

Тітов В.А.¹, Лабур Т.М.², Борис Р.С.¹

¹Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут". Україна, Київ.

²Інститут електрозварювання ім. Е.О. Патона НАН України. Україна, Київ

ОБГРУНТУВАННЯ ПІДСТАВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ МАШИНОБУДІВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ БІМЕТАЛЕВИХ ТРУБЧАСТИХ ЕЛЕМЕНТІВ ВИТЯГУВАННЯМ

Анотація

Виконано експериментально-аналітичне дослідження процесу спільної витяжки біметалічного трубчастого елемента. На основі отриманих результатів обґрунтована схема процесу виготовлення біметалічного трубчастого елемента яка адаптована під машинобудівне виробництво.

Abstract

Experimentally and analytical analysis of the combined drawing bimetallic tubular element. The results give possibility well found the bimetallic tubular element making chart which adapted under the machine-building manufacture.

Підвищення ефективності наукоємних виробів авіакосмічної промисловості постійно стимулює удосконалення конструкції їх елементів, впровадження нових матеріалів з наперед заданими властивостями та розроблення технологій їх виготовлення.

Для забезпечення необхідних функціональних та конструктивних властивостей трубопровідних паливних систем використовують шаруваті металеві композиції трубчастої форми (біметалеві трубчасті елементи – БТЕ). Вони забезпечують ефективне з'єднання трубопроводів з різних металевих матеріалів (алюміній та титан, титан та сталь тощо).

Традиційні технології виготовлення БТЕ спрямовані на крупносерійне виробництво (металургійні технології) або мають високу трудомісткість та специфіку реалізації (вибухові технології).

Металургійні технології забезпечують виробництво біметалевих напівфабрикатів у вигляді листа або трубчастої заготовки шаруватої структури при реалізації процесів пресування при якому завдяки великому ступеню й високій швидкості деформації, пресуванням забезпечується надійна міцність зварювання шарів двошарової пакетної заготовки. Застосовують також біметалічну заготовку. В основі цього способу лежить спільне витікання металів, що становлять багатошарову заготовку, також волочіння [1]. При прокатці вихідними є двошарові (пакетні) або біметалічні заготовки. При безперервній прокатці

застосовують валки з "круглою" або "комбінованою" калібруванням. При цьому трохи зменшується різнотовщинність шару, що плакує, зварювання шарів виходить більше міцної. Перевагою цього способу є короткочасність процесу й висока продуктивність стана.

До основних недоліків способу варто віднести знижену якість внутрішньої поверхні й значну (до 50%) поздовжню й поперечну різнотовщинність шару, що плакує, а також обмеженість сортаменту труб по діаметру, товщині стінки, сполученням металів [2].

Лиття полягає в послідовному заливанні складових металів в обертову форму (кокіль) або заливанню розплавленого металу шару, що плакує, у механічно оброблену й підігріту до заданої температури гільзу з металу основного шару. При цьому за рахунок розмиву й перемішування металів утворюються перехідні шари [3].

Реалізація цих процесів забезпечує високу продуктивність. Але в той же час ці технології економічно не доцільно використовувати для виготовлення одиничних або малих серій БТЕ.

Технології що, засновані на використанні енергії вибуху, забезпечують виготовлення напівфабрикатів у вигляді шаруватої структури листів та труб [4]. Але ці технології вимагають створення спеціалізованих дільниць та обладнання, дотримання вимог техніки безпеки та інших, що не дає можливості їх широкому розповсюдженню.

БТЕ виготовляються безпосередньо з напівфабрикатів, якщо вони отримані у вигляді шаруватих трубчастих заготовок. З листових шаруватих напівфабрикатів БТЕ можуть бути виготовлені з використанням операцій витягування циліндричних виробів [5, 6], а тобто по двостадійній технології (біметалевий лист, а потім циліндричний трубчастий елемент).

Не залежно від технології виготовлення біметалевих сполук, відомо [6], що для з'єднання шарів необхідно виконання таких умов:

- високий тиск на граничній поверхні шарів для забезпечення фізичного контакту металевих шарів та зближення їх на відстань співмірну з міжатомним рівнем;

- високий ступінь деформацій, що забезпечує руйнування оксидних плівок та вивільнення

ювенільних поверхонь металу, які необхідні для контактної взаємодії шарів. Наявність деформацій зсуву шарів також поліпшує умови взаємодії металів шарів;

- підвищення енергетичного стану атомів металів шарів для виникнення з'язків металів шарів за механізмами їх зчеплення (дифузійний, створення інтерметалітів та інші), наприклад, за рахунок нагрівання;

- забезпечення захисту зони деформації від хімічного та фізичного впливу навколишнього середовища.

Зниження трудомісткості виготовлення БТЕ з малими серіями може бути досягнуто при використанні технологій традиційного машинобудівного виробництва.

Метою дослідження є вирішення актуальної науково-практичної задачі створення технології виготовлення біметалевих трубчастих елементів з листових заготовок різномірних матеріалів, що

адаптована до умов реалізації на машинобудівних підприємствах з використанням універсального обладнання. Для цього в статті авторами на першому етапі дослідження вирішені наступні завдання:

1. Розроблена структура технологічного процесу сумісного витягування циліндричної шаруватої заготовки з листових попередньо розділених різномірних металів для виготовлення БТЕ;

2. Проведено аналіз напружено-деформованого стану, силових та кінематичних особливостей взаємодії шарів на операціях (етапах) витягування.

3. Експериментальне обґрунтування з взаємодії шарів різномірних металів при спільному витягуванні.

Типову схему процесу виготовлення БТЕ, яку орієнтовано на виробництво машинобудівних підприємств наведено в табл. 1 [8].

Структура операцій процесу отримання перехідників витягуванням має наступний вигляд:

- 1) підготовка заготовок;

Таблица 1

Схема процесу виготовлення БТЕ

№ п/п	Назва операції	Ескіз операції
1	Розкрій плоских заготовок	
2	Сумісне витягування циліндричної деталі	
3	Обрізка донної частини	
4	Видалення частин окремих шарів для формування перехідних зон БТЕ	

2) сумісне витягування циліндричної деталі (стаканчика) з заготовок різнорідних металів (перший етап);

3) витягування стаканчика з потоншенням стінок (другий етап);

4) видалення донної частини стаканчика для отримання трубчатої деталі.

Якість БТЕ в схемі процесу витягування визначається другою операцією — сумісним витягуванням циліндричної деталі. На цій операції формується з'єднання шарів та забезпечується його міцність.

В аналізі процесу сумісного витягування заготовок з різнорідних металів при деформуванні стаканчика використано рішення, що отримано в роботі [7]. Контактна взаємодія шарів при витягуванні зводиться до аналізу радіальних напружень, що виникають в шарах металу. Максимальні контактні напруження між шарами при витягуванні виникають в зоні перетяжного ребра [8].

Величина радіальних напружень у вказаній зоні визначається залежностями [7]:

при $s_H < s_B$ — основний шар — зона розтягу

$$\sigma_{r_B} = -\frac{2}{\sqrt{3}}\sigma_{s_B} \ln \frac{r_{zp}}{r} - \frac{2}{\sqrt{3}}\sigma_{s_H} \ln \frac{r_H}{r_{zp}} \quad (1)$$

при $s_H > s_B$ — основний шар — зона стиску

$$\sigma_{r_H} = \frac{2}{\sqrt{3}}\sigma_{s_H} \ln \frac{r}{r_{zp}} - \frac{2}{\sqrt{3}}\sigma_{s_B} \ln \frac{r_{zp}}{r_B} - \sigma_K, \quad (2)$$

де s_H і s_B — відповідно товщини зовнішнього та внутрішнього шару;

σ_{r_B} і σ_{r_H} — відповідно границя текучості металів зовнішнього та внутрішнього шару;

r_n , r_o , r_{zp} — відповідно радіуси зовнішньої, внутрішньої та граничної поверхонь циліндричної частини заготовки після витягування;

σ_K — контактне напруження на зовнішній поверхні.

На граничній поверхні величина радіальних напружень внутрішнього шару дорівнює радіальним напруженням зовнішнього шару. Тому величини радіальних напружень зручно розрахувати з використанням залежності (1). Графічно залежність максимальних напружень взаємодії шарів від співвідношення товщин шарів титану VT-1 та алюмінію АМцМ показана на рис. 1.

Аналіз залежності (рис. 1) показує, що напруження контактної взаємодії є стискаючими. Їх величина значно менше ніж границя текучості алюмінієвого сплаву — матеріалу з меншими механічними властивостями (пари AL—Ti). Тому зчеплення металів за механізмами взаємодії не може бути отримано на даному етапі.

Радіальні напруження на першому етапі при витягуванні сприяють попередньому стисненню

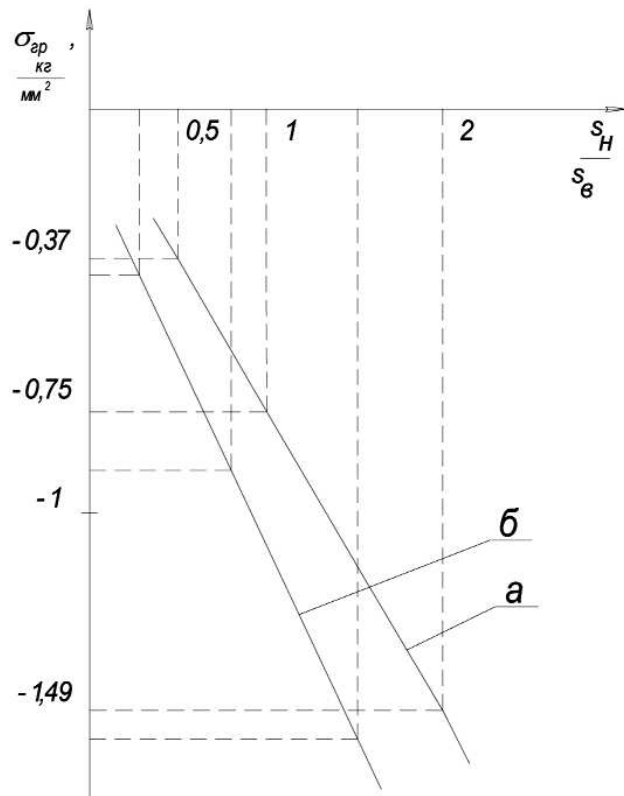


Рис. 1. Залежність радіальних напружень на граничній поверхні в залежності від співвідношення товщин шарів: а — титану та алюмінію; б — сталі та алюмінію

шарів деталі. Це забезпечує фізичний контакт шарів різнорідних металів на наступних операціях та захист зони контактних деформацій від впливу навколишнього середовища.

Для створення умов з'єднання шарів запропоновано використання на другому етапі операції витягування з потоншенням.

Моделювання процесу витягування двошарової заготовки було реалізовано за допомогою методу кінцевих елементів. В ході кінцево-елементного аналізу процесу двошарового витягування моделювали два матеріали такі як АМцМ і VT1-0 (алюміній — внутрішній шар, титан — зовнішній шар). Матеріали деформуючого інструменту (пуансону та матриці) вважали абсолютно жорсткими.

Враховуючи осьову симетрію було розглянуто половину перерізу, тобто плоску модель, для якої були задані умови симетрії вздовж осі У. Кінцево-елементна схема процесу витягування з потоншенням показана на рис. 2.

Для вузлів матриці задане нульове переміщення вздовж осей У та Х.

Задача вирішена у квазідинамічній постановці, тобто для процесу витягування пуансону задавалася не швидкість руху, а переміщення. Спочатку положення пуансону і матриці задавалося з

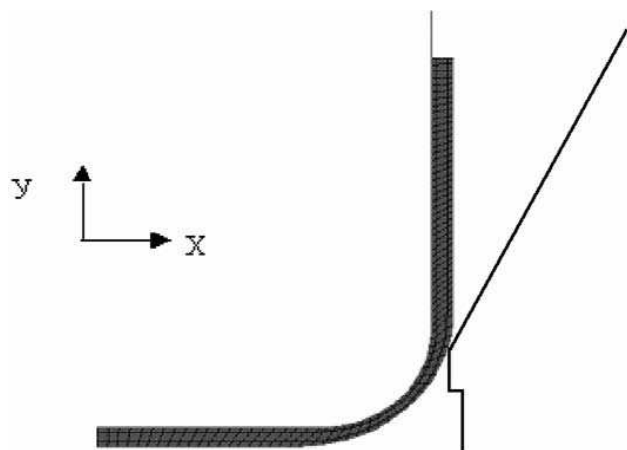


Рис. 2. Кінцево-елементна модель процесу витягування двошарової заготовки

умов зіткнення деформуючих інструментів з матеріалами зразків.

Кінцево-елементна модель витягнутого заздалегідь циліндричного стаканчика складалась з чотирьох-вузлових елементів.

При моделюванні величина коефіцієнту тертя між поверхнями була прийнятою: 0,15 — коефіцієнт тертя між зовнішнім і внутрішнім шарами стінки заготовки; 0,05 — коефіцієнт тертя пуансона і матриці відповідно між внутрішнім і зовнішнім шарами заготовки.

На рис. 3 представлені результати розрахунку процесу витягування з потоншенням двошарової заготовки в сталій зоні деформування у вигляді ізоліній напружень та деформацій.

Ці результати дозволили визначити характер розподілу напружень на контактній поверхні (рис. 4). Максимальні радіальні напруження (σ_x) співпадають з зоною зміни товщини двошарової заготовки,

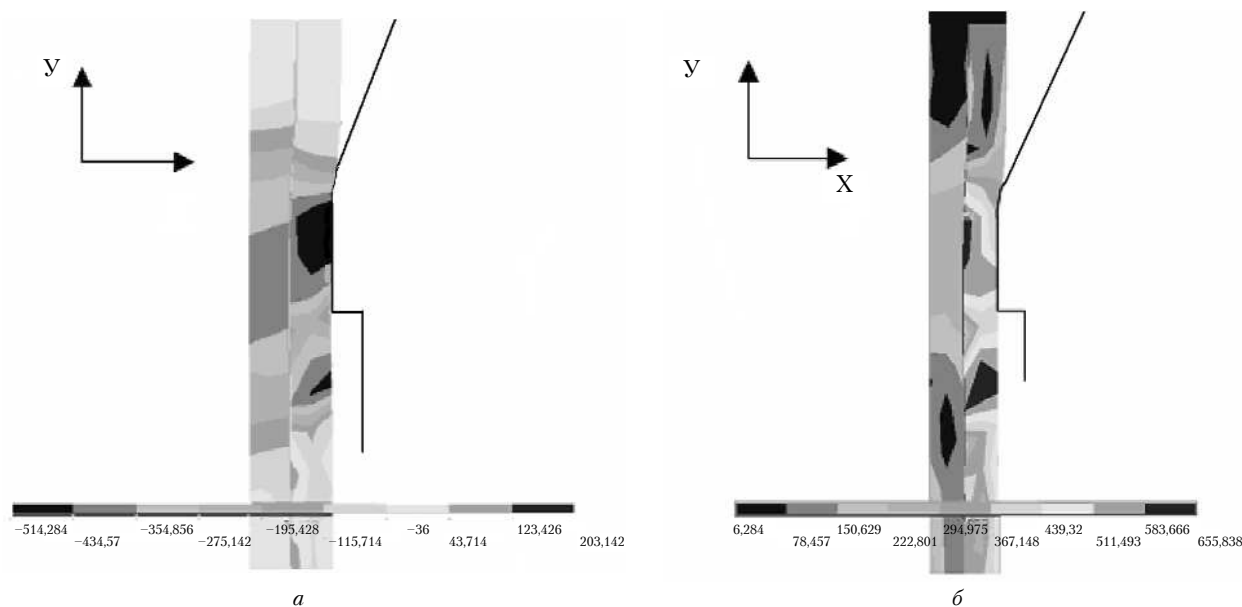


Рис. 3. Розподіл діючих напружень σ_x (a) та $\sigma_{екв}$ (б)

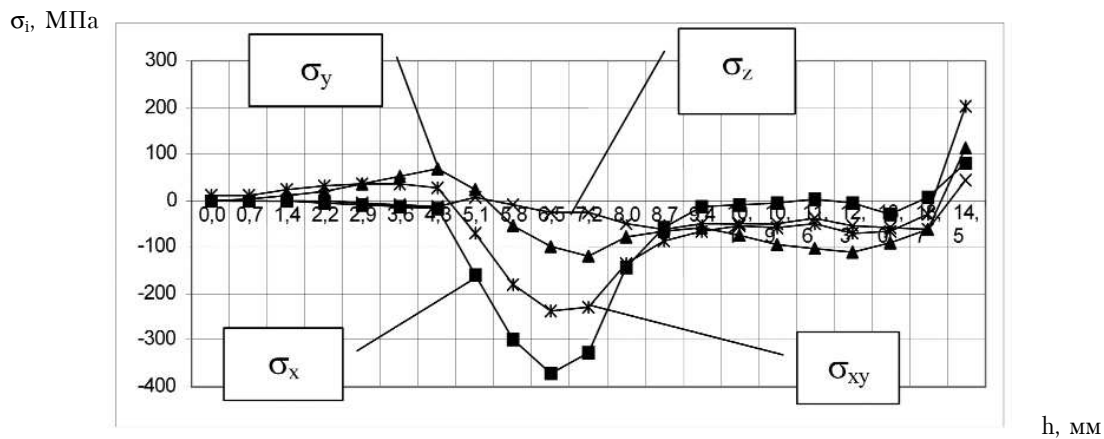


Рис. 4. Розподіл напружень σ_x σ_y σ_{xy} σ_z по осі Y на контактній поверхні

на вхідній частині матриці для витягування з потоншенням. Радіальні напруження є стискаючими, а їх величина досягає 380 МПа. Це значно перевищує границю пластичності алюмінієвого шару та сприяє зближенню шарів на граничній поверхні на міжatomну відстань. Розподіл деформацій на поверхні зовнішнього шару показано на рис. 5, а та внутрішнього шару на рис. 5, б двошарової заготовки повздовж контактної поверхні – осі ОУ. В зоні інтенсивного навантаження розвиваються деформації поверхневого шару ϵ_y , які забезпечують руйнування оксидних плівок. Їх супроводжують зсувні деформації протилежного знаку ϵ_{xy} , які створюють сприятливі умови для фізичної взаємодії шарів.

Особливості взаємодії шарів на контактній поверхні при проходженні заготовки в матрицю при витягуванні з потоншенням наведено на рис. 6. Зоні найбільших радіальних напружень відповідає ріст деформацій розтягу у внутрішнього шару і падіння їх у зовнішньому шарі. Слід зазначити,

що дані деформації відповідають за утворення ювенільних поверхонь на контактній поверхні, наявність яких робить можливим з'єднання різнорідних матеріалів на фізичному рівні.

З метою підтвердження передумов теоретичного аналізу авторами були виконані експериментальні дослідження. Багатошарові циліндричні елементи витягувалися в наступних комбінаціях розміщення шарів: сталь-алюміній, титан-алюміній, титан-сталь, та інших.

Процес витягування реалізовано на гідравлічному пресі в інструментальному штампі, який показано на рис. 7.

Перед витягуванням контактні поверхні заготовок зачищалися наждачним папером з наступним обезжирюванням розчинником (ацетоном) або мильною водою з подальшою промивкою чистою теплою водою.

На першому переході витягування номінальний зазор між матрицею та пуансоном складав суму товщин шарів вихідних заготовок для

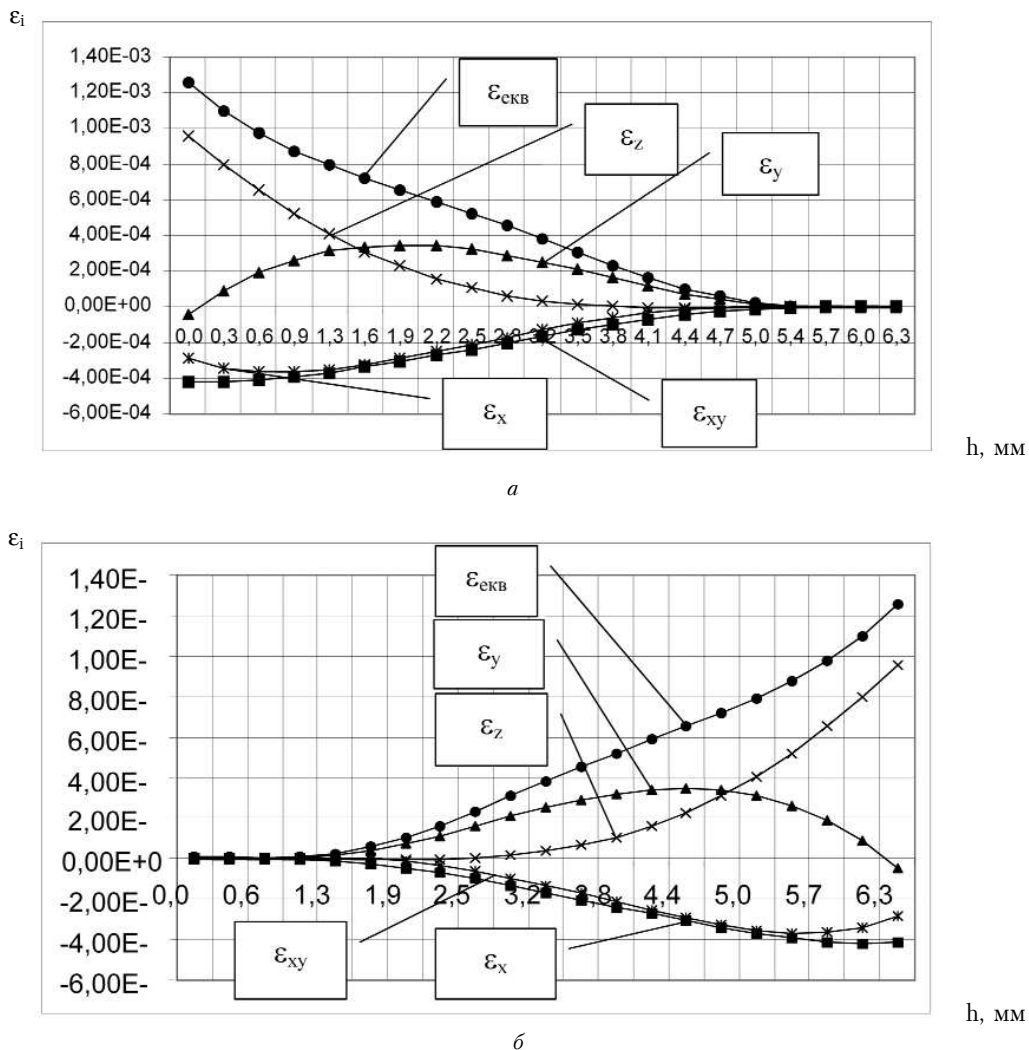


Рис. 5. Розподіл деформацій ϵ_x , ϵ_y , ϵ_{xy} , ϵ_z по осі У у зовнішньому шарі (а) та у внутрішньому шарі (б)

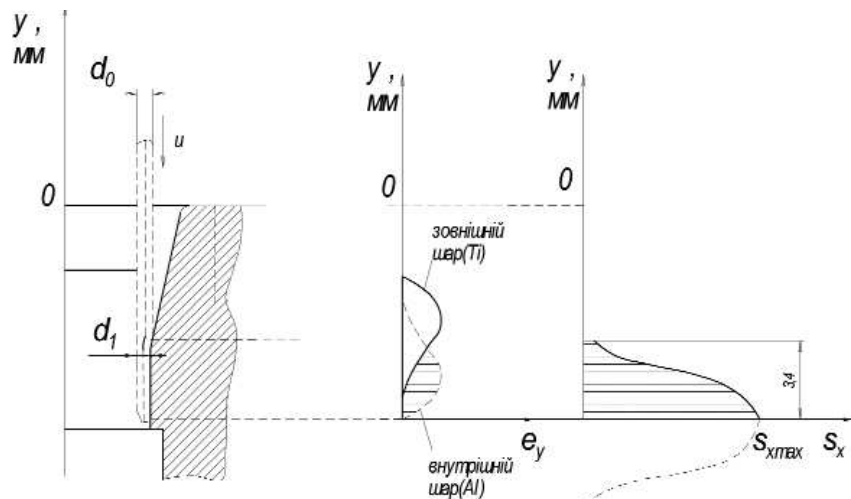


Рис. 6. Зв'язок деформацій ϵ_y шарів біметалічного циліндричного елемента вздовж осі OY та радіальних напружень σ_x на контактній поверхні

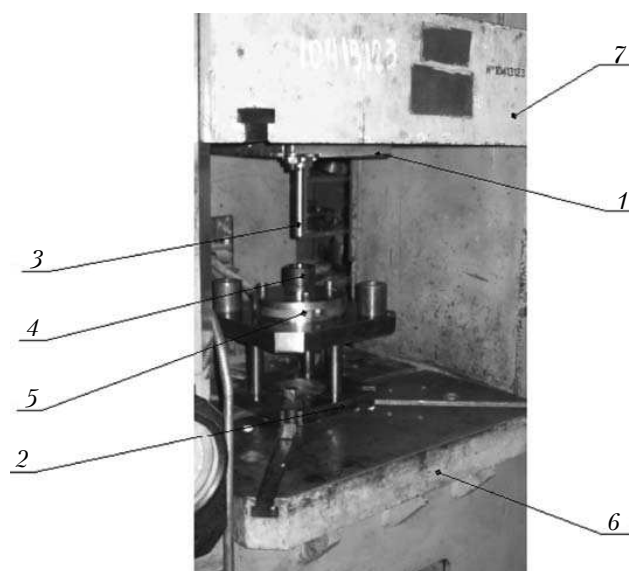


Рис. 7. Універсальний штамп для витягування циліндричних деталей, розміщений на серійному гідравлічному пресі ПД-476:

- 1 – верхня плита штампа, 2 – нижня плита штампа,
3 – пуансон, 4 – матриця, 5 – матрицетримач,
6 – стіл пресу, 7 – верхній повзун



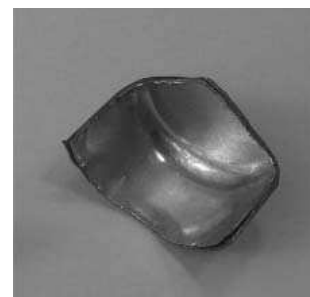
б



е



а



з

Рис. 8. Експериментальні зразки двошарових елементів сталь-алюміній:

- а – після першого витягування; б – після витягування з потоншенням; е – відсутність зв'язків на граничній поверхні після першого витягування; з – наявність зв'язків після витягування з потоншенням



a



б

Рис. 9. Шар інтерметалідів, який створено в результаті пластичної взаємодії шарів алюмінію та сталі в різних зонах а та б по довжині заготовки

Для оцінки взаємодії шарів при витягуванні проведені металографічні дослідження поперечних розрізів циліндричної стінки біметалевих елементів. На рис. 9 показана зона взаємодії шарів алюмінію та сталі. Фазовий склад цієї зони представляє собою інтерметалідні з'єднання алюмінію з залізом та нікелем.

Виконані дослідження показали принципову можливість створення технології виготовлення біметалевих трубчатих (циліндричних) елементів з використанням процесів витягування з листових відокремлених заготовок різнорідних металів, що орієнтована на виробництво у машинобудівних підприємствах.

Висновки

1. На підставі виконаного теоретичного аналізу було виконане аналітичне дослідження напружено-деформованого стану, в ході якого даний процес сумісного витягування з потоншенням є перспективним для технологічного процесу виготовлення біметалевого трубчастого елемента.

2. Проведені експериментальні дослідження по сумісному витягуванню двошарових заготовок, показали, що даний процес є можливим при використанні відповідних комбінацій металів. Металографічні дослідження довели, що при витягуванні багатошарового елемента на другому переході комбінованого витягування з потоншенням відбувається взаємодія шарів та утворення в зоні взаємодії інтерметалідів.

3. Подальший розвиток досліджень процесу виготовлення біметалевого трубчастого елемента, враховуючи аналіз наявних досліджень, необхідно провести заходи для покращення проведення процесу:

- реалізувати термомеханічну взаємодію шарів;
- забезпечити фізико-конструктивне покращення взаємодії шарів;
- застосовувати нагрів в технології виготовлення біметалевого трубчастого елемента перехідників витягуванням та розміщення шарів у деталі.

Література

1. *Король В.К., Гильденгорн М.С.* Основы технологии производства многослойных металлов. — М.: Металлургия, 1970. — 237 с.
2. *Чепурко М.И.* и др. Производство биметаллических труб и прутков. — М.: Металлургия, 1986. — 240 с.
3. *Чукмасов А.С., Бондарь Н.П., Сапогова А.Е.* и др. Износостойкие биметаллические горячекатаные трубы из центробежно-литых заготовок. — Производство труб, 1979. — №5. — С. 17–21.
4. *Астров Е.И.* В сб. "Производство и применение биметаллов и листов с защитными покрытиями". Изд. ЦИИНЧМ, 1962. — С. 8–12.
5. *Формообразование* деталей из биметаллических листовых материалов/Захарченко В.В., Белецкий В.М., Титов В.А. и др. — Обработка металлов давлением в машиностроении. — Харьков, "Вища школа", 1982, вып. 18. — С. 55–61.
6. *Корина Т.М.* Исследование процесса вытяжки биметалла. Дис. канд. техн. наук. — 1972. — 312 с.
7. *Хансен М., Андерко К.* Структура двойных сплавов. Металлургиздат, 1962. — 432 с.
8. *Титов В.А., Борис Р.С.* Розробка структури машинобудівної технології виготовлення біметалевих елементів та теоретичні підстави для її реалізації. — Вестник Национального технического университета Украины "КПИ", серия "Машиностроение". — Киев, 2006, №49.