

УДК 621.73.043:621.73.011-016

Т. В. ГАЙКОВА

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНАЯ МОДЕЛЬ ДЕФОРМИРОВАНИЯ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ВЫТЯЖКОЙ КОРОБЧАТЫХ ДЕТАЛЕЙ

На основании метода конечных элементов смоделированы процессы вытяжки из биметалла алюминий-медь коробчатых деталей для различных типов заготовок. При моделировании использованы различные комбинации слоев материала, что позволяет судить о влиянии расположения слоев материала и формы заготовки на параметры процесса. Ориентируясь по моделям деформируемого состояния при получении коробчатых деталей из биметалла оптимальной формой для заготовки является «прямоугольник со срезанными углами» и внешним расположением слоя меди.

Ключевые слова: конечно-элементная модель, биметалл, форма заготовки, вытяжка, интенсивность напряжений, деформирование.

На підставі методу скінченних елементів змодельовані процеси витягування з біметалу алюміній-мідь коробчастих деталей для різних типів заготовок. При моделюванні використані різні комбінації шарів матеріалу, що дозволяє судити про вплив розташування шарів матеріалу і форми заготовки на параметри процесу. Орієнтуючись по моделям деформованого стану при отриманні коробчастих деталей з біметалу оптимальною формою для заготовки є «прямокутник зі зрізаними кутами» і зовнішнім розташуванням шару міді.

Ключові слова: кінцево-елементна модель, біметал, форма заготовки, витяжка, інтенсивність напружень, деформування.

Based on the finite element method modeled processes extract from bimetal aluminum-copper box of parts for various types of workpieces. In the simulation used various combinations of layers of material that gives an indication of the impact location and the material layers to form the preform process. parameters. The intensity of the maximum voltage at the radius of curvature of the punch and reaches 350 MPa for the layer of copper and 260 MPa for the aluminum layer; a layer of copper is necessary to have the matrix, if permitted by manufacturing conditions, it reduces the intensity of the stresses in the layer of copper from 315 MPa to 250 MPa; used harvesting – a rectangle with beveled edges, decrease the maximum stresses and strains intensity from 315 MPa to 300 MPa, from 0.67 to 0.65 for the internal arrangement of copper and from 282 MPa to 250 MPa, from 0.63 to 0.59 for the external copper location; with a depth of 0.04 m $\epsilon_i = 0,56-0,;$ with increasing depth of the hood grow as the stress intensity and strain intensity (at a depth of 0.02 m $\sigma_i = 0,3-0,375;$ $\sigma_i = 200-230$ MPa 67; $\sigma_i = 300-315$ MPa).

Keywords: finite element model, the bimetal, the shape of the work piece, hood, stress intensity, deformation.

Введение. Комплекс ANSYS позволяет создавать непосредственно сетку конечных элементов (то есть узлы и элементы), а также геометрическую модель, на основе которой далее создается сетка конечных элементов. Пример сетки конечных элементов показан на рис. 1.

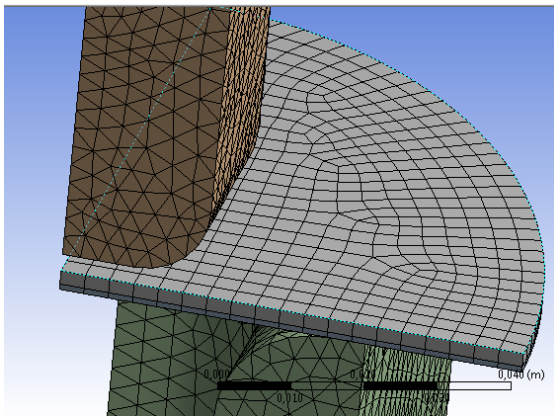


Рис. 1 – Разбивка заготовки на конечные элементы

Геометрическая модель или ранее созданная сетка также могут импортироваться в среду комплекса ANSYS из внешних файлов.

Актуальность работы. В связи с развитием и широким распространением средств CAD импорт ранее созданных файлов представляется наиболее удобным вариантом создания расчетных моделей, который может применяться в инженерной практике. На основании метода конечных

элементов можно смоделировать процессы вытяжки из биметалла алюминий-медь коробчатых деталей для различных типов заготовок, использовать различные комбинации слоев материала, что затруднительно проводить другими методами теоретического анализа.

Цель работы. На основании метода конечных элементов смоделировать процессы вытяжки из биметалла алюминий-медь коробчатых деталей для различных типов заготовок. При моделировании использовать различные комбинации слоев материала, что позволит судить о влиянии расположения слоев материала и формы заготовки на параметры процесса, а также геометрических параметров инструмента на усилие вытяжки, поле напряжений и деформаций, сравнение результатов моделирования с аналитическим расчетом и опытными данными.

Материал и результат исследований. Выбор типов заготовок для получения коробчатой детали. Материал, форма и геометрические размеры коробчатой детали показаны на рис. 2. Расположение слоев материала при расчете параметров модели деформирования будет чередоваться.

Расчет заготовки для процесса вытяжки проводили согласно методикам, изложенным В.П. Романовским и В.И. Стеблюком для пустотелых коробчатых деталей, получаемых вытяжкой за один переход [1, 2]. Построенная заготовка имеет форму, приближенную к овалу.

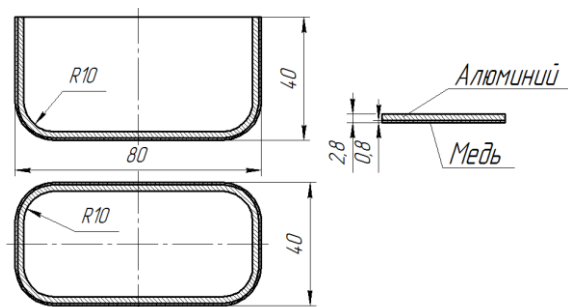


Рис. 2 – Матеріал і геометричні розміри проектуваної коробчатої деталі

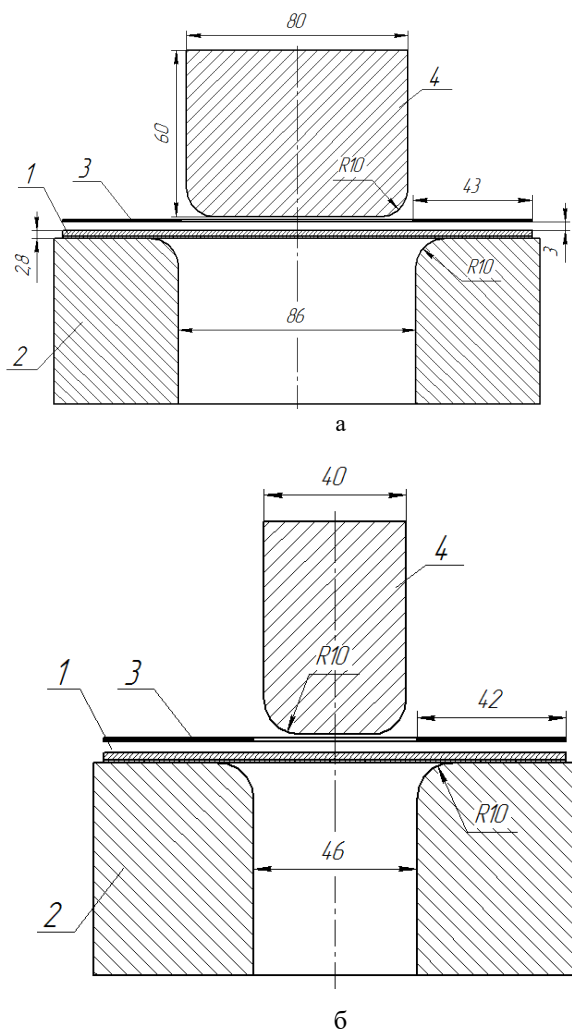


Рис. 3 – Фізична модель розположення заготовок і інструмента: а – фронтальний вид, б – профільний вид.

1 – заготовка; 2 – матриця; 3 – прижим; 4 – пуансон

Для уточнення оптимальної форми заготовки для вытяжки коробчатих деталей використовуємо ще ряд приблизно розрахованих заготовок для процесу вытяжки [3]. Это:

- круг;
- прямоугольник со скошенными углами;

- прямоугольник со срезанными углами;
- прямоугольник с закругленными углами.

Так же для сравнения используем еще неприменимую форму заготовки: прямоугольник.

Режим вытяжки: вытяжка однопереходная, без утонения стенок, с прижимом. Прижим используем для устранения образования складок. Величина прижима принимается равной 2,5 МПа [4]. Физическая модель расположения заготовок и инструмента показана на рис. 3 (а–б).

Последовательность решения задачи.

1. Вычерчиваем заготовку детали и инструмент в программе SolidWorks.

1.1. Сохраняем в формате IGS.

2. Импортируем файл в программу ANSYS, создавая геометрическую модель.

2.1. Задаем привязку расположения заготовки и инструмента для определения контактирования их между собой.

2.2. Поскольку задача осесимметричная, достаточно четвертой части модели.

2.3. Привязываем расположение заготовки относительно инструмента.

2.4. Задаем коэффициент трения между материалом и инструментом равным 0,1 для алюминия и 0,2 для меди.

2.5. Задаем матрицу полностью неподвижной по всем осям.

2.6. Ограничиваем возможность перемещения пуансона осью Y.

3. Выбор материала заготовки и инструмента.

3.1. Материалу матрицы и пуансона задаем нулевые перемещения, то есть, принимаем их абсолютно жесткими.

3.2. Для внешнего слоя (или внутреннего – в зависимости от расположения слоев) принимаем материалом отожженную медь, а для внутреннего (или внешнего) – отожженный алюминий.

3.3. Задаем механические свойства меди и алюминия

– предел текучести:

- а) меди – 150 МПа;
- б) алюминия – 50 МПа.

– модуль упругости:

- а) меди – 560 МПа;
- б) алюминия – 320 МПа.

– модуль упругости:

- а) меди – $1,17 \cdot 10^5$ МПа;
- б) алюминия – $0,66 \cdot 10^5$ МПа.

– коэффициент Пуассона:

- а) меди – 0,35;
- б) алюминия – 0,34.

– плотность:

- а) меди – 8,94 кг/см³;
- б) алюминия – 2,7 кг/см³.

3.4. Задаем характер взаимосвязи между слоями – полное сцепление (связь слоев задается полной, как у однородного тела) с ровной структурой соединения.

4. Разбивка модели на конечные элементы:

- форма конечных элементов матрицы и пуансона – трехгранная призма, заготовка – параллелепипед;
- количество конечных элементов – от 20 000 до 22 000 в зависимости от формы заготовки.

5. Задание параметров процесса: времени, глубины вытяжки и усилия прижима:

5.1. В реальности процесс вытяжки производят при скоростях движения инструмента не более 0,5 м/с. Так как, минимальный шаг интегрирования, определяемый условиями устойчивости решения при явных методах, обратно пропорционален скорости движения элемента, то для вычисления со скоростью 0,5 м/с мощности используемого процессора недостаточно, увеличиваем скорость движения пуансона в 5 раз. Тогда время перемещения пуансона с постоянной скоростью 2,5 м/с составит 0,016 с.

5.2. Глубина вытяжки (перемещения пуансона по оси Y) – 0,04 м.

5.3. По условиям процесса вытяжки удельная сила прижима составляет 2,5 МПа. С учетом того, что используется четверть полной модели, сила прижима в начале процесса вытяжки составляет 0,625 МПа. Прижим задается давлением на заготовку без изображения самого инструмента (прижимной плиты).

6. Задание параметров расчета. В качестве параметров для расчета выступают:

- 1) общая деформация (Total Deformation);
- 2) общая деформация по Мизесу (Equivalent Strain (von-Mises));
- 3) интенсивность деформаций (Intensity);
- 4) напряжение деформирования (Equivalent Stress);
- 5) интенсивность напряжений (Intensity Stress).

Анализ полученных результатов. Основные задачи компьютерного моделирования методом конечных элементов – установление влияния формы заготовки, расположения слоев металла, их толщины, а также геометрических параметров инструмента на усилие вытяжки, поле напряжений и деформаций, сравнение результатов моделирования с аналитическим расчетом и опытными данными.

Из зависимостей усилие деформирования – перемещение пуансона видно, что для заготовок с внутренним расположением слоя меди усилие деформирования в среднем на 8–10 % выше, чем для заготовок с внешним расположением слоя меди.

Это подтверждают построенные компьютерные модели вытяжки биметаллических

заготовок, на которых изображены интенсивности напряжений во всех точках построенного выреза, где на основании цветовой гаммы, каждый цвет в которой соответствует конкретной величине исследуемого параметра, определяемой по цветному столбику слева (см. рис. 4, а–б), видно, что интенсивности напряжений для заготовок с внутренним расположением слоя меди в среднем на 5–30% выше, чем для заготовок с внешним расположением слоя меди.

Как отчетливо видно из рисунков 4, а–б напряжения, которые возникают в слое меди (от 163 до 323 МПа и 163 до 260 МПа а) и б) соответственно) независимо от ее расположения, больше чем напряжения в слое алюминия (от 97 МПа до 130 МПа), напряженное состояние которого остается неизменным.

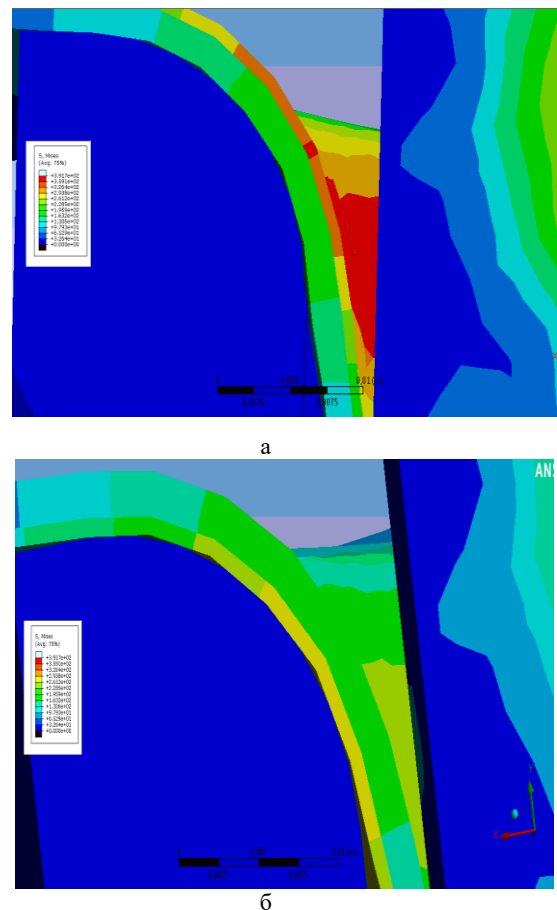


Рис. 4 – Схема, изображающая величину интенсивности напряжений в различных точках деформированной заготовки в зависимости от цветовой гаммы сечения детали (цветной столбик слева показывает величину интенсивности напряжений в зависимости от цвета): а – внутреннее расположение медного слоя, б – внешнее расположение медного слоя

Подобное расположение напряженных полей объясняется более высокими прочностными и меньшими пластическими способностями меди по

сравнению с алюминием. Так же данный факт показывает, что более твердый и прочный материал, для получения оптимальной технологичности изделия, должен располагаться на внешней части детали. В тоже время, желательно при изготовлении биметаллических деталей вытяжкой подбирать, по возможности, материалы с примерно одинаковыми прочностными и пластическими характеристиками, что позволит избежать возникновения различных по величине напряжений в слоях изделия и соответственно избежать коробления или других негативных последствий для готового изделия.

Величина интенсивности возникающих напряжений и деформаций в материале детали зависит от формы заготовки, из которой ее изготавливают.

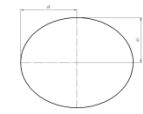
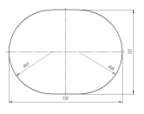
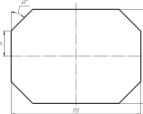
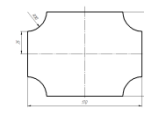
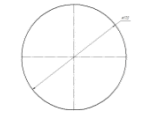
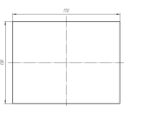
Как следует из теоретического анализа процессов вытяжки, форма заготовки оказывает влияние на напряженно-деформированное состояние в процессе формоизменения [5]. Для подтверждения этого положения моделировались различные варианты заготовки, и после расчета проводился сравнительный анализ результатов.

Внешнее расположение слоя меди при деформации увеличивает интенсивность напряжений от 260 МПа до 320 МПа, что соответствует физической сущности явлений, где трение между матрицей и заготовкой происходит по слою меди, для которой коэффициент сухого трения ниже, чем для алюминия (0,61 – для алюминия по стали, 0,22 – для меди по стали) [6, 7]. Вообще общая картина деформированного и напряженного состояния в полученной модели разделяется на две – для каждого слоя по отдельности, отсутствует зона переходного участка, так как при моделировании она должна выделяться в самостоятельный слой с задаваемыми физико-механическими характеристиками этого слоя.

Это усложнит модель, увеличит время счета и нагрузку на процессор. При этом недостаточно выявлены механические характеристики зоны соединения металлов, что затрудняет проектирование конечно-элементной модели.

Полученные результаты усредняли для каждого случая и сводили в табл. 1.

Таблица 1 – Сводная таблица результатов конечно-элементного моделирования процесса вытяжки биметалла

Элементы НДС						
для внутреннего расположения меди						
$\sigma_i/\text{МПа}$	315	313	300	300	315	315
ε_i	0,67	0,65	0,62	0,65	0,56	0,67
для внешнего расположения меди						
$\sigma_i/\text{МПа}$	280	282	250	260	265	270
ε_i	0,63	0,59	0,59	0,63	0,56	0,61

На основании вышеперечисленного, а также, ориентируясь по моделям деформируемого состояния при получении коробчатых деталей и листового биметалла алюминий медь, можно сделать вывод, что оптимальной формой для заготовки является «прямоугольник со срезанными углами» и внешним расположением слоя меди. Данная форма заготовки обеспечивает отсутствие гофр, при однопереходной вытяжке коробчатых деталей из биметалла алюминий-медь, а также обеспечивает наименьшее потребное усилие деформирования и минимальные интенсивности напряжений и деформаций.

Выводы. На основании метода конечных элементов смоделированы процессы вытяжки из биметалла алюминий-медь коробчатых деталей для различных типов заготовок. При моделировании использованы различные комбинации слоев материала, что позволяет судить о влиянии

расположения слоев материала и формы заготовки на параметры процесса.

Интенсивность напряжений наибольшая на радиусе закругления пуансона и достигает 350 МПа для слоя меди и 260 МПа для слоя алюминия; слой меди необходимо располагать к матрице, если это допускают условия изготовления, это снижает интенсивность напряжений в слое меди с 315 МПа до 250 МПа; применяемая заготовка – прямоугольник со скошенными краями, уменьшаются наибольшие напряжения и интенсивности деформаций с 315 МПа до 300 МПа, с 0,67 до 0,65 для внутреннего расположения меди и с 282 МПа до 250 МПа, с 0,63 до 0,59 для внешнего расположения меди; с увеличением глубины вытяжки растут как интенсивности напряжений, так и интенсивности деформаций (при глубине проштамповки 0,02 м $\varepsilon_i=0,3-0,375$; $\sigma_i=200-$

230 МПа; при глибині 0,04 м $\varepsilon_1 = 0,56-0,67$; $\sigma_1 = 300-315$ МПа).

Список литературы

1. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке / В. П. Романовский. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1976. – 520 с.
2. Стеблюк В. І. Побудова контуру заготовки на основі математичної моделі процесу витягування порожнистих виробів коробчастої форми / В. І. Стеблюк, О. В. Холявік // Сб. научн. трудов "Обработка материалов давлением", Краматорск. 2009 – №1 (20). – С. 63–67.
3. Губкин С. И. Теория обработки металлов давлением / С. И. Губкин. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1959. – 569 с.
4. Шофман Л. А. Теория и расчеты процессов холодной штамповки / Л. А. Шофман. – М.: Машиностроение, 1964. – 375 с.
5. Маслов В. Е., Экспериментальное исследование процессов обработки металлов давлением / В. Е. Маслов, В. Н. Шаповал. – К.: Вища школа, 1983. – 231 с.
6. Пригоровский Н. И. Методы и средства определения полей деформаций и напряжений: Справочник / Н. И. Пригоровский. – М.: Машиностроение, 1983. – 248 с.
7. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М.: Наука, 1971. – 279 с.

References (transliterated)

1. Romanovskiy V. P. *Spravochnik po kholodnoy shtampovke* [Handbook of cold stamping]. Leningrad.: Mashinostroenie. Leningr. otделение, 1976. – 520 p.
2. Steblyuk V. I. *Pobudova konturu zagotovki na osnovi matematichnoi modeli protsesu vityaguvannya porozhnistikh virobiv korobchastoї formi* // Sb. nauchn. trudov "Obrabotka materialov davleniem", Kramatorsk. – 2009 – No 1 (20). – pp. 63–67.
3. Gubkin S. I. *Teoriya obrabotki metallov davleniem* [Theory of metal forming]. Moscow: Gosudarstvennoe nauchno-tekhnicheskoe izdatel'stvo literatury po chernoy i tsvetnoy metallurgii, 1959. – 569 p.
4. Shofman L. A. *Teoriya i raschety protsessov kholodnoy shtampovki* [Theory and calculations of cold forming processes]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1964. – 375 p.
5. Maslov V. E., *Eksperimental'noe issledovanie protsessov obrabotki metallov davleniem* [Experimental investigation of metal forming processes]. – Kiev: Vishcha shkola Publ., 1983. – 231 p.
6. Prigorovskiy N. I. *Metody i sredstva opredeleniya poloy deformatsiy i napryazheniy*: Spravochnik [Methods and means for determining the strain and stress fields]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1983. – 248 p.
7. Adler Yu. P. *Planirovanie eksperimenta pri poiske optimal'nykh usloviy* [Planning an experiment in the search for optimal conditions]. Moscow: Nauka Publ., 1971. – 279 p.

Поступила (received) 07.11.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Конечно-элементная модель деформирования биметаллической заготовки при получении вытяжкой коробчатых деталей / Т. В. Гайкова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – № 30(1202). – С. 21–25. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2519-2671

Кінцево-елементна модель деформування біметалічної заготовки при отриманні витяжкою коробчатих деталей / Т. В. Гайкова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – № 30(1202). – С. 21–25. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2519-2671

Certainly-element model of deformation of bimetallic purveyance at a receipt by extraction of box-type details / T. V. Haikova // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Innovative technologies and equipment handling materials in mechanical engineering and metallurgy. – Kharkiv: NTU «KhPI» – 2016. – No 30 (1202). – P. 21–25. – Bibliogr.: 7 – ISSN 2519-2671

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Гайкова Татяна Владиславовна – кандидат технічних наук, Кременчугський національний університет імені Михайла Остроградського, доцент кафедри технології машиностроєння; тел.: (097) 514-10-62; e-mail: tanyahaikova@mail.ru

Гайкова Тетяна Владиславівна – кандидат технічних наук, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, доцент кафедри технології машинобудування; тел.: (097) 514-10-62; e-mail: tanyahaikova@mail.ru

Haikova Tetiana Vladyslavivna – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Associate Professor of mechanical engineering technology; tel.: (097) 514-10-62; e-mail: tanyahaikova@mail.ru