

УДК 621. 735.32:621.882

ПРЕДЕЛЬНАЯ СТЕПЕНЬ ВЫТЯЖКИ ЛИСТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ СО СФЕРИЧЕСКИМ ДНОМ В УСЛОВИЯХ ГОРЯЧЕЙ ДЕФОРМАЦИИ

Галкин В.В., Калинин А.Б., Пачурин Г.В., Ермаков Д.Ю.

ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»,
Нижний Новгород, e-mail: omd@nntu.nnov.ru

В машиностроении применяются цилиндрические изделия с куполообразным основанием из высокопрочных, мало пластичных титановых и алюминиевых сплавов, полученные операциями листовой горячей штамповки. При вытяжке имеет место сложное, объемное деформированное состояние металла изделия в различных его зонах. Поэтому оценка предельной степени вытяжки конкретных материалов в данных условиях является актуальной задачей. В работе определено значение предельной степени вытяжки в условиях горячей деформации листовых цилиндрических изделий со сферическим дном из высокопрочных титановых сплавов ВТ14, ВТ6, ОТ4-1 и алюминиевого сплава БА. Подтверждено теоретическое положение В. Беккофена, что механические свойства металла мало характеризуют его способность к вытяжке. Показано, что при условии достижения максимального пластического состояния металла, определяемого необходимым температурным интервалом штамповки, можно вытянуть цилиндрические изделия со сферическим дном из трудно деформированных титановых и алюминиевых сплавов из заготовок, диаметр которых равен удвоенному диаметру изделий. Дана оценка зависимости предельной степени вытяжки от относительной толщины заготовки и формы дна штампуемого изделия.

Ключевые слова: листовые цилиндрические изделия со сферическим дном, горячая деформация, вытяжка и ее предельная степень, высокопрочные титановые и алюминиевые сплавы, параметры деформации

LIMITING DEGREE DOME SHEET PRODUCT WITH SPHERICAL BOTTOM IN HOT STRAIN

Galkin V.V., Kalinin A.B., Pachurin G.V., Ermakov D.Y.

FGBOU VPO «Nizhny Novgorod State Technical University. R.E. Alekseev», Nizhny Novgorod,
e-mail: omd@nntu.nnov.ru

In engineering applied cylindrical products with a domed base of high-strength, low ductile titanium and aluminum alloys, resulting sheet hot stamping operations. When drawing there is a complex, three-dimensional strain state of metal products in its various areas. Therefore, evaluation of the marginal degree of stretch of concrete materials under these conditions is an urgent task. In work of the limiting draw ratio under hot deformation of sheet cylindrical products with spherical bottom of the high-strength titanium alloys ВТ14, ВТ6, ОТ4-1 and aluminum alloy БА. Confirmed the theoretical position В. Bekofena that the mechanical properties of the metal is characterized by its low drawability. It is shown that, provided the maximum plastic state, identifies the necessary temperature range of stamping, you can pull the cylindrical products with spherical bottom of the hard deformed titanium and aluminum alloys from the blanks with a diameter equal to twice the diameter of the product. Assessed according to the marginal degree of stretch on the relative thickness of the workpiece and the bottom shape formed product.

Keywords: sheet cylindrical products with spherical bottom, hot deformation, hood and its ultimate degree, high-strength titanium and aluminum alloys, the deformation parameters

В машиностроении применяются цилиндрические изделия с куполообразным основанием (баллоны высокого давления, каски и т.д.) из высокопрочных, мало пластичных титановых и алюминиевых сплавов. Они изготавливаются операциями листовой штамповки в условиях горячей обработки.

В общей терминологии вытяжка подразделяется на два вида: стационарную, используемую для изготовления длинных заготовок (проволоки, прутка, трубы), и нестационарную, при которой заготовка из листового металла превращается в объемное изделие. По второму виду, согласно схеме процесса превращения плоской заготовки в полостную деталь объемной формы (рис. 1), кольцевая часть заготовки ($D-d$) свертывается в цилиндрическую поверхность диаметром d и высотой h . В связи с тем, что объем металла при этом не изме-

няется, высота детали h будет больше ширины кольцевой части b .

Свертка круглой заготовки в цилиндрический стакан служит прототипом практически всех операций вытяжки и является примером нестационарного процесса. В технологических расчетах используются деформационные показатели процесса: степень вытяжки K_s и коэффициент вытяжки m , определяемые выражениями

$$K_s = d/D, m = D/d,$$

где d – диаметр изделия; D – диаметр заготовки.

В технологических операциях, в зависимости от относительных размеров заготовки, применяются два вида вытяжки: без прижима и с прижимом заготовки. Это объясняется возникновением гофр во фланце при потере его устойчивости в результате деформаций тангенциального сжатия.

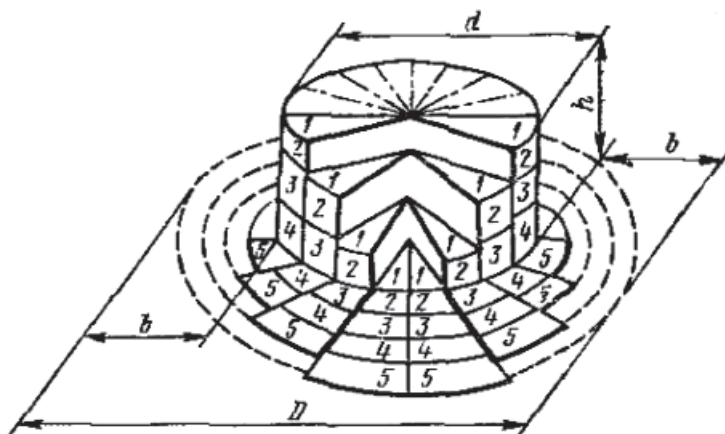


Рис. 1. Последовательность перемещения металла в процессе вытяжки из-под фланца

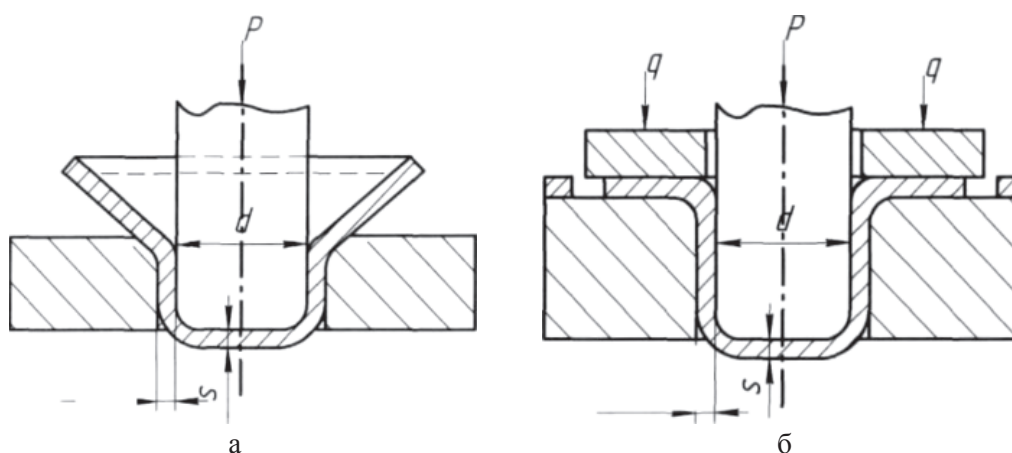


Рис. 2. Схема вытяжки заготовки:
а – без прижима; б – с прижимом

Вытяжка без прижима применяется при штамповке заготовок малой высоты из относительно толстого металла (рис. 2, а). Второй вид применяется при штамповке заготовок значительных размеров из относительно тонкого металла. В этом случае для предупреждения образования складок заготовка принудительно прижимается к матрице в процессе вытяжки (рис. 2, б). Кроме того, для минимального изгиба и выпрямления заготовки в процессе ее втягивания в инструмент-матрицу его формирующая кромка имеет радиус, определяемый значением, равным 5–10 толщине вытягиваемого металла.

При вытяжке имеет место сложное, объемное деформированное состояние металла изделия в различных его зонах. Деформация происходит в направлении толщины заготовки, в радиальном и тангенциальном направлениях.

При оценке предельной степени вытяжки В. Бекофен высказал положение, согласно которому способность к вытяжке не характеризуется общепринятыми механи-

ческими свойствами металла [1]. Как следствие, коэффициент вытяжки для каждого материала определяется опытным путем, для этого находится наибольший диаметр заготовки, при котором не происходит разрушение. Для вытяжки цилиндрических изделий с плоским дном было предложено практическое правило: «...из пластичного листового металла можно вытянуть цилиндрический колпачок с плоским дном при диаметре заготовки, не более чем в два раза превосходящем диаметр колпачка».

В машиностроительном производстве имеется необходимость в изделиях из высокопрочных титановых и алюминиевых сплавов, имеющих цилиндрическую поверхность с куполообразным основанием. Их изготовление связано с горячей обработкой давлением, при которой металл не имеет упрочнения. Очевидна актуальность проблемы, связанной с определением предельной степени вытяжки выше обозначенных изделий в условиях горячей обработки.

На основании вышеизложенного сформулирована цель данных исследований,

которая включила определение предельной степени вытяжки листовых цилиндрических изделий со сферическим дном из высокопрочных титановых и алюминиевых сплавов в условиях горячей обработки.

Методика проведения эксперимента

На основании поставленной цели в качестве предметов исследований были выбраны цилиндрические изделия со сферическим дном из тонко- и толстолистовых алюминиевых и титановых сплавов. Они изготавливались вытяжкой «из-под прижима»

в условиях горячей обработки по следующим технологическим процессам:

– изделия диаметром 250 мм и высотой 270 мм из бронетанкового алюминия (БТА) и титанового сплава ВТ14, штампуемые из заготовок диаметром 480 и 500 мм (степень вытяжки 1,8 и 2,0 соответственно) с их нагревом в камерной электрической печи;

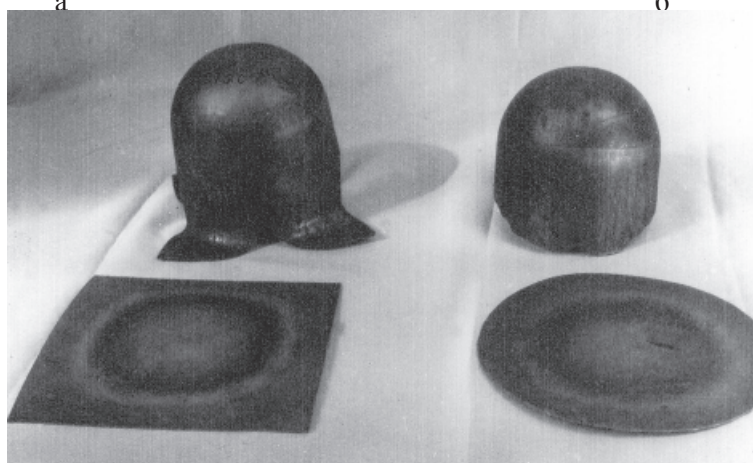
– изделия диаметром 100 мм и высотой 120 мм из титановых сплавов ОТ4-1, ВТ6, штампуемые из заготовок диаметром 200 мм (степени вытяжки 2,0) в условиях постоянной температуры фланца (изотермическая штамповка), которая обеспечивалась методом электродного нагрева [4].



а



б



в

Рис. 3. Фотографии цилиндрических изделий со сферическим дном, вытянутые «из-под прижима» за одну операцию:

а – из алюминиевого сплава БТА, л. 4,0; б – из титанового сплава ВТ14, л. 4,0; в – из титанового сплава ВТ6, л. 1,5

Результаты экспериментов и их обсуждение

В ходе изготовления изделий были получены следующие результаты. Предельная степень вытяжки, равная двум, была получена для изделий диаметром 250 мм из алюминиевого сплава БТА (рис. 3 а)

и диаметром 100 мм из титановых сплавов ОТ4-1, ВТ6 (рис. 3, в). Для изделия диаметром 250 мм из титанового сплава ВТ14 предельная степень вытяжки составила 1,8 (рис. 3, б) [2, 5]. Результаты анализа поэтапного формоизменения заготовки для сплавов БТА и ВТ14, л. 4 мм представлены на рис. 4.



Рис. 4. Фотографии поэтапного формоизменения заготовки, л. 4,0:
а – алюминиевого сплава БТА; б – титанового сплава BT14

Результаты исследований показали, что предельная степень вытяжки «из-под прижима» в условиях горячей деформации с постоянной температурой металла в зоне фланца, не превышает значения «два». Теоретически это подтверждается моделью вытяжки, предложенной В. Бекофеном. В ее соответствии каждый сектор исходной заготовки изменяет форму (свертывается) по схеме, приведенной на рис. 5, согласно которой функцию матрицы выполняют соседние сектора заготовки, а угол матрицы определен углом при вершине деформируемого сектора. Приложенная сила пуансона передается через относительно недеформируемую часть заготовки.

Каждый элемент сектора претерпевает деформацию сдвига, при этом по мере перехода к внешним участкам величина тангенциальной деформации возрастает. Очевидно, что в случае, когда величина тангенциальной деформации будет превышать величину радиальной, плоская схема деформации должна смениться на объемную

и произойдет резкое утолщение металла. Как следствие, по периметру фланца заготовки произойдет его защемление, и требуемая сила для свертки заготовки превысит прочность металла, что может привести к разрыву металла изделия. Данная ситуация соответствует значению степени вытяжки, равной двум. В целом полученные значения предельной степени вытяжки, полученные при горячей деформации, подтвердили правило В. Бекофена о ее предельном значении.

Неодинаковую степень вытяжки изделий диаметром 250 мм из титанового сплава BT14 и алюминиевого сплава БТА можно объяснить тем фактом, что титановые сплавы более резко снижают пластичность при потере температуры. Как следствие, гофры по фланцу расправляются не в полной мере. На рис. 3 отчетливо видно, что на цилиндрической части изделия из алюминиевого сплава зона, имеющая следы гофрированных складок, меньше, чем у изделия из титанового сплава. В то же время

при вытяжке тонколистовых сплавов ОТ4-1, ВТ6 л. 1,5 в условиях сохранения постоянной температуры по зоне фланца степень вытяжки имеет максимальное значение и зона со следами гофрированных складок минимальна. При этом надо иметь в виду,

что с увеличением толщины вытягиваемой заготовки увеличивается вытяжной радиус матрицы: для толщины 1,5 мм он равняется 12 мм, для толщины 4 мм – соответственно 40 мм. Как следствие, увеличивается безопорная фаза вытяжки в конечной ее части.

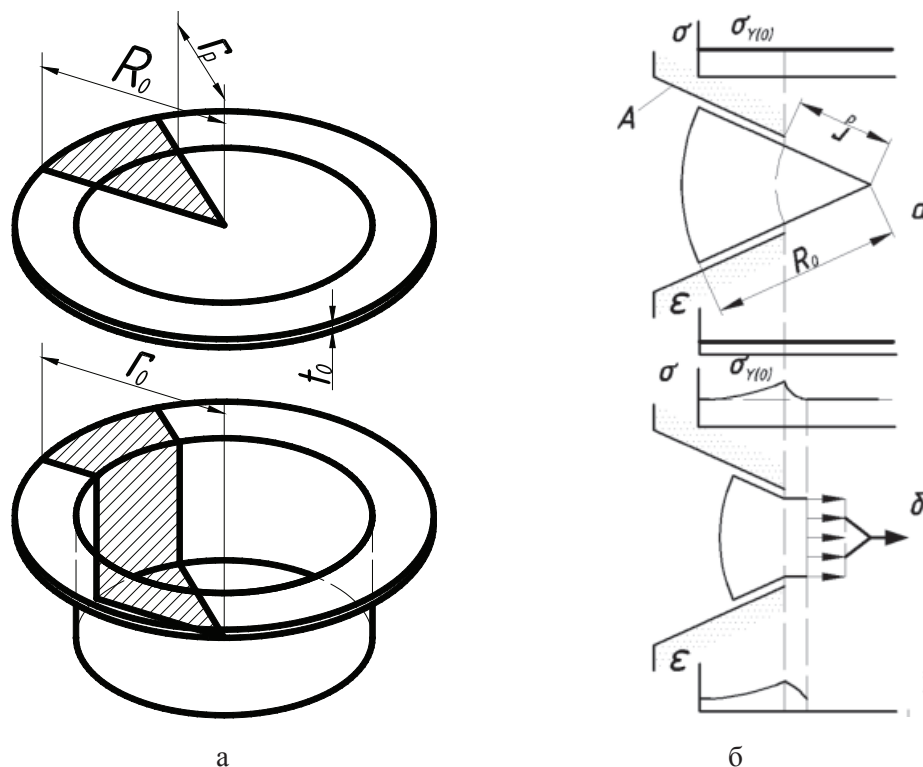


Рис. 5. Нестационарная вытяжка листового металла: а – схема операции; б – схема свертки сектора заготовки

При анализе результатов надо отметить особенность вытяжки изделий со сферическим дном в отличие от изделий с плоским дном. Для них характерна развитая начальная стадия процесса, которая состоит из сложной пластической деформации кольцевой, не зажатой части заготовки под пуансоном. Она осуществляется за счет ее растяжения с изгибом, при этом фланец сохраняет свои первоначальные размеры. Следует отметить очередность и преобладание деформаций, связанных с растяжением и изгибом, в зависимости от прочностных характеристик вытягиваемого материала, в начальной стадии вытяжки. Так, на рис. 4 хорошо видно, что для титанового сплава в начале вытяжки характерно растяжение: он как бы облегает пуансон, в отличие от алюминиевого сплава, где в первую очередь происходит изгиб по вытяжному радиусу матрицы. Как следствие, в зависимости от вытягиваемого материала при недостаточной его пластичности разрывы могут быть в куполе в конце вытяжки или по вытяжно-

му радиусу матрицы в ее начале. К концу стадии происходит пластическое формоизменение всей донной части заготовки.

Анализ гофрообразования во фланце в целом подтвердил динамику его развития. Процесс происходит скачкообразно по мере непрерывного уменьшения внешнего диаметра заготовки до тех пор, пока не образуется вполне устойчивый мелкий гофр. В толстом материале, при тех же размерах заготовки и изделия, возникновение гофров затруднено благодаря большей устойчивости фланца заготовки.

Подтверждение полученных результатов по значению предельной степени вытяжки и динамике ее развития было получено методом математического моделирования с применением программного комплекса DEFORM [3].

Выводы

1. Определено значение предельной степени вытяжки листовых цилиндрических изделий со сферическим дном из

высокопрочных титановых сплавов ВТ14, ВТ6, ОТ4-1 и алюминиевого сплава БТА в условиях горячей деформации.

2. Подтверждено теоретическое положение В. Бекофена, что механические свойства металла мало характеризуют его способность к вытяжке. Для достижения предельной степени вытяжки, при которой диаметр заготовки равен удвоенному диаметру изделия, необходимо создание в зоне фланца максимального пластического состояния металла.

3. При вытяжке трудно деформированных сплавов необходимо создание пластичности металла в зоне фланца за счет постоянного температурного поля. Предельная степень вытяжки определяется силой торможения по периметру фланца заготовки при ее вытяжке «из-под прижима». В свою очередь величина торможения определяется гофрообразованием, зависящим от относительной толщины заготовки и прочностных характеристик металла.

Список литературы

1. Бэкофен В. Процессы деформации / Массачусетс, Калифорния, 1972. пер. с англ. – М.: Металлургия, 1977. – 288 с.
2. Галкин В.В., Поздышев А.И., Поздышев В.А., Вашурин А.В. Изготовление толстолистовой защитной оболочки защитного шлема из высокопрочных алюминиевого и титанового сплавов методом горячей вытяжки // Заготовительные производства в машиностроении. – 2012. – № 9. – С. 33–36.
3. Галкин В.В., Поздышев В.А., Вашурин А.В., Пачурин Г.В. Математическое моделирование процесса изготовления изделия типа стакан методом глубокой вытяжки на основе применения программного комплекса DEFORM // Фундаментальные исследования № 1 (часть 2). – 2013. – С. 371–374.

4. Золотов М.А., Галкин В.В., Щевченко М.П. Вытяжка деталей с дифференцированным нагревом заготовок в радиальном направлении // Кузнечно-штамповочное производство. – 1990. – № 7. – С. 14–16.

5. Золотов М.А., Галкин В.В., Щевченко М.П., Гребнев В.В., Цуканов А.А. Штамп для вытяжки с нагревом. А.с. 1447481, кл. В 21 D 22/20, 1987. Заявлено 8.01.91. Оpubl. 11.10.92.

References

1. Bekofen B. Processes deformation / Massachusetts, California, 1972. Lane. from English. – Moscow: Metallurgy, 1977. 288 p.
2. Galkin V.V., Pozdyshev A.I., Pozdyshev V.A., Vashurin A.V. Making thick protective shell helmet made of high strength aluminum and titanium alloys by hot-drawn // Provision of industrial manufacture. 2012. no. 9. pp. 33–36.
3. Galkin V.V., Pozdyshev V.A., Vashurin A.V., Pachurin G.V. Mathematical modeling of manufacturing glass products such as deep drawn on the basis of application software package DEFORM // Basic research number 1 (part 2). 2013. pp. 371–374.
4. Zolotov M.A., Galkin V.V., Schevchenko M.P. Extractor parts differentiated heating blanks in a radial direction // Press-stamping production. 1990. no. 7. pp. 14–16.
5. Zolotov M.A., Galkin V.V., Schevchenko M.P., Grebnev V.V., Cukanov A.A. Stamp for drawing heated. A.S. 1447481, cl. B 21 D 22/20, 1987. Zayavlno 08/01/91. Publ. 10/11/92.

Рецензенты:

Гаврилов Г.Н., д.т.н., профессор, кафедра «Материаловедение, технология материалов, термическая обработка металлов», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород;

Панов А.Ю., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Теоретическая и прикладная механика», директор ИПТМ, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород.

Работа поступила в редакцию 21.03.2014.