

$$\alpha_{nk} = \alpha_{nc} - \tau_N.$$

Кинематический угол  $\lambda_k$  наклона режущей кромки определяется по зависимости:

$$\sin \lambda_k = \frac{\vec{P} \cdot \vec{V}_e}{|\vec{P}| \cdot |\vec{V}_e|}.$$

Тогда кинематические передний и задний углы можно определить по зависимостям:

$$tg \gamma_k = tg \gamma_{nk} / \cos \lambda_k,$$

$$ctg \alpha_k = ctg \alpha_{nk} / \cos \lambda_k.$$

По приведенных зависимостях рассчитываются геометрические параметры сферических концевых фрез с коническими передней и задней поверхностями в кинематической системе координат.

**Выводы** В статье решена задача определения геометрических параметров сферических концевых фрез с коническими передней и задней поверхностями в кинематической системе координат.

#### Список литературы

1. ДСТУ 2249-93 «Оброблення різанням. Терміни, визначення та позначення»
2. Равская Н.С., Николаенко Т.П., Мельничук Л.С. Общая теория определения геометрических параметров инструмента // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць – Краматорськ: ДДМА, вип. № 14, 2003. – С. 3-11.
3. Равская Н.С., Вовк В.В., Скрынник П.В., Корзун С.В. Геометрия сферических концевых фрез с коническими передней и задней поверхностями // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. Випуск № 5(139). – Донецьк: ДонНТУ, 2008. – С. 113-119.

УДК 621.983.07:669.017

В.А. Тітов, д-р. техн.наук, проф., Р.С. Борис, асп., П.С. Вишневський,  
О.О. Лук'яненко  
НТУ України «Київський політехнічний інститут» м. Київ, Україна

## ОБГРУНТУВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ДОСЛІДНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ БІМЕТАЛЕВИХ ТРУБЧАСТИХ ЕЛЕМЕНТІВ

*Выполнено уточненное теоретическое и экспериментальное обоснование процесса изготовления биметаллических трубчатых элементов вытяжкой из отдельных заготовок. В результате конечно-элементного моделирования обосновано благоприятное распределение напряжений и деформаций в очаге деформирования при вытяжке с утонением для формирования соединения слоев. Экспериментально показано образование соединения при взаимодействии слоев. Полученные результаты дают основу для усовершенствования процесса в последующих исследованиях в этой отрасли.*

*The specified theoretical and experimental ground of process of making of bimetallic tubular elements is executed by extraction from separate purveyances. As a result of certainly element design grounded favourable distributing of tensions and deformations in the cell of deformation at drawing out with thinning for forming of connection of layers. Formation of connection is experimentally rotined at co-operation of layers. The got results give basis for the improvement of process in subsequent researches in this industry.*

Сучасні тенденції розвитку різноманітних галузей промисловості характеризуються різким підвищенням потреб до якості та експлуатаційним властивостям виробів при зниженні собівартості їх виробництва. На даному етапі в сучасному машинобудуванні широке застосування знаходять шаруваті металеві композиції трубчастої форми (біметалеві трубчасті елементи – БТЕ), які використовуються як перехідні для з'єднання трубопроводів в паливних системах. Вони забезпечують ефективне з'єднання трубопроводів з різних металевих матеріалів.

Традиційні технології виготовлення біметалевих деталей трубчастої форми спрямовані на крупносерійне виробництво [1], мають високу трудомісткість та специфіку виконання. Тому ці технології в даний час економічно не доцільно використовувати в мілкосерійному та одиничному виробництві.

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 та класифікацію методів виготовлення БТЕ, які орієнтовано на виробництво в машинобудівних підприємствах розроблено авторами в статтях [2, 3, 4, 5].

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.

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 ін.

Метою дослідження є вирішення актуальної науково-практичної задачі подальшого теоретичного та експериментального обґрунтування процесу виготовлення біметалевих трубчастих елементів з реалізацією дослідного процесу виготовлення біметалевих трубчастих елементів з різнорідних листових матеріалів. 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;
3. Експериментально відпрацьовано процес виготовлення дослідних зразків біметалевих трубчастих елементів.

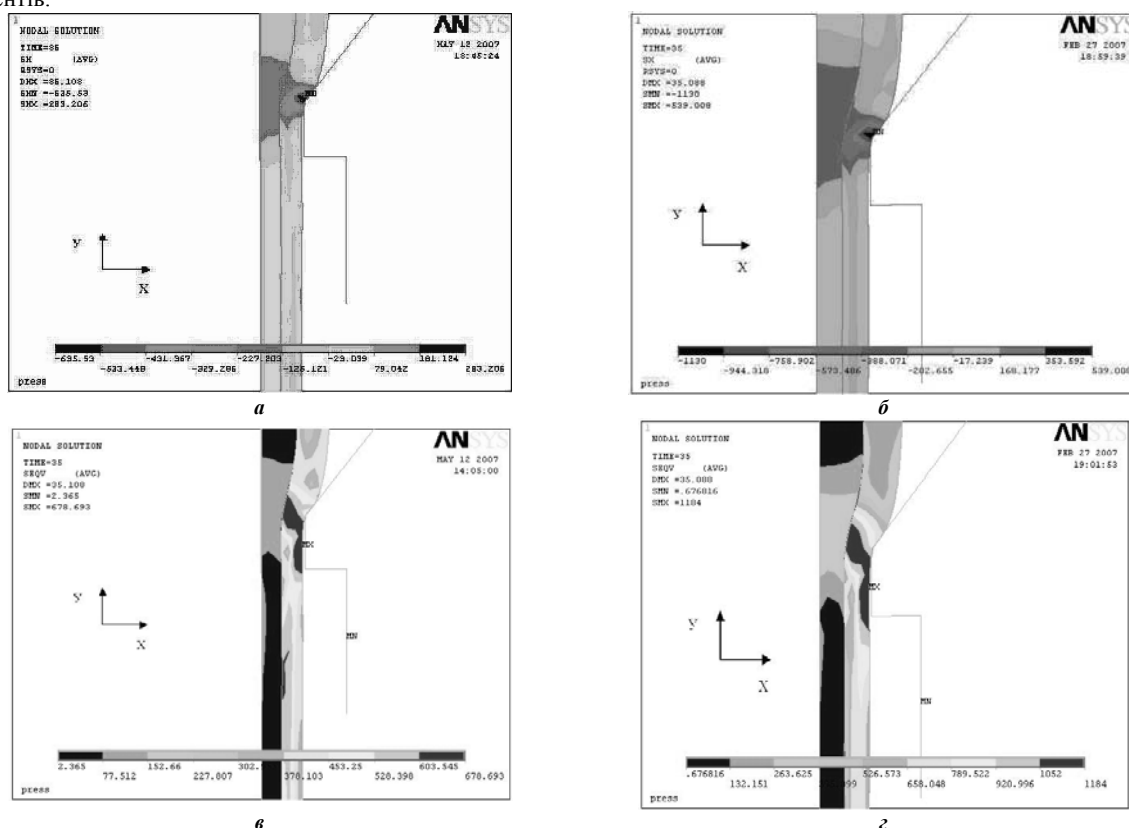


Рис. 1. Розподіл діючих напружень  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  (а, б) та  $\sigma_{екв}$  (в, г) в холодному стані (а, в) та в нагрітому стані (б, г) в осередку деформації двошарової заготовки при витягуванні з потоншенням

Теоретично напружено-деформований стан процесу сумісного витягування двошарової заготовки моделювався методом кінцевих елементів в холодному та нагрітому стані. Для розрахунку даного процесу брали різні комбінації з'єднання двох матеріалів таких як алюміній (АМг-5м), титан (ВТ1-0), та сталь (12Х18Н10Т). Матеріалом деформуючого інструменту (пуансон, матриця) задавались нульові переміщення тобто вони вважались абсолютно жорсткими.

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

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

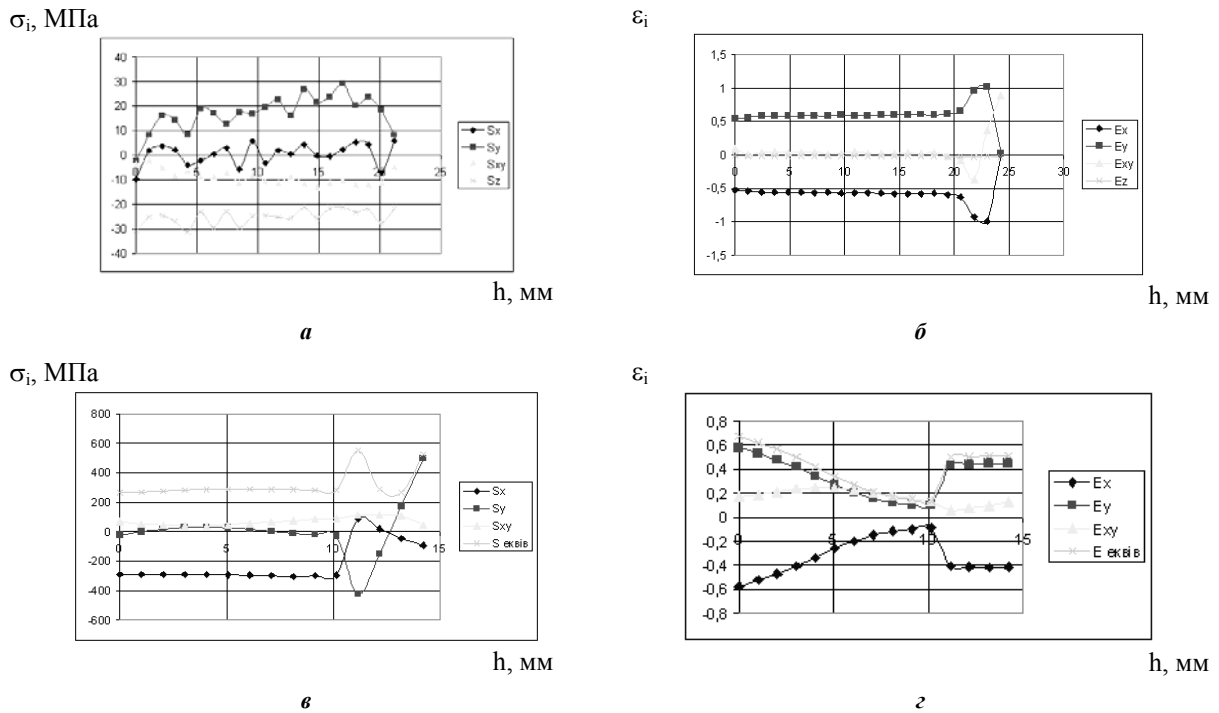


Рис. 2. Розподіл напружень  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_{xy}$  (а, в) та деформацій  $\epsilon_x$ ,  $\epsilon_y$ ,  $\epsilon_{xy}$  (б, г) по осі Y на контактній поверхні холодному стані (а, б) та в нагрітому стані (в, г)

В зоні інтенсивного навантаження розвиваються деформації поверхневого шару  $\epsilon_y$ , які забезпечують руйнування оксидних плівок. Їх супроводжують зсувні деформації протилежного знаку  $\epsilon_{xy}$ , які створюють сприятливі умови для фізичної взаємодії шарів.

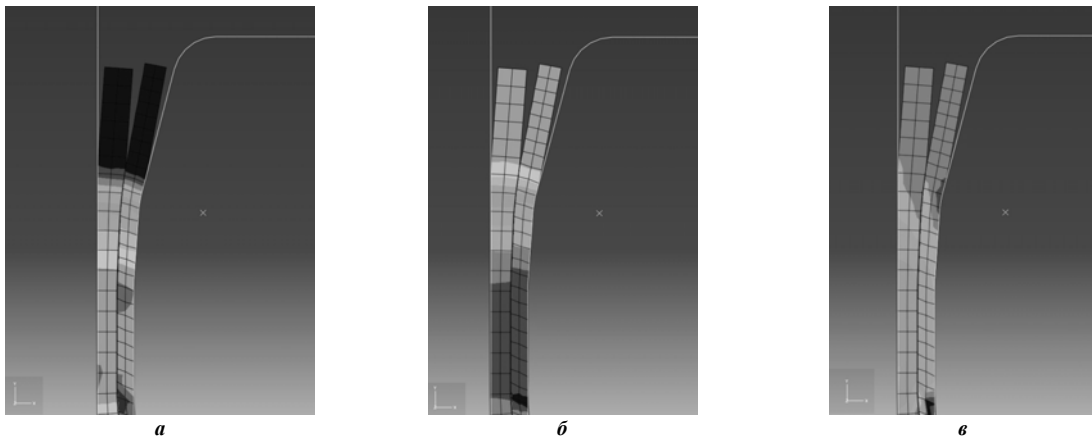


Рис. 3. Розподіл діючих напружень  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  (б, в) та  $\sigma_{еквив}$  (а) в нагрітому стані в осередку деформації двохшарової заготовки при витягуванні з потоншенням зі змінним профілем західної частини конусної матриці

На рис. 3. представлений кінцевоелементний розрахунок сумісного витягування з потоншенням двохшарової заготовки Al-Титан зі змінним профілем західної частини конусної матриці та зі збільшенням по висоті деформуючим пояском з використанням операції нагріву у вигляді ізоліній.

На рис. 4. представлені графічні залежності розподілу напружень відносно зміни товщини матеріалу в процесі сумісного витягування двох різномірних матеріалів.

Ці результати дозволили визначити характер розподілу напружень на контактній поверхні (рис. 1., 2, 3, 4). Максимальні радіальні напруження ( $\sigma_x$ ) співпадають з зоною зміни товщини двохшарової заготовки, на вхідній частині матриці для витягування з потоншенням. Це значно перевищує границю пластичності алюмінієвого шару та сприяє зближенню шарів на граничній поверхні на міжatomну відстань. Корегування профілю західної частини конусної матриці дозволило збільшити зону дії контактних напружень на граничній поверхні різномірних матеріалів в осередку деформацій

при збереженні їх за величиною. Це дозволило збільшити термін контакту під навантаженням шарів, що забезпечують активізацію взаємодії різномірних металів на контактній поверхні.

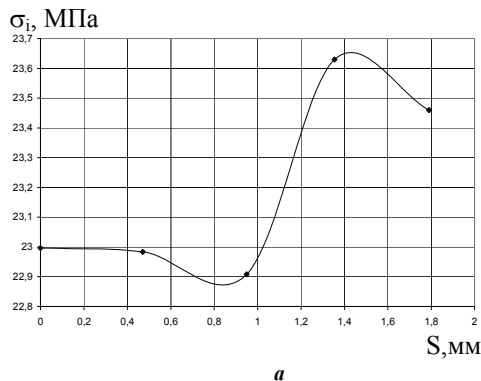
Особливий інтерес представляє напрямок використання додаткових технологічних граничних шарів з металів, які забезпечують ефективність з'єднання конструкційних шарів.

На рис. 5. запропонована діаграма за допомогою якої здійснюється процес вибору додаткового проміжного шару для отримання БТЕ, яка побудована авторами на основі робіт В.Р. Рябова. [6].

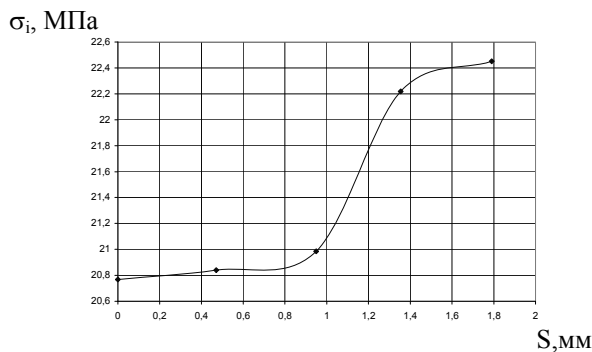
При остаточному виборі проміжного шару доцільно враховувати наступні вимоги:

- доступність (наявність, відносна вартість та ін.);
- можливість нанесення на деталь одним з фізико-хімічних методів, котрий може бути реалізований в мілко серійному та серійному виробництві;
- стійкість до взаємодії з навколишнім середовищем;

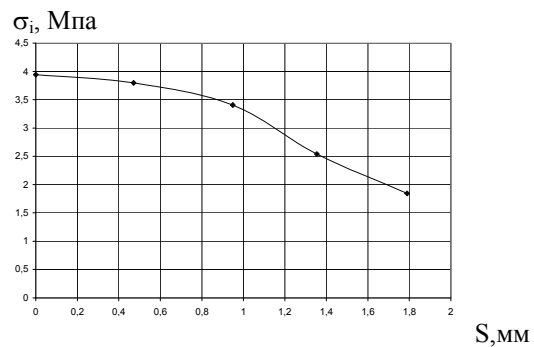
Зварюємість різномірних металів визначається перш за все поєднанням фізико-хімічних властивостей з'єднуваних металів та технологією зварювання:



a



б



в

Рис. 4. Розподіл напружень  $\sigma_{\text{сквів}}$ , (а)  $\sigma_x$  (б)  $\sigma_y$  (в) по сумарній товщині матеріалу в нагрітому стані вздовж осі X



Рис. 5. Процес вибору додаткового проміжного шару



Рис. 6. Устанвка для процесу сумісного витягування

- метали, що зварюються повинні створювати неперервний ряд твердих розчинів;
- метали повинні мати близьке значення теплофізичних характеристик (температура плавлення, теплопровідність, коефіцієнт лінійного розширення);
- при з'єднанні в металах повинно бути відсутнє виділення крихких фаз, які можуть виникати внаслідок перетворень в процесі виготовлення або в умовах експлуатації.

Міцність зварних з'єднань різномірних металів визначається властивостями перехідної зони, яка має різноманітний фазовий склад, структуру та товщину, які залежать від температурно-часових умов. Тому збільшити міцність з'єднання металевого композиційного матеріалу можна за рахунок введення легуючих компонент, які утворюють зі з'єднуваними матеріалами при нагріванні легкоплавкі евтектики.

Для збільшення міцності з'єднання в ряді випадків передбачають додаткову пластичну деформацію зварюємих металів, яка досягається за рахунок профілювання контактуючих поверхонь. В цьому випадку якість зварюємого з'єднання досягають завдяки використанню сприятливого ефекту зварювання тертям і дифузійного зварювання. Міцність з'єднання забезпечується міцністю дифузійного з'єднання і механічного зчеплення з'єднуємих деталей.

З метою підтвердження теоретичного розрахунку процесу сумісного витягування з потоншенням стінки двох різномірних матеріалів авторами виконані експериментальні дослідження.

Даний процес сумісного витягування двох різномірних матеріалів з потоншенням виконувався на універсальній дослідній комп'ютеризованій установці, яка зображена на рис. 6.

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

В експерименті використані наступні матеріали: сталь 12X18H10T, титан BT1-0, алюмінієвий сплав АМг-5м, латунь Л62, сталь 08кп.

На рис. 7-9. показані типові двошарові елементи, що отримані на різних переходах сумісного витягування різномірних матеріалів без потоншення (перший перехід) та з потоншенням стінок з використанням нагріву ТВЧ в інтервалі температур 425°C - 500°C.

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 60%. Але слід зазначити, що у всіх комбінаціях шарів алюмінієвий шар зазнав найбільшого потоншення.

Аналіз показав, що співвідношення товщин 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.

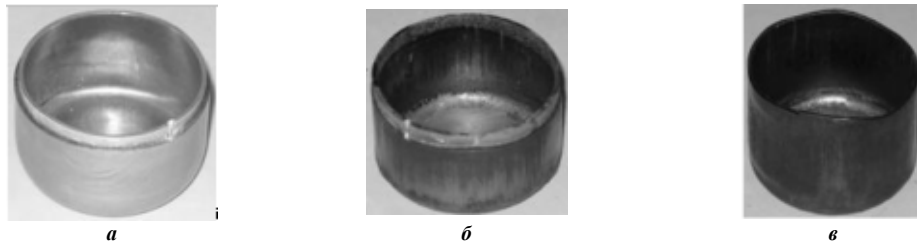


Рис. 7. Двошарові елементи системи Сталь- Al: а – перший перехід без потоншення; б та в – відповідно другий та третій переходи з потоншенням



Рис. 8. Двошарові елементи системи Титан- Al: а – перший перехід без потоншення; б та в – другий та третій переходи з потоншенням



Рис. 9. Двошарові елементи системи Латунь- Сталь: а – перший перехід без потоншення; б та в – другий та третій переходи з потоншенням

Дослідження граничного шару між шарами заготовки після витягування проводили методами металографії. На рис. 10. наведені результати стану граничної поверхні в циліндричній стінці стаканчика після витягування з потоншенням при температурі 435- ±10°C на прикладі двошарової композиції Al-Сталь. На рис. 10.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. 10.б.), який з'єднує шари алюмінію АМг-5м та сталі 12X18H10T. Фазовий склад цієї зони представляє собою інтерметалідні з'єднання алюмінію Al з ферумом Fe (Al<sub>3</sub> Fe).

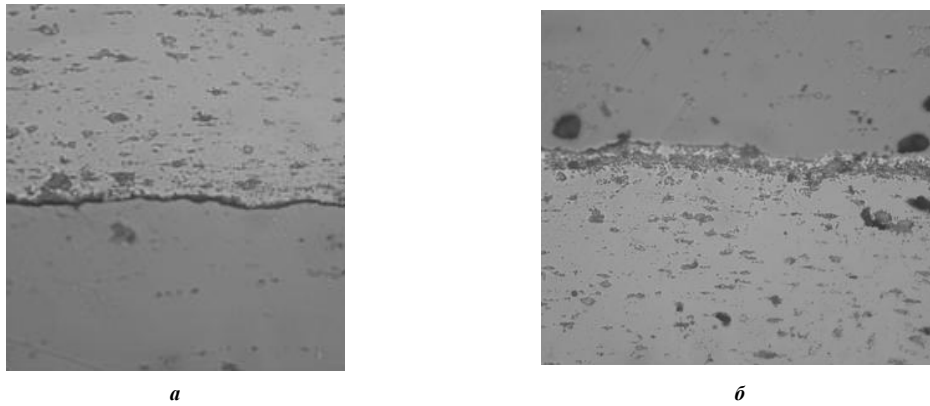


Рис. 10. Границя контакту двох складових частин стаканчика після витягування з потоншенням

Отже, металографічні дослідження показали, що при витягуванні двошарового елемента на третьому переході комбінованого витягування з потоншенням 60% з використанням нагріву можна досягти взаємодії шарів та утворення в зоні взаємодії інтерметалідів.

На рис. 11. зображено дослідний зразок біметалевого трубчастого перехідника згідно прийнятої технології [5].

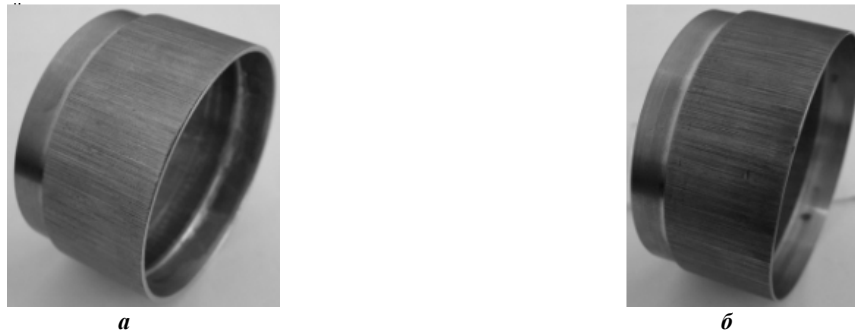


Рис. 11. Дослідний зразок: а – біметалевий перехідник сталь (Сталь 08кп)+алюмінієва фольга (АД1)+латунь (Л62); б – біметалевий перехідник сталь (Сталь 08кп)+алюмінієва фольга (АД1)+титан (ВТ1-0)

## ВИСНОВКИ

1. За допомогою системи CAD/CAE ANSYS виконано кінцево-елементне моделювання процесу витягування двошарової заготовки з різномірних металів 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. Встановлено, що корегування профілю західної частини конусної матриці дозволяє покращити умови для виникнення дифузійного з'єднання шарів на граничній поверхні їх контакту

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

3. Експериментально відпрацьований дослідний процес виготовлення біметалевих трубчастих елементів.

## Список літератури

1. Чепурко М.И. и др. Производство биметаллических труб и прутков. – М.: Metallurgiya, 1986. – 240 с.
2. Тітов В.А., Борис Р.С. Розробка структури машинобудівної технології виготовлення біметалевих елементів та теоретичні підстави для її реалізації. – Вісник НТУУ «КПІ», серія «Машиностроение», Київ, 2006, №49.
3. Тітов В.А., Лабура Т.М., Борис Р.С. Обґрунтування підстав для створення машинобудівної технології виготовлення біметалевих трубчастих елементів витягуванням / Технологіческие системы. – 2007. – №1. – с. 33-39
4. Тітов В.А., Борис Р.С., Тривайло М.С. Напрямки розвитку способів виготовлення біметалевих трубчастих елементів з різномірних матеріалів витягуванням. – Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», серія «Машинобудування», Київ, 2009, №56. – с. 154-159
5. Тітов В.А., Борис Р.С. Дослідження процесу виготовлення біметалевих трубчастих елементів витягуванням // Обработка материалов давлением. Сборник научных трудов – 2009. - №2 (21). – с. 173-178
6. Сварка разнородных металлов и сплавов / В.Р. Рябов, Д.М. Рабкин, Р.С. Курочко, Л.Г. Стрижевская – М.: Машиностроение, 1984. – 239с.