

*ТИТОВ В.А.* докт. техн. наук, проф., НТУУ «КПИ», Киев

*БОРИС Р.С.* ассистент, НТУУ «КПИ», Киев

*БОГОДИСТ Е.И.* магистр, НТУУ «КПИ», Киев

## **ВЛИЯНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ КОНСТРУКЦИИ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ МАТРИЦЫ ОСНАСТКИ НА ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА ВЫТЯЖКИ С УТОНЕНИЕМ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБЧАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Выполнено теоретическое и экспериментальное обоснование влияния особенностей конструкции рабочей поверхности матрицы оснастки на параметры процесса вытяжки с утонением биметаллических трубчатых элементов. В ходе конечно-элементного моделирования процесса вытяжки с утонением определено напряженно деформированное состояние очага деформации, а также усилие процесса при разных коэффициентах трения и углах конуса рабочей части матрицы. Экспериментально показана эффективность образования соединения при взаимодействии слоев в комбинированной матрице.

Виконане теоретичне та експериментальне обґрунтування впливу особливостей конструкції робочої поверхні матриці оснащення на параметри процесу витягування з потоншенням біметалевих трубчастих елементів. В ході кінцево-елементного моделювання процесу витягування з потоншенням визначений напружено-деформований стан, а також зусилля процесу при різних коефіцієнтах тертя та кутах конусу робочої частини матриці. Експериментально показано ефективність утворення з'єднання при взаємодії шарів в комбінованій матриці.

Theoretical and experimental study of influence of design features of the working surface of the matrix snap on the parameters of the drawing process with thinning of bimetallic tubular elements. In the finite-element modeling of the drawing process with thinning determined the stress strain state of the deformation and stress of the process with different coefficients of friction and the cone angle of the working part of the matrix. Experiments demonstrate the effectiveness of formation of the compound in the interaction of the layers in the combined matrix.

Для обеспечения необходимых функциональных свойств топливных систем в конструкциях изделий машиностроения используют слоистые металлические композиции трубчатой формы – биметаллические трубчатые элементы (БТЭ). Они обеспечивают надежное соединение трубопроводов из различных металлов (алюминий – титан, титан – сталь, прочие).

Традиционные технологии изготовления БТЭ направлены на крупносерийное производство или имеют высокую трудоемкость и специфику реализации [1-4].

Металлургические технологии обеспечивают производство биметаллических листов и труб при реализации процессов прессования, при котором, благодаря высокой степени и высокой скорости деформации, обеспечивается достаточная прочность сварного соединения в пакетной заготовке. При волочении и прессовании используют также биметаллическую заготовку. В основе этого способа лежит совместное вытекание металлов, составляющих многослойную заготовку [5]. При

непрерывной прокатке немного уменьшается разнотолщинность плакирующего слоя, сваривание слоев получается более прочным. Преимуществом этого процесса является высокая производительность стана.

К основным недостаткам следует отнести пониженное качество внутренней поверхности и значительную (до 50%) разнотолщинность слоев, а также ограничение сортамента труб по диаметру, толщине стенки, видам соединенных металлов [6].

Литейные технологии состоят в заливке составляющих металлов в кокиль, или заливание расплавленного металла, плакирующего слоя, в механическую обработанную и подогретую до заданной температуры гильзу из основного металла. При этом за счет размыва и перемешивания металлов возникают переходные слои [7].

БТЕ изготавливают непосредственно из полуфабрикатов, если они получены в виде слоистых трубчатых заготовок. Из листовых слоистых полуфабрикатов БТЕ могут быть изготовлены с использованием операций вытяжки цилиндрических изделий [8-12].

Не зависимо от технологии изготовления биметаллических соединений, известно, что для соединения слоев необходимо выполнение следующих условий [5]:

- высокое давление на контактной поверхности слоев для обеспечения физического контакта металлов и их сближение на расстояние межатомного уровня;
- высокая степень деформации для обеспечения разрушения оксидных пленок и высвобождения ювенильных поверхностей, необходимых для контактного взаимодействия слоев;
- повышение энергетического состояния атомов металлов слоев для возникновения металлических за счет диффузионных механизмов, создания интерметаллидов, прочее;
- обеспечение защиты зоны деформации от химического и физического влияния окружающей среды и прочих.

В настоящей работе рассмотрен процесс получения БТЭ вытяжкой с утонением из разнородных заготовок [8-12].

Целью данной работы являлось исследование влияния конструкции рабочей поверхности матрицы оснастки на параметры напряженно-деформированного состояния двухслойного металла в очаге деформации и усилия процесса вытяжки с утонением биметаллических трубчатых элементов.

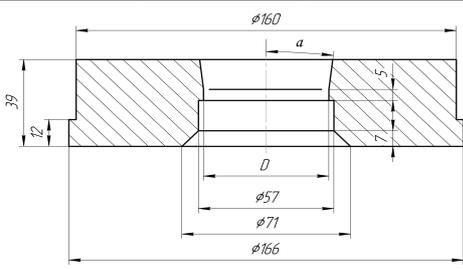
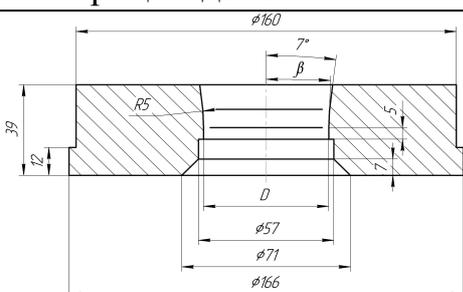
Основные задачи, которые решались в данной работе:

- 1) Исследование энергосиловых параметров вытяжки с утонением в зависимости от угла конусности и условий трения двухслойной заготовки с матрицей на контактной поверхности;
- 2) Исследование влияния дополнительного угла на образующей рабочей поверхности матрицы на напряженно-деформированное состояние и кинематику деформирования при вытяжке с утонением цилиндрического стаканчика из разнородных заготовок;
- 3) Экспериментальная оценка эффективности разработанных режимов вытяжки.

Моделирование совместной вытяжки с утонением проводилось в системе DEFORM 2D методом конечных элементов. С использованием конечно-элементной модели процесса сделан расчет НДС и усилия для заданных условий процесса вытяжки. В процессе моделирования расчет выполнен для вытяжки заготовки в нагретом состоянии до температуры  $440 \pm 10^\circ\text{C}$ , соответствующей интервалу температур деформирования алюминиевых сплавов. Модели деформируемых материалов слоев АМцМ и ВТ1-0 задавались реальной кривой деформирования для выбранного интервала температур. Коэффициент трения на контактной поверхности наружного слоя заготовки с матрицей задавали от 0,01 до 0,3.

Процесс вытяжки с утонением рассмотрен для пары разнородных материалов алюминий АМцМ-титан ВТ1-0. Степень обжима стенки при вытяжке составила 30%. В процессе моделирования рассмотрено влияние угла конусности матрицы  $\alpha$ , и условий контакта заготовок с инструментом в зоне пластической деформации, которые определяются коэффициентом трения. Конструкции матриц приведены в табл.1.

Таблица – Геометрические параметры заготовок и инструмента

№ п/п	Металлы	Размеры заготовок	Схемы матриц	Параметры матриц
<b>Вытяжка в конусной матрице</b>				
1	Алюминий АМцМ	$S_{\text{ал.}}=1,4$ $D_{\text{ал.}}=88$		$D=54\text{мм}$  $\alpha=4^\circ, 7^\circ, 10^\circ$
	Титан ВТ1	$S_{\text{тит.}}=1,4$ $D_{\text{тр.}}=88$		
<b>Вытяжка в конусной матрице с дополнительным углом</b>				
2	Алюминий АМцМ	$S_{\text{ал.}}=1,4$ $D_{\text{ал.}}=88$		$D=54\text{мм}$  $\beta= 1^\circ, 2^\circ$
	Титан ВТ1	$S_{\text{тит.}}=1,4$ $D_{\text{тр.}}=88$		

Для исследования влияния сил трения процессы были смоделированы для коэффициента трения  $f_{\text{тр.}} = 0,3$  на поверхностях контакта заготовок с инструментом, и  $f_{\text{тр.}} = 0,5$  между заготовками, а также  $f_{\text{тр.}} = 0,01$  на поверхностях контакта заготовок с инструментом, и  $f_{\text{тр.}} = 0,5$  между заготовками.

На Рис.1. приведены зависимости усилия вытяжки с утонением пары металлов алюминий АМцМ –Титан ВТ1-0 от перемещения пуансона для разных углов конусности матрицы с коэффициентом трения между заготовкой и инструментом  $f_{\text{тр.}}=0,3$ , а на рис. 2 с  $f_{\text{тр.}}=0,01$ .

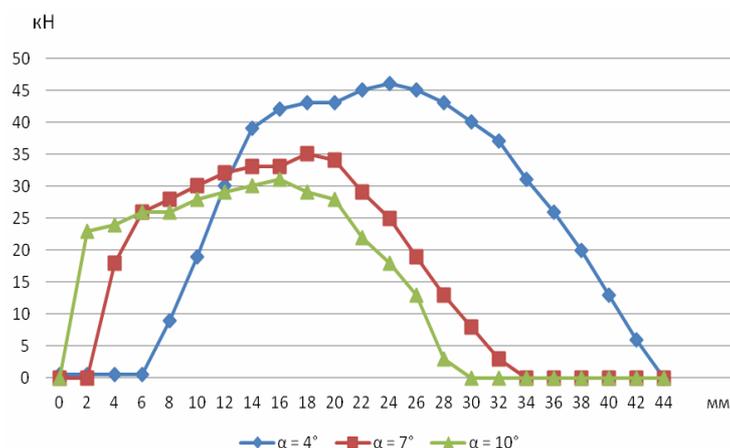


Рис.1. График зависимости усилия – перемещение при вытяжке с утонением для пары алюминий АМцМ - титан ВТ1-0, при разных значениях угла конусности матрицы  $\alpha$ , ( $f_{тр.}=0,3$ )

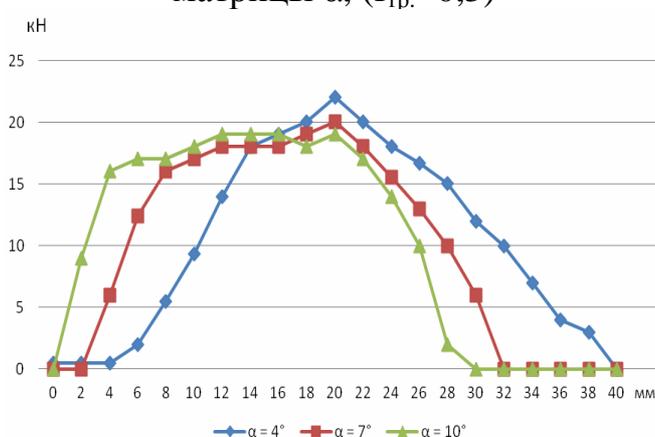


Рис.2. График зависимости усилия – перемещение при вытяжке с утонением для пары алюминий АМцМ-титан ВТ1-0, при разных значениях угла конусности матрицы  $\alpha$ , ( $f_{тр.}=0,01$ )

Из графиков зависимости усилия от перемещения (рис.1) видно, что увеличение угла конусности матрицы приводит к уменьшению усилия. При вытяжке через матрицу с углом конусности  $\alpha = 4^\circ$  усилие на пуансоне на 47% больше по сравнению с вытяжкой через матрицу с углом конусности  $\alpha = 10^\circ$ . Это обусловлено уменьшением зоны пластической деформации с увеличением угла конусности  $\alpha$ , а также уменьшением площади калибрующего пояска, на котором действуют силы трения.

О прямом влиянии сил трения на увеличение усилия можно судить сравнив графики на рис.1 и рис.2, на которых видно, что при минимальном коэффициенте трения максимальные значения усилий деформирования практически не отличаются по величине. Работа деформирования, определяемая площадью графика (рис. 2) для разных углов конусности матрицы несколько отличается по величине. Эта разница в основном определяет работу, которая расходуется на преодоление сил трения между заготовками и инструментом.

При вытяжке пары алюминий-титан через матрицы с переменным углом конусности, при  $f_{тр.}= 0,01$  и  $\alpha = 7^\circ$  (рис.3) было достигнуто НДС, который по всем

факторам может быть идеальным для соединения заготовок между собой, а именно:

- радиальные напряжения имеют максимальные значения на выходе из зоны деформирования (область контакта заготовок);
- скорости осевых деформаций выравниваются на выходе из зоны деформирования;
- разница осевых скоростей перемещения на контактной поверхности двух заготовок имеет большую разницу на входе в зону пластического деформирования, и стремится к нулю на выходе из нее. Это обеспечивает разрушение окислов на граничных поверхностях заготовок, и высвобождение ювенильных поверхностей для образования соединения.

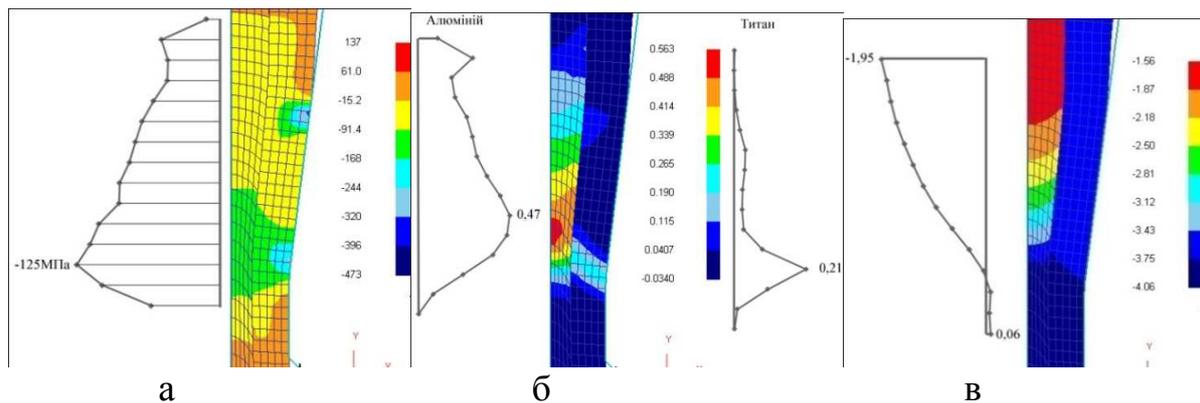


Рис.3. Напряженно деформированном состоянии при вытяжке с утонением  $f_{тр.}=0,01$  и угла  $\alpha=7^\circ$ ; а –  $\sigma_r$ ; б -  $\varepsilon_z$ ; в -  $\Delta Vz$

Процесс вытяжки с утонением рассмотрен для пары материалов алюминий АМцМ-титан ВТ1-0. Степень совместного обжатия составила 30%. В процессе моделирования рассмотрено влияние на показатели процесса использования матрицы со ступенчатой конусностью для  $\alpha = 7^\circ$  и дополнительного угла конусности  $\beta = 1^\circ$ ,  $\beta = 2^\circ$ , а также условий контакта заготовок с инструментом в зоне пластической деформации, которые определяются коэффициентом трения  $f_{тр.}$  в сравнении с результатами вытяжки через матрицу с постоянной конусностью  $\alpha = 7^\circ$ . В матрицах со ступенчатой конусностью высота зоны пластической деформации увеличена на 5мм по сравнению с матрицей с постоянной конусностью.

На рис.4. приведены зависимости усилия вытяжки с утонением пары металлов алюминий АМцМ - титан ВТ1-0 по перемещению пуансона для трех различных матриц, коэффициент трения между заготовками и инструментом  $f_{тр.}=0,3$ , а на рис 5 – с  $f_{тр.}=0,01$ .

Из графиков зависимости усилия от перемещения (рис.4.) видно, что наличие участков с меньшим углом конусности приводит к увеличению усилия. При вытяжке через матрицу с постоянным углом конусности  $\alpha = 7^\circ$  усилие на пуансоне на 23% меньше по сравнению с вытяжкой через матрицу со ступенчатой конусностью. Это обусловлено увеличением зоны пластической деформации в матрицах со ступенчатой конусностью, а следовательно и площади деформирующего пояска на котором действуют силы трения.

О прямом влиянии сил трения на увеличение усилия можно судить сравнив графики на рис.4. и рис.5. на которых видно, что при отсутствии сил трения максимальные значения усилий деформирования сравнительно равны, чего нельзя сказать о процессах при наличии сил трения. Кроме того максимальное значение усилия на инструменте при  $f_{тр.}=0,3$  (рис.4.) в два раза больше усилия вытяжки при  $f_{тр.}=0,01$  (рис.5.), это свидетельствует о значительном влиянии сил трения на протекание процесса.

Анализ условий взаимодействия слоев выполнен для вытяжки через матрицу со ступенчатой конусностью  $\alpha = 7^\circ$ ,  $\beta = 2^\circ$  и  $f_{тр.}=0,01$ .

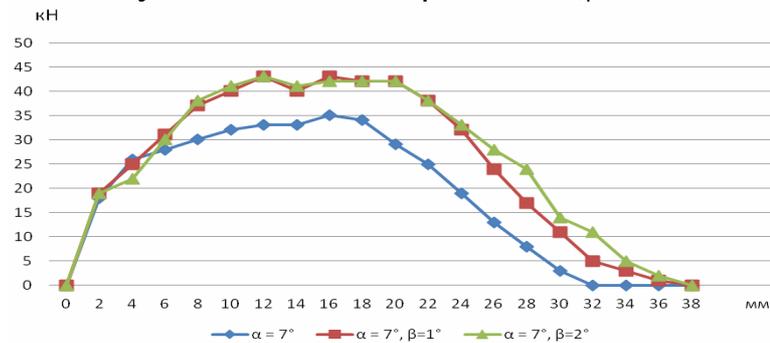


Рис.4. График зависимости усилие – перемещение при вытяжке с утонением для пары алюминий АмцМ – титан ВТ1, через матрицы с переменной конусностью матрицы и с постоянной. ( $f_{тр.}=0,3$ )

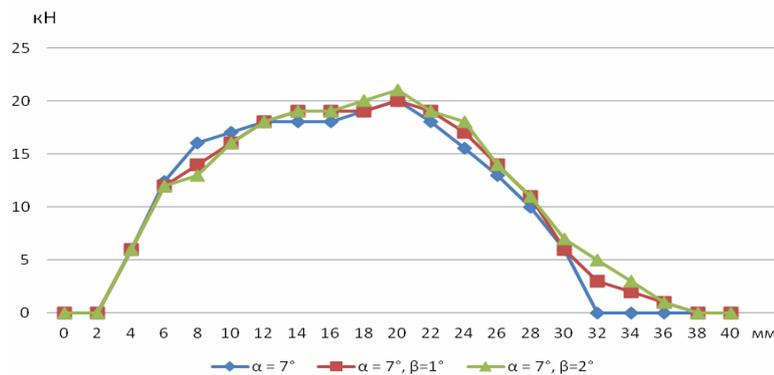


Рис.5. График зависимости усилие – перемещение при вытяжке с утонением для пары алюминий АмцМ – титан ВТ1, через матрицы с переменной конусностью матрицы и с постоянной. ( $f_{тр.}=0,01$ )

Результаты представленные на рис.6 показали:

- на рабочем пояске с меньшей конусностью действуют максимальные радиальные напряжения на контактной поверхности заготовок;
- скорости осевых деформаций на контактной поверхности заготовок в конусе с  $\beta = 2^\circ$  практически равны;
- разница осевых скоростей перемещения значительная на входе в рабочую зону матрицы  $\Delta Vz = -1,68$  мм/сек. и близка к нулю во втором конусе рабочего пояска матрицы  $\Delta Vz = 0,03$  мм/сек.

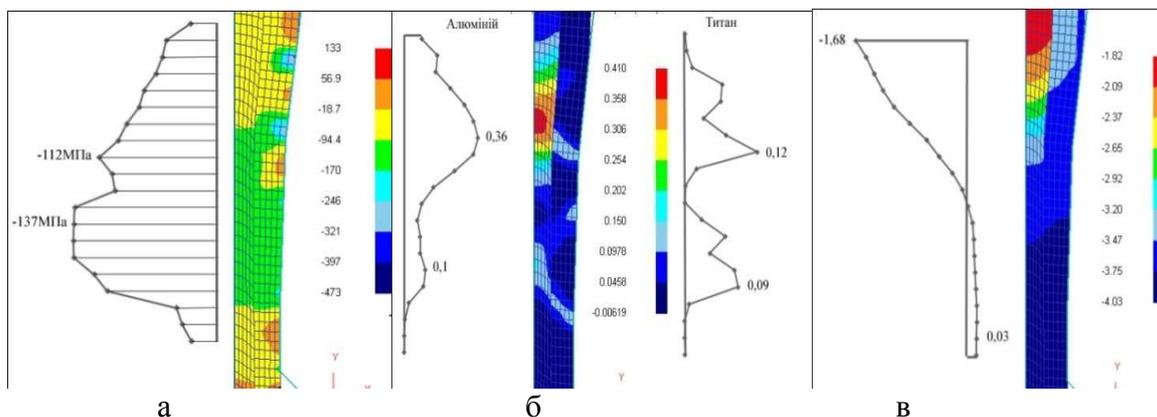


Рис.6. Напряженно-деформированном состоянии при вытяжке с утонением,  $f_{тр.} = 0,01$  и  $\alpha = 7^\circ$   $\beta = 2^\circ$ ; а –  $\sigma_r$ , МПа; б -  $\dot{\epsilon}_z$  (мм/мм)/сек.; в -  $-\Delta Vz$ , мм/сек.

Проанализировав распределение толщин слоев от величины радиальных напряжений показано, что соотношение толщин имеет значительное влияние на рост радиальных напряжений на контактной поверхности между двумя слоями. Установлено, что, чем больше толщина внутреннего слоя, в данном случае алюминиевого, тем большими по величине становятся радиальные напряжения, что способствует взаимодействию двух слоев.

С целью подтверждения теоретических расчетов процесса совместной вытяжки с утонением стенки двух разнородных металлов авторами были проведены экспериментальные исследования. Многослойные цилиндрические элементы вытягивались в следующих комбинациях: сталь-алюминий, титан-алюминий, титан-сталь, прочие.

Процесс проводился в универсальном штампе (рис.7). В эксперименте использованы материалы: титан BT1-0, алюминий АМцМ, сталь 12Х18Н10Т (рис. 8).



Рис.7. Универсальный штамп



Рис.8. Двухслойный элемент АМцМ - BT1-0.

На рис.9 приведена металлография состояния граничных поверхностей в цилиндрической стенке стаканчика алюминий - титан, после вытяжки с утонением

при температуре 425-450°C, с различной степенью обжатия стенки двухслойной заготовки (а – 60%, б – 30%).

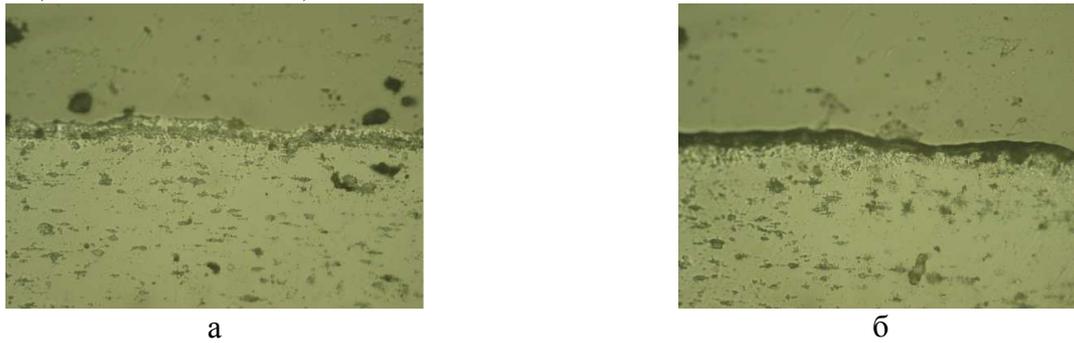


Рис.9. Граница контакта двух слоев стаканчика после вытяжки с утонением

Таким образом, металлографические исследования показали, что при вытяжке двухслойного элемента в комбинированной матрице с утонением 60% и использованием нагрева можно достичь взаимодействия слоев с созданием интерметаллидов в зоне контакта слоев. Прочность соединения составляет 0,85-0,9 от прочности алюминиевого слоя.

#### **Выводы:**

1. При моделировании совместной вытяжки с утонением пары металлов алюминий АМцМ – титан ВТ1-0, было установлено, что усилие деформирования значительно возрастает с уменьшением угла. Как показывают графики усилие – перемещение при наименьших значениях коэффициента трения  $f_{тр.} = 0,01$ , возрастание значения технологического усилия можно связать с увеличением влияния сил трения на контактных поверхностях заготовок с инструментом.

2. Установлено, что на контактной поверхности действуют значительные радиальные напряжения, характер распределения которых меняется в зависимости от угла конусности матрицы и от условий контакта заготовок с инструментом. Показано, что использование в матрице дополнительного угла наклона образующей рабочего пояса величиной  $1^\circ - 2^\circ$  позволяет создать зону максимальных радиальных напряжений на граничной поверхности и снизить до нуля взаимное перемещение слоев, что позволило создать условия необходимые для образования качественных биметаллических соединений.

3. Установлено, что увеличение коэффициента трения не благоприятно влияет на НДС в зоне пластического деформирования, а также на технологическое усилие совместной вытяжки с утонением. В зависимости от угла конусности рабочего пояса при коэффициенте трения  $f_{тр.} = 0,3$  технологическое усилие на 75-95% больше чем при  $f_{тр.} = 0,01$ . Это вызывает необходимость использования эффективных смазок.

4. Экспериментальные исследования совместной вытяжки с утонением двухслойных заготовок выполнены для разнородных металлов алюминий-титан, алюминий-сталь. Металлографические исследования показали, что при вытяжке многослойного элемента в комбинированной матрице с утонением, происходит взаимодействие слоев и образование интерметаллидов в зоне взаимодействия.

Полученные результаты подтверждают теоретические выкладки и дают основу для усовершенствования процесса в дальнейших исследованиях.

**Список литературы:** 1. Аркулис Г.Э. Совместная пластическая деформация разных металлов / Г.Э. Аркулис - М.: Металлургия, 1964. - 215 с. 2. Головачев В.А. Высокопрочные биметаллические соединения / В.А. Головачев, Н.А. Комаров - Л.: Машиностроение, 1974. - 192 с. 3. Кобелев А.Г. Технология слоистых металлов: Учебн. пособие. / А.Г.Кобелев, И.Н. Потапов, Е.В. Кузнецов - М.: Металлургия, 1991, 248 с. 4. Колпашиников А.И. и др. Деформирование композиционных материалов / Б.А. Арефьев, В.Ф. Мануйлов, А.И. Колпашиников - М.: Металлургия, 1982 - 246 с. 5. Король В.К. Основы технологии производства многослойных металлов / В.К. Король, М.С. Гильдельгорн - М.: Металлургия, 1970. - 237с. 6. Чепурко М.И. и др. Производство биметаллических труб и прутков / М.И. Чепурко - М.: Металлургия 1986. - 240с. 7. Чукмасов А.С., Бондарь Н.П. Сапогова А.Е. и др. Износостойкие биметаллические горячекатаные трубы из центробежно-литых заготовок / А.С. Чукмасов, Н.П. Бондарь // Производство труб - 1979. - №5. - С.17-21. 8. Тимов В.А. Розробка структури машинобудівної технології виготовлення біметалевих елементів та теоретичні підстави для її реалізації / В.А. Тимов, Р.С. Борис // Вестник Национального технического университета Украины "КПИ", серия "Машиностроение", - 2006. - №49. 9. Тимов В.А. Обґрунтування підстав для створення машинобудівної технології виготовлення біметалевих трубчастих елементів витягуванням / В.А. Тимов, Т.М. Лабур, Р.С. Борис // Технологические системы. - 2007. - №1. - С. 33-39. 10. Тимов В.А. Напрямки розвитку способів виготовлення біметалевих трубчастих елементів з різномірних матеріалів витягуванням / В.А. Тимов, Р.С. Борис, М.С. Тривайло // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут", серія "Машинобудування", - 2009. - №56. - С. 154-159. 11. Тимов В.А. Дослідження процесу виготовлення біметалевих трубчастих елементів витягуванням / В.А. Тимов, Р.С. Борис // Обработка материалов давлением. Сборник научных трудов - 2009. - №2 (21). - С. 173-178. 12. Тимов В.А. Обґрунтування та реалізація дослідного процесу виготовлення біметалевих трубчастих елементів / Тимов В.А., Борис Р.С., Вишневський П.С., Лук'яненко О.О. // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут", серія "Машинобудування" - 2010. - №59. - С. 13-18

**УДК 621.983.044**

**ЕЛИСЕЕВ Р.В.**, аспірант, КГУ, Кременчуг

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ВЗРЫВНОЙ ШТАМПОВКИ В ЗАКРЫТОЙ КАМЕРЕ С ВОЗДУШНОЙ ПОЛОСТЬЮ

Исследован механизм штамповки взрывом для закрытого устройства. Заряд закрепляют на дне взрывной камеры, расположенной в нижней части устройства и заливают слоем воды. Нагретую заготовку подают в верхнюю часть устройства перед взрывом. Заряд и заготовка до взрыва разделены воздушной полостью. Под действием взрыва вода приобретает кинетическую энергию, а при соударении передает её заготовке. Такая схема обеспечивает безопасность и высокий КПД штамповки.

**Ключевые слова:** детонация, газовый пузырь, ударная волна, кинетическая энергия, закрытая камера.

Досліджений механізм штампування вибухом для закритого пристрою. Заряд закріплюють на дні вибухової камери, розташованої в нижній частині пристрою і заливають шаром води. Нагріту заготовку подають у верхню частину пристрою перед вибухом. Заряд і заготовка до