю. П., Вишневський П. С., Орлюк М. В. Порівняння параметрів НДС при витягуванні квадратних у плані коробчастих виробів із заготовок, розрахованих інженерним методом та методом потенціалу. *Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском і якості фахової освіти*: зб. матеріалів V Міжнар. наук.-техн. конф. Київ: НТУУ КПІ, 2014. С. 132.

References

1. Stebliuk, V.I., & Holiavik, O.V. (2009). Pobudova konturu zahotovky na osnovi matematychnoi modeli protsesu vytiahuvannya porozhnystykh vyrobiv korobchastoi formy [Building a workpiece contour based on a

- mathematical model of the process of drawing hollow box-shaped products]. *Zbirnyk naukovykh prats. Obrobka metaliv tyskom – Collection of scientific works. Pressure treatment of metals, 1*, 63–67 [in Ukrainian].
2. Zahorianskyi, V. H., Drahobetskyi, V. V. & Kostin, V. V. (2012). Pro vyprobuvannya midno-aliuminiievyykh kompozytsii, otrymanykh plakuvanniam vybukhom. [On the testing of copper-aluminum compositions obtained by cladding by explosion]. *Visnyk KrNU imeni Mykhaila Ostrohradskoho – Bulletin of Mykhailo Ostrogradsky KrNU, 5*, 67-71 [in Ukrainian].
 3. Titov, V.A., Borys, R.S. & Tryvailo, M.S. (2009). Napriamky rozvytku sposobiv vyhotovlennia bimetalievyykh trubchastykh elementiv z rizonridnykh materialiv vytyahuvanniam [Directions for the development of methods of manufacturing bimetallic tubular elements from dissimilar materials by drawing]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy Kyivskiy politekhnichnyi instytut, seriia Mashynobuduvannia - Bulletin of the National Technical University of Ukraine, Kyiv Polytechnic Institute, Mechanical Engineering series, 56*, 154–159 [in Ukrainian].
 4. Miyazaki, S., Kumai, S., Sato, A. (2005). Plastic deformation of Al–Cu–Fe quasicrystals embedded in Al₂Cu at low temperatures. *Mater Sci Eng. A* 300–5. P. 400–401 [in English].
 5. Puzyr, R.H. (2012). Plastychna deformatsiia materialiv, shcho maiut rizni mekhanichni vlastyvoli. [Plastic deformation of materials with different mechanical properties.]. Modern power plants on transport and technologies and equipment for their maintenance: *Vseukrainska naukovo-praktychna konferentsiia (Kherson) – All-Ukrainian Science and Practice Conf, (pp.137–139)* . Kherson : Khersonska derzhavna morskha akademiia [in Ukrainian].
 6. Haikova T.V. (2016). Kintseva-elementna model deformuvannia bimetalichnoi zahotivli pry otrymanni vytyazhkoiu korobchastykh detalei [Finite-element model of deformation of a bimetallic billet when boxed parts are produced by a drawing machine]. *Visnyk natsionalnoho tekhnichnoho universytetu KhPI – Bulletin of the KhPI National Technical University, 30 (1202)*, 21–25 [in Ukrainian].
 7. Kozlov, L.H., Syvak, I.O., Shevchuk, Ye.I. & Kovalchuk, V.A. (2017). Rotatsiina vytyazhka visesymetrychnykh detalei z vykorystanniam mekhatronnoho pryvodu [Rotary extraction of axisymmetric parts using a mechatronic drive]. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu – Bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute, 1*, 93-98 [in Ukrainian].
 8. Tenckhoff, E. (2005). Review of the mechanism of deformation, texture and mechanical anisotropy in materials during drawing with thinning of thick-walled axisymmetric workpieces. *Journal of ASTM International, Vol. 2*, P. 1 [in English].
 9. Anishchenko, A.S. (2013). *Prohresyvni tekhnologichni rishennia v obrobsi metaliv tyskom [Advanced technological solutions in metal forming]*. Mariupol: DVNZ PDTU [in Ukrainian].
 10. Kholiavik, O.V., Melenchuk, Yu.P., Vyshnevskiy, P.S. & Orliuk, M.V. (2014). Porivniannia parametriv NDS pry vytyahuvanni kvadratnykh u plani korobchastykh vyrobiv iz zahotovok, rozrakhovanykh inzhenernym metodom ta metodom potentsialu [Comparison of VAT parameters when drawing square box products from blanks calculated by the engineering method and the potential method]. Theoretical and practical problems in the processing of materials by pressure and the quality of professional education: *V Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiia (Kyiv) – V International Scientific and Technical Conference (p.132)*. Kyiv: NTUU KPI [in Ukrainian].

Tetiana Haikova, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Dmytro Kovalchuk**, post-graduate, **Roman Haikov**, post-graduate
Kremenchuk Mykhailo Ostrogradskyi National University, Kremenchuk, Ukraine

Analysis of Scientific and Technical Innovations in the Field of Mechanical Engineering with the Identification of Regularities in the Influence of Technological Parameters

Based on the analysis of scientific and technical information, it established that today layered metals are one of the most modern and promising materials used in all branches of mechanical engineering and national economy. The use of bimetals allows you to achieve significant cost savings, obtain materials with unique properties, increase production efficiency and competitiveness of a wide class of parts and equipment.

The purpose of the article is to analyze the methods of determining the stress state of a workpiece with heterogeneous mechanical characteristics in the process of plastic deformation and to determine the stress-strain state when drawing rectangular parts from bimetals.

As a result, of unequal deformation conditions in different parts of the contour, as well as anisotropy of the mechanical properties of the workpiece material, the height of box-shaped parts is even more uneven than the height of axisymmetric parts obtained by drawing. Therefore, in the manufacturing process of such parts, cutting of the uneven edge provided. The trimming allowance depends on the relative height of the part. The bigger it is, the bigger the allowance.

Since the flange naturally thickens during drawing in the corner sections of the part contour, this phenomenon taken into account when determining the gap between the punch and the die of the drawing die: in the corner sections, the gap should be greater than in the straight sections of the die contour.

Extrusion of box-shaped parts from bimetals causes even greater unevenness of deformations. A different amount of deformation of the layers of the bimetallic work piece imposed on the general sign change of the voltages, which causes bending and warping of the rectilinear parts of the semi-finished product, and therefore, the impossibility of obtaining a high-quality product. Based on the analysis of the stress-strain state of the workpiece in the process of drawing bimetal. The following provisions are proposed: if the mechanical properties of the metal layers do not differ - the two-layer metal behaves like a single-layer, then the ratio of the thicknesses of the two-layer metal does not change after drawing; if the mechanical properties of the layers differ, then the ratio of the thicknesses of the two-layer metal changes after drawing. Thus, when the ratio σ_{s1}/σ_{s2} decreases, the thickness of the first layer, which has lower mechanical properties, decreases at the output; the thickness ratio after drawing also depends on the initial ratio of metal thicknesses.

Based on the analysis of the stress-strain state of the work piece during the extraction of box parts, the following methods and techniques have been determined for obtaining high-quality parts by extraction and saving material: use metals with similar mechanical properties; the desire to increase the curvature of the corner zones of the work piece; to calculate the dimensions of the work piece for the hood with the involvement of modern mathematical apparatus (potential method); use brake media instead of brake ribs; affect the center of deformation, increasing the effect of unloading tangential stresses.

bimetal, drawing, anisotropic material, workpiece, deformation, stress, mechanical properties

Одержано (Received) 26.04.2023

Прорецензовано (Reviewed) 04.05.2023

Прийнято до друку (Approved) 29.05.2023

УДК 007.52

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7\(38\).2.27-33](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).2.27-33)

М.О. Годунко, доц., канд. техн. наук, **О.А. Кислун**, доц., канд. техн. наук, **В.А.Мажара**, доц., канд. техн. наук, **В.К. Щербина**, асп., **Р.А. Кравченко**, асп., **В.В. Ключкін**
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: maksimgodunko83@gmail.com

Розробка методики силового розрахунку вертикально орієнтованого захватного пристрою

Виконано обґрунтування силового розрахунку важільних захватних пристроїв роботів із врахуванням їх конструктивних параметрів та умов функціонування. Виведено рівняння для розрахунку сил затиску в захватному пристрої та на основі цих рівнянь побудовано залежності сил затиску від приведених умов. На основі побудованих залежностей зроблено висновки та надано відповідні рекомендації по виконанню та функціонуванню захватних пристроїв роботів.

захватні пристрої, сили затиску, промислові роботи, сумарні сили затиску

Постановка проблеми. Виходячи із основного цільового призначення промислових роботів, їх захватні пристрої повинні забезпечувати надійний затиск утримуваних ними деталей при різних напрямках і режимах їх руху та виконанні необхідних операцій (встановлення, з'єднання, запресовування деталей та ін.). Сам процес транспортування та позиціонування повинен здійснюватись з дотриманням наступних вимог: максимально-доцільною швидкістю або прискоренням; необхідною точністю; мінімальними силовими навантаженнями на захват та конструкцію робота; необхідною якістю виконання операції; мінімальними енергетичними потребами; дотриманням необхідних вимог по безпеці виконання операцій та ін.

© М.О. Годунко, О.А. Кислун, В.А.Мажара, В.К. Щербина, Р.А. Кравченко, В.В. Ключкін, 2023