

УДК 621.983.07:669.017

Тітов В. А.
Борис Р. С.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ БІМЕТАЛЕВИХ ТРУБЧАСТИХ ЕЛЕМЕНТІВ ВИТЯГУВАННЯМ

В машинобудуванні на сучасному етапі знаходять широке застосування шаруваті металеві композиції трубчастої форми (біметалеві трубчасті елементи – БТЕ). БТЕ, як правило, використовуються для з'єднання трубопроводів з різнорідних металів у відповідальних конструкціях аерокосмічної техніки. Процеси пластичного формозмінення двохшарових матеріалів в даний час мало досліджені.

Традиційні технології виготовлення біметалевих деталей циліндричної форми спрямовані на крупносерійне виробництво (металургійні технології) [1, 2] або мають високу трудомісткість та специфіку реалізації (технології з використанням енергії вибуху) [3]. Але в той же час ці технології економічно не доцільно використовувати для виготовлення одиничних або малих серій БТЕ в умовах машинобудівних виробництв.

Таким чином, розвиток теорії пластичного формозмінення двохшарових матеріалів здобуває особливу актуальність в машинобудівному виробництві.

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

Типову схему процесу виготовлення БТЕ, який орієнтовано на виробництво в машинобудівних підприємствах розроблено авторами статті [4]. Структура операцій процесу отримання перехідників витягуванням з листових заготовок включає:

- підготовку заготовок;
- сумісне витягування циліндричної деталі (стаканчика) з відокремлених заготовок різнорідних металів (перший етап);
- витягування стаканчика з потоншенням стінок (другий етап);
- видалення донної частини стаканчика для отримання трубчастої деталі.

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

Незалежно від технології виготовлення відомо, що для з'єднання шарів з різних металів 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 зв'язків металів шарів за механізмами їх зчеплення (дифузійний, створення інтерметалідів та інші), наприклад, за рахунок нагрівання;
- забезпечення захисту зони деформації від хімічного та фізичного впливу навколишнього середовища та інші.

Метою дослідження є вирішення актуальної науково-практичної задачі подальшого теоретичного та експериментального обґрунтування процесу виготовлення біметалевих трубчастих елементів з реалізацією запропонованої технології.

Для цього вирішені наступні завдання:

1. Проведено аналіз напружено-деформованого стану, силових та кінематичних особливостей взаємодії шарів на операціях (етапах) витягування.
2. Експериментально обґрунтовано взаємодію шарів різнорідних металів при спільному витягуванні.

Теоретично напружено-деформований стан процесу сумісного витягування двошарової заготовки моделювався методом кінцевих елементів в холодному та нагрітому стані за допомогою пакету програм CAD/CAE ANSYS. Для розрахунку даного процесу брали різні комбінації з'єднання двох матеріалів таких як алюміній (АМцМ), титан (BT1-0), та сталь (12X18H10T). Матеріалам деформуючого інструменту (пуансон, матриця) задавались нульові переміщення тобто вони вважались абсолютно жорсткими.

Враховуючи вісєву симетрію було розглянуто половину перерізу, тобто плоску модель, для якої були задані умови симетрії вздовж осі циліндричного стакана.

В ході кінцево-елементного розрахунку в холодному та нагрітому стані величина коефіцієнту тертя між контактними поверхнями була прийнята: 0,15 – коефіцієнт тертя між зовнішнім і внутрішнім шарами стінки заготівки; 0,05 – коефіцієнт тертя пуансона і матриці відповідно між внутрішнім і зовнішнім шарами заготівки.

На рис. 1 представлені результати розрахунку процесу витягування з потоншенням в холодному та нагрітому стані двошарової заготовки АІ – Сталь в сталій зоні деформування у вигляді ізоліній.

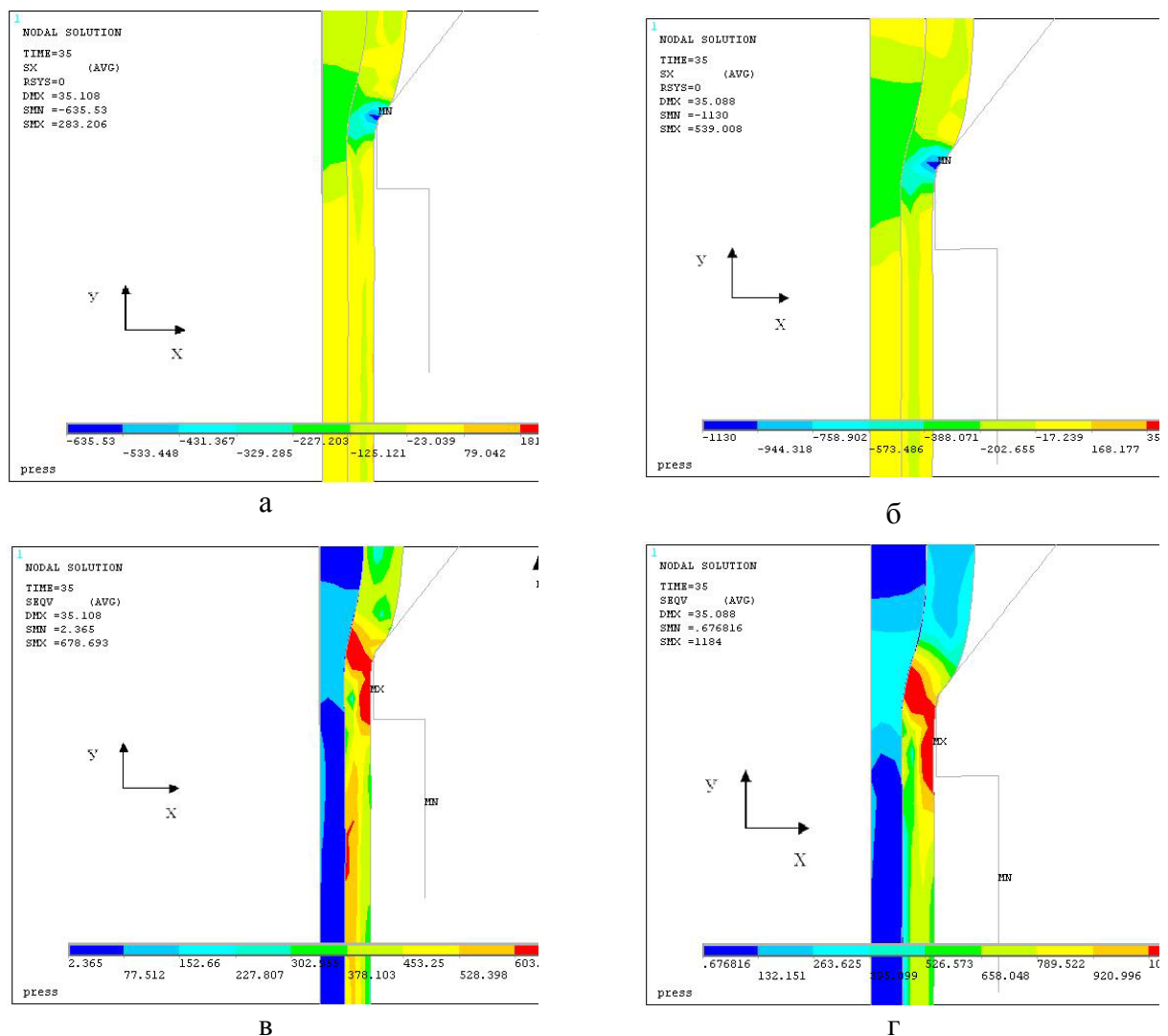


Рис. 1. Розподіл діючих напружень σ_x (а, б) та σ_{equiv} (в, г) в холодному стані (а, в) та в нагрітому стані (б, г) в осередку деформації двошарової заготівки при витягуванні з потоншенням

Графічні залежності напружено-деформованого стану матеріалу деталі в процесі сумісного витягування з потоншенням в холодному та нагрітому стані представлені на рис. 2.

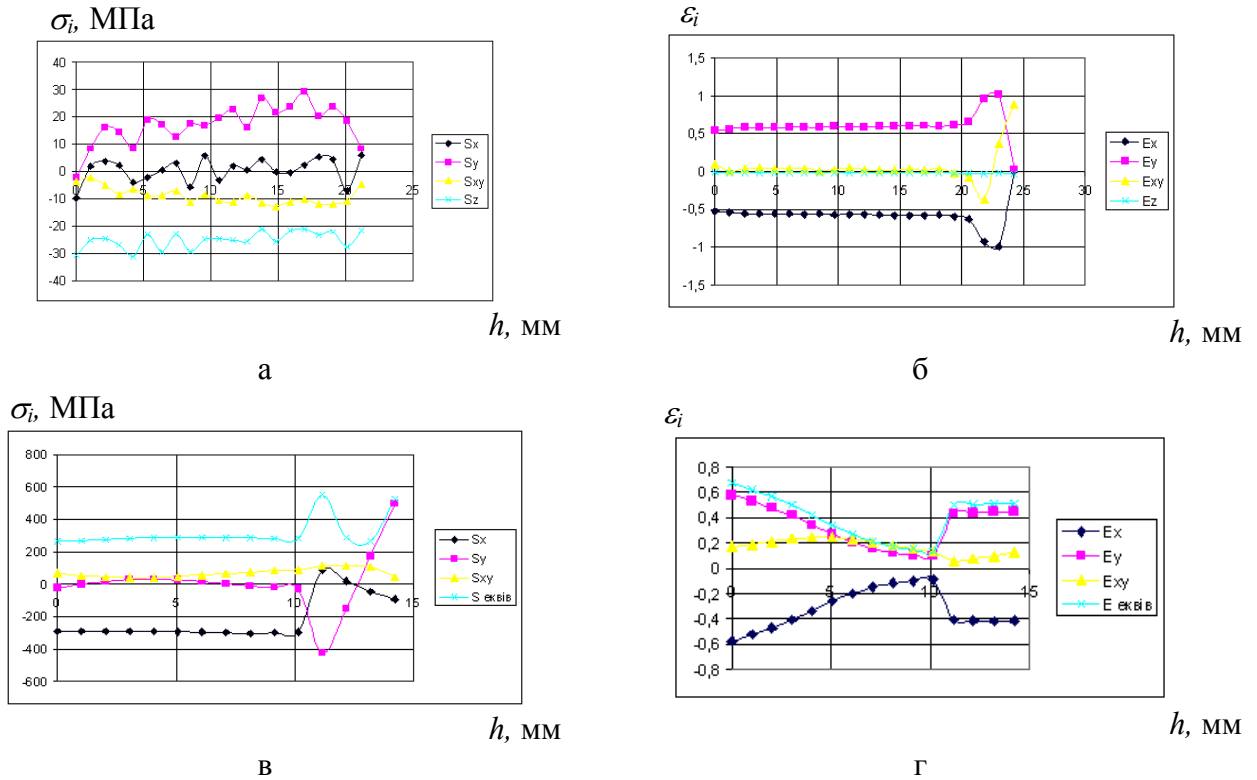


Рис. 2. Розподіл напружень $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_{xy}, \sigma_z$ (а, в) та деформацій $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_{xy}, \epsilon_z$ (б, г) по осі у на контактній поверхні в холодному стані (а, б) та в нагрітому стані (в, г)

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.

Ці результати дозволили визначити характер розподілу напружень на контактній поверхні (рис. 3). Максимальні радіальні напруження (σ_x) співпадають з зоною зміни товщини двошарової заготовки, на вхідній частині матриці для витягування з потоншенням. Це значно перевищує границю пластичності алюмінієвого шару та сприяє зближенню шарів на граничній поверхні на міжатомну відстань.

Особливості взаємодії шарів на контактній поверхні при проходженні заготовки в матрицю при витягуванні з потоншенням наведено на рис. 3. Зоні найбільших радіальних напружень відповідає ріст деформацій розтягу ϵ_y 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 вищенаведених графічних результатів слідує, що максимальні радіальні напруження стиску та деформацій розташовані на стінці циліндричної частини БТЕ, тобто на контактній поверхні.

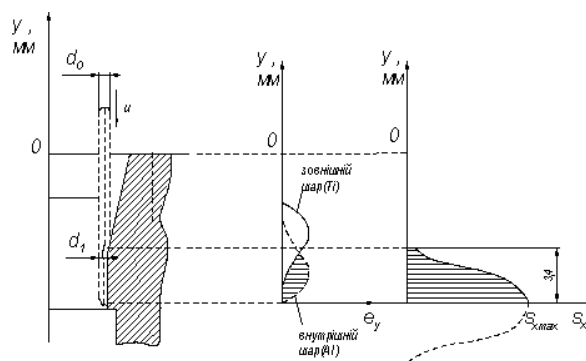


Рис. 3. Зв'язок деформацій ϵ_y шарів біметалічного циліндричного елемента вздовж осі у та радіальних напружень σ_x на контактній поверхні

З метою підтвердження теоретичного розрахунку процесу сумісного витягування з потоншенням стінки двох різнорідних матеріалів авторами виконані експериментальні дослідження. Багатошарові циліндричні елементи витягувалися в наступних комбінаціях розміщення шарів: сталь – алюміній, титан – алюміній, титан – сталь та інших.



Рис. 4. Установка для процесу сумісного витягування

Даний процес сумісного витягування двох різнорідних матеріалів з потоншенням виконувався на універсальній дослідній комп'ютеризованій установці, яка зображена на рис. 4.

Експериментальні дослідження виконані на зразках з різними комбінаціями внутрішнього та зовнішнього шару матеріалів (Сталь–Al, Al–Ti, Ti–Сталь, Ti–Al–Сталь).

В експерименті використані наступні матеріали: сталь 12X18H10T, титан BT1–0 та алюмінієвий сплав АМцМ.

На рис. 5 показані типові двошарові елементи, що отримані на різних переходах сумісного витягування різнорідних матеріалів без потоншення (перший перехід) та з потоншенням стінки (25 % – другий перехід, 36 % – третій перехід) з використанням нагріву ТВЧ в інтервалі температур 425–500 °С.

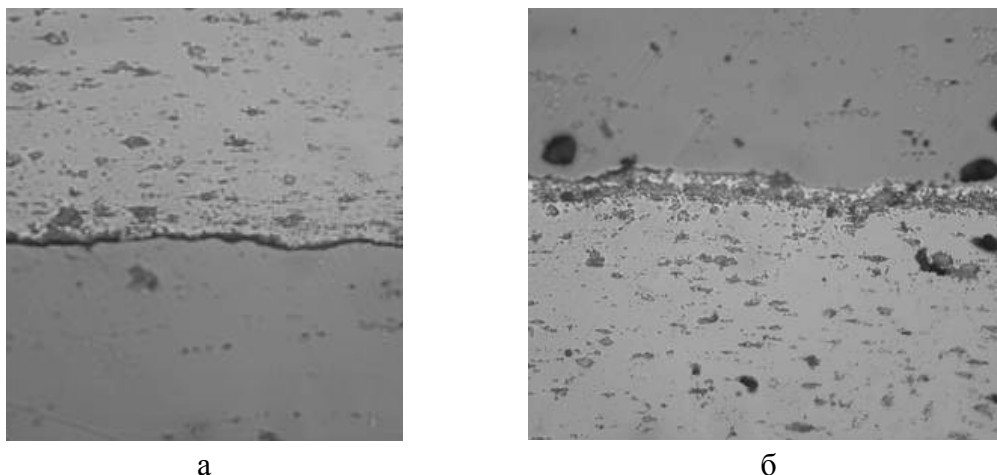


Рис. 5. Двошарові елементи системи Сталь – Al:
а – перший перехід без потоншення; б та в – відповідно другий та третій переходи з потоншенням

Після двох переходів сумісного витягування з використанням нагріву товщина обох шарів змінювалась на стінці циліндричної частини біметалічного елемента по різному. Особливо помітна зміна товщини стала після другого переходу при потонненні стінки 36 %. Але слід зазначити, що у всіх комбінаціях шарів алюмінієвий шар зазнав найбільшого потоншення.

Проаналізувавши розподіл товщини шарів від величини радіальних напружень абсолютно очевидним стало, що співвідношення товщини має значний вплив на ріст радіальних напружень на контактній поверхні між двома шарами. А саме: чим більша товщина внутрішнього шару в даному випадку це алюмінієвий шар, тим більші за величиною стають радіальні напруження на контактній поверхні, що сприяє взаємодії двох шарів біметалічного елемента.

Дослідження граничного шару між шарами заготовки після витягування проводили методами металографії. На рис. 6. наведені результати стану граничної поверхні в циліндричній стінці стаканчика після витягування з потоншенням при температурі 435 ± 10 °С на прикладі двошарової композиції Al – Сталь. На рис. 6, а показано фізичне з'єднання шарів після витягування з потоншенням та окремі ділянки виникнення інтерметалідних сполук. При підвищенні ступеню деформації виникає суцільний шар інтерметалідів (див. рис. 6, б), який з'єднує шари алюмінію АМцМ та сталі 12X18H10T. Фазовий склад цієї зони представляє собою інтерметалідні з'єднання алюмінію Al з ферумом Fe (Al_3Fe).



а

б

Рис. 6. Границя контакту двох складових частин стаканчика після витягування з потоншенням

Отже, металографічні дослідження показали, що при витягуванні двохшарового елемента на другому переході комбінованого витягування з потоншенням 36 % з використанням нагріву можна досягти взаємодії шарів та утворення в зоні взаємодії інтерметалідів.

ВИСНОВКИ

1. За допомогою системи CAD/CAE ANSYS виконано кінцево-елементне моделювання процесу двошарового витягування в холодному та нагрітому стані. З використанням кінцево-елементної моделі процесу сумісного витягування з потоншенням різномірних металів виконаний розрахунок НДС і зусилля для заданих умов процесу витягування. Було проаналізовано розподіл напружень та деформацій. В процесі аналізу було виявлено, що максимальні напруження стиску та деформації виникають в радіальному напрямку в зоні контакту матриці та в зоні контакту заготовок.

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. Отримані результати підтверджують теоретичні висновки та дають основу для удосконалення процесу в подальших дослідженнях в цій галузі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Чепурко М. И. Производство биметаллических труб и прутков / М. И. Чепурко и др. – М. : Металлургия, 1986. – 240 с.
2. Износостойкие биметаллические горячекатаные трубы из центробежно-литых заготовок / А. С. Чукмасов, Н. П. Бондарь, А. Е. Сапогова и др. // Производство труб. – 1979. – № 5. – С. 17–21.
3. Резниченко В. И. Экспериментальный промышленный комплекс сварки взрывом Государственного предприятия. Конструкторское бюро «Южное им. М. К. Янгеля» / В. И. Резниченко, С. Н. Пахомов, С. Е. Мостипан // Авиационно-космическая техника и технология. – 2007. – № 11/47. – С. 102–108.
4. Тітов В. А. Обґрунтування підстав для створення машинобудівної технології виготовлення біметалевих трубчастих елементів витягуванням / В. А. Тітов, Т. М. Лабур, Р. С. Борис // Технологические системы. – 2007. – № 1. – С. 33–39.

Тітов В. А. – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрою НТУУ «КПІ»;
Борис Р. С. – аспірант НТУУ «КПІ».

НТУУ «КПІ» – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ.

E-mail: v.a.titov@list.ru