

**Литература**

1. Околович А.Г. Исследование технологии изготовления стальных поршневых колец. Ползуновский вестник / Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул, №1-2, 2009, с.256-259.
2. Пат.2341362 РФ, МПК<sup>7</sup> В23Р15/06, В21F37/02, С21В 8/06. Способ изготовления стальных компрессионных поршневых колец/ Околович Г.А., Карпов А.П., Околович А.Г., Карпов С.В.; заявитель и патентообладатель ООО «ЦРТ-Алтай» - № 2007109549/02, заявл. 15.03.07; опубл. 20.12.08, Бюл. №35.
3. Пат.2318645 РФ, МПК<sup>7</sup> В23Р15/06. Способ изготовления стальных маслосъемных поршневых колец/ Околович Г.А., Карпов А.П., Околович А.Г.; заявитель и патентообладатель ООО «ЦРТ - Алтай» - №2005134301/02, заявл. 07.11. 05; опубл. 10.03.08, Бюл. №7.
4. Пат.2386726 РФ, МПК<sup>7</sup> С23С26/00, С23С28/00. Способ упрочнения поверхностей стальных поршневых колец / Околович Г.А., Гурьев А.М., Околович А.Г.; заявитель и патентообладатель АлтГТУ им. И.И. Ползунова - № 2008139124/02, заявл. 01.10.08; опубл. 20.04.10, Бюл. №11.
5. Пат. 2407621 РФ, МПК<sup>7</sup> В23Р С1В23Р 15/06, В23F 37/00,С21D8/00. Способ изготовления стальных компрессионных и маслосъемных поршневых колец. Околович Г.А., Околович А.Г., Сизова А.Е. заявитель и патентообладатель АлтГТУ им. И.И. Ползунова - № 2009125113/02, заявл. 30.06.2009; опубл. 27.12.2010, Бюл. № 36

***Исследование влияния разностенности штампуемых способом вытяжки с утонением деталей на неравномерность распределения твердости свойств в поперечных сечениях***

к.т.н. проф. Агеев Н.П., Затеруха Е.В.  
Балтийский Государственный Технический Университет  
«Военмех»  
8 (812) 251-84-67, [bgtu\\_e4@mail.ru](mailto:bgtu_e4@mail.ru)

*Аннотация.* В статье рассмотрено влияние разностенности на формирование механических свойств в поперечных сечениях штампуемых способами вытяжки с утонением деталей. Предложена модель формирования разностенности в многооперационных процессах вытяжки с утонением, учитывающая влияние геометрии рабочего инструмента и накапливаемой деформации.

*Ключевые слова:* разностенность, механические свойства, однофакторные модели.

**Введение**

В современном машиностроении предъявляются высокие требования по механическим свойствам к деталям ответственного значения, работающих под внутренним давлением, например, корпусам баллонов для хранения жидкостей и газов, тонкостенным оболочкам боеприпасов и т.п. Поэтому актуальной задачей является обеспечение требуемых по условиям эксплуатации значений характеристик механических свойств.

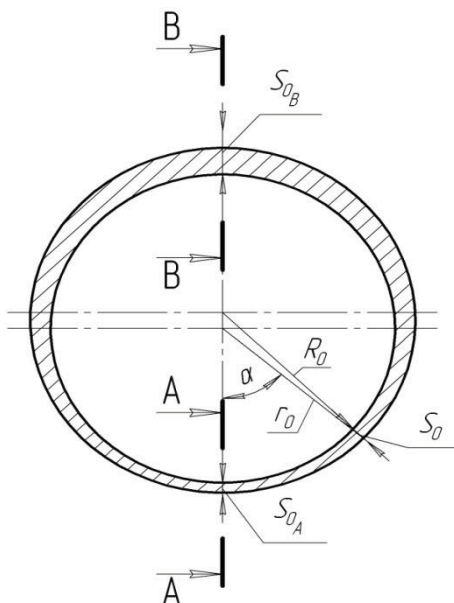
Постановка задачи. Характерной особенностью штампуемых способами вытяжки с утонением заготовок и деталей является наличие разностенности (разнотолщинности в поперечных сечениях), которая может составлять 10-25%, а в отдельных случаях превышает эти значения (рисунок 1).

Представленное на рисунке 1 поперечное сечение детали имеет минимальную толщину в продольном сечении А ( $S_{0A} = S_{min}^j$ ), а в противоположном продольном сечении В – максимальную ( $S_{0B} = S_{max}^j$ ).

Относительная разностенность определяется по следующему соотношению:

$$\delta_S = \frac{S_{max} - S_{min}}{S_{cp}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $\Delta S = S_{max} - S_{min}$  – абсолютная разностенность,  $S_{max}$ ,  $S_{min}$  – максимальная и минимальная толщина стенки соответственно;  $S_{cp} = (S_{max} + S_{min}) / 2$  – средняя толщина стенки.



**Рисунок 1. Поперечное сечение разностенной детали**

На основе статистических исследований авторами предложена модель формирования относительной разностенности в многооперационных процессах вытяжки с утонением, учитывающая влияние геометрии рабочего инструмента и накапливаемой деформации:

$$\delta_{S^j} = \delta_{S_0^j} \prod_{i=1}^n C_{S_i^j}^j, \quad (2)$$

где  $\delta_{S^j}$ ,  $\delta_{S_0^j}$  – технологически наследуемая после первой вытяжки и прогнозируемая после любой  $i$ -й операции разностенности в  $j$ -м сечении заготовки;

$C_{S_i^j}^j = C_{S_i^j}^j(e_{it}^j, e_{iB}^j, \alpha_i, e_{i0}^j)$  – коэффициент изменения (увеличения) наследуемой относительной разностенности на последующих вытяжных операциях;  $e_{i0}^j$ ,  $e_{iB}^j$ ,  $e_{it}^j$  – степени деформации в сечении  $j$  предварительная, в верхней матрице, после  $i$ -й операции;  $\alpha_i$ ,  $\beta_i$  – углы конусности матрицы и пуансона.

В качестве примера ниже дана модель коэффициента для стали 11ЮА, построенная на основе активного планируемого эксперимента [1]:

$$C_{S_i^j}^j = 3,9 - 0,06e_{iB} - 0,18\alpha + 0,02e_{iB}\beta + 0,0008e_{iB}\alpha + 0,0007e_{i0}\alpha + 0,0004e_{iB}^2 - 0,0001e_{i0}^2 - 0,391\beta^2 + 0,0024\alpha^2. \quad (3)$$

Принятый в эксперименте диапазон изменения уровня факторов:  $e_{iB} = 0 \dots 80\%$ ;  $e_{i0} = 0 \dots 80\%$ ;  $\alpha = 5 \dots 25^\circ$ ;  $\beta = 0,5 \dots 1,5^\circ$ .

При функционировании тонкостенных оболочек под давлением наибольшие напряжения возникают в продольных сечениях с наименьшей толщиной стенки. В предельных случаях в этих сечениях возможно появление продольных трещин. Следовательно, для оценки условий прочности разностенных оболочек представляет интерес исследование влияния разностенности штампуемых деталей на неравномерность распределения механических свойств в поперечных сечениях штампуемых деталей.

Основными факторами, влияющими на формирование механических свойств штампуе-

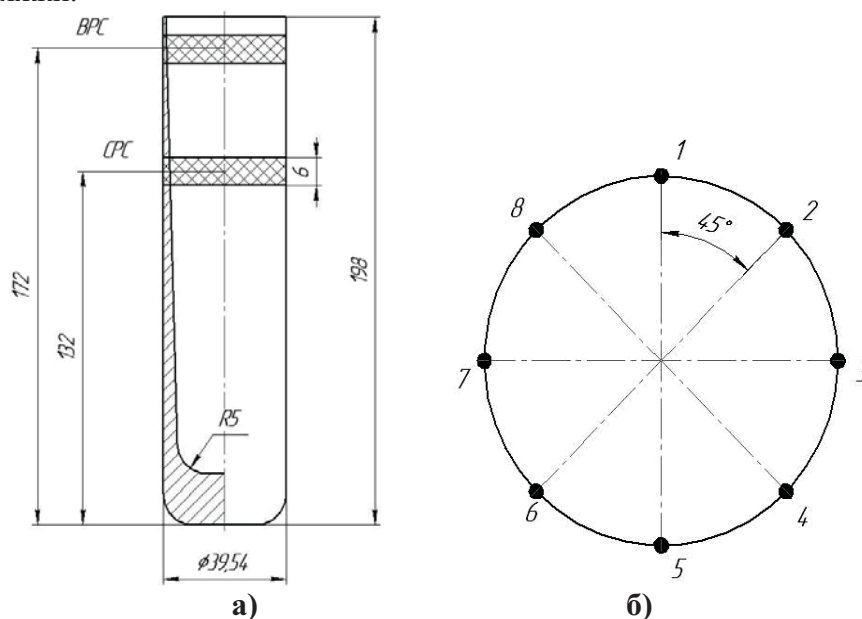
мых заготовок и деталей при вытяжке, являются: структура и механические свойства материала исходной заготовки, ее разностенность, степень накопленной эффективной деформации и соответственно неравномерность ее распределения в поперечных сечениях, условия деформации (температура, скорость деформации, условия монотонности процесса и контактного трения, геометрия рабочего инструмента, реализуемая в зоне очага пластической деформации, схема напряженного состояния).

Авторами выполнено экспериментальное исследование влияния разностенности отштампованных деталей на неравномерность распределения степени деформации и твердости в поперечных сечениях после последней вытяжки с утонением в 4-х операционном технологическом процессе. Согласно маршрутному процессу между вытяжками введена термообработка – отжиг, закалка и отпуск, низкотемпературный отпуск.

Проведение исследований включало в себя следующие виды работ:

- подготовка полуфабрикатов и разметка контролируемых сечений и точек;
- разрезка полуфабрикатов вытяжки на кольцевые образцы;
- измерение толщин стенок кольцевых образцов в контролируемых сечениях согласно разметке;
- измерение твердости (HRA) образцов в контролируемых сечениях согласно разметке;
- статистическая обработка полученных результатов измерения толщин стенок и твердости в соответствии с известными методиками [2];
- определение поля деформации в поперечном сечении методом компьютерного моделирования.

Исходными данными для проведения эксперимента были: технологический процесс изготовления полый тонкостенной цилиндрической детали с наружным диаметром 39,54 мм и чертежи рабочего инструмента. Для исследования были отобраны 30 полуфабрикатов после последней вытяжки.



**Рисунок 2. Схема расположения кольцевого образца (а) и контролируемых точек (б)**

Объемы выборок по измерению толщин в каждом расчетном сечении и твердости одинаковы и равны 240. Твердость измерялась в тех же контролируемых точках, что и толщина стенки образцов.

**Результаты.** По результатам статистической обработки измерений толщин стенок в контролируемых точках с объемом выборки в 240 единиц построены для верхнего расчетного сечения гистограммы распределения (рисунок 3).

По результатам статистической обработки измерений твердости образцов рассчитаны средние значения для каждого из выделенных на гистограмме интервала значений толщины

стенки (рисунок 3).

Полученную экспериментальную зависимость можно аппроксимировать полиномиальной кривой  $HRA = f(S)$  (рисунок 3в):

$$HRA = -0,017S^2 - 0,076S + 57,87. \quad (4)$$

Схема, представленная на рисунке 4 отражает данные статистической обработки выборки всех исследуемых полуфабрикатов.

Выполненное компьютерное моделирование процесса вытяжки с утонением заготовки с относительной разностенностью  $\delta_S$  показывает неравномерность распределения степени деформации в поперечном сечении заготовки, причем в продольном сечении «А», соответствующем минимальной толщине стенки ( $S_{min}$ ), степень деформации и твердость HRA имеют максимальное значение.

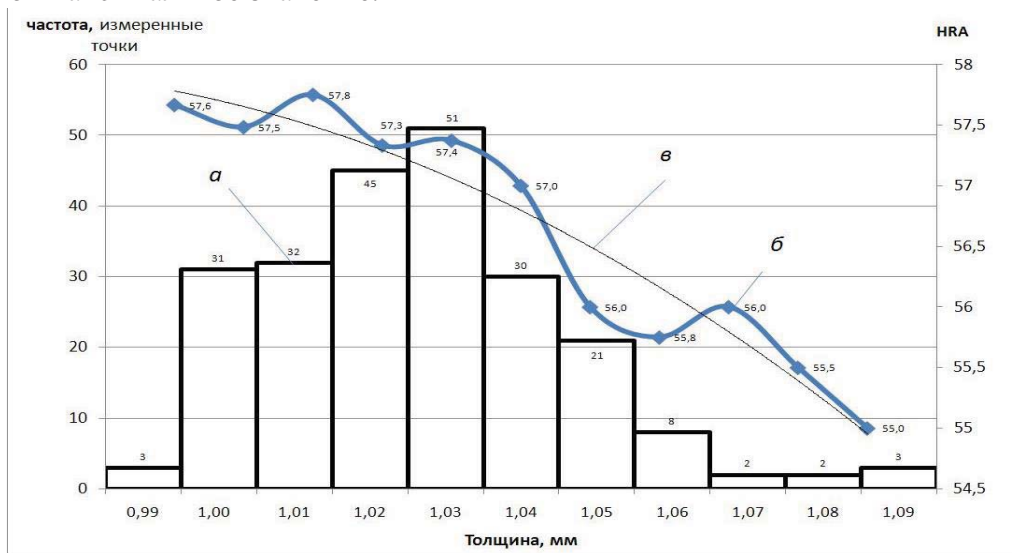


Рисунок 3. Гистограмма распределения толщин стенок заготовок в верхнем расчетном сечении (а), кривая средних, по каждому интервалу толщин стенок, значений твердости HRA (б), кривая аппроксимации (в) функции  $HRA=f(S)$

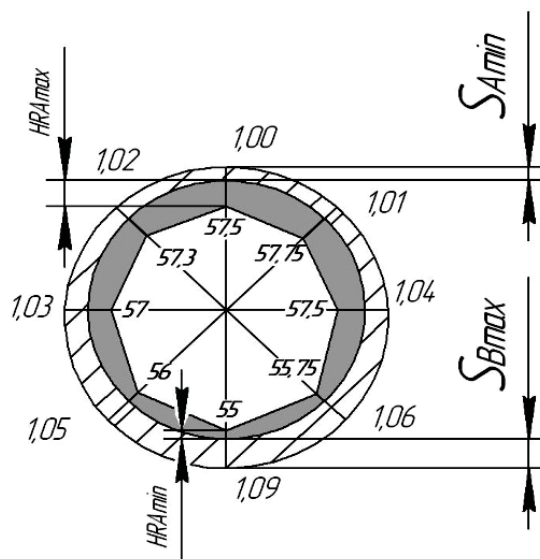


Рисунок 4. Схема статистического распределения твердости HRA в зависимости от толщины стенок в верхнем поперечном сечении заготовок после вытяжки с утонением

При принятии допущения о том, что минимальная  $S_{min}^j$  и максимальная  $S_{max}^j$  толщины стенок поперечного сечения  $j$  находятся в одной плоскости продольного сечения отношение толщин  $S_{min}^j/S^j$  можно аппроксимировать в соответствии с [3] функцией:

$$\frac{S_{min}^j}{S^j} = f(\alpha) = \frac{2}{\lambda + 1 - (\lambda - 1)\cos\alpha}, \quad (5)$$

где  $\lambda = S_{max}/S_{min}$ .

Погрешность расчета толщин  $S_{min}^j$  по формуле (5) не превышает – 2% в сопоставлении со статистическими данными (рисунок 4).

Результаты моделирования вытяжки с утонением при разностенности  $\Delta S_{max} = 0,10$  мм, отвечающей условиям эксперимента показали выраженную неравномерность распределения деформации в рассматриваемом поперечном сечении при наибольшей интенсивности деформации в продольном сечении с наименьшей толщиной стенки.

#### Выводы

1. Предложена математическая модель технологического наследования разностенности в заготовках и деталях, изготавливаемых с применением многооперационной вытяжки с утонением.

2. При проектировании полых тонкостенных изделий, изготавливаемых способами вытяжки с утонением и работающих при функционировании под внутренним давлением, необходимо учитывать их разностенность (разнотолщинность в поперечном сечении) и вызываемую ей неравномерность распределения механических свойств по периметру.

#### Литература

1. Агеев Н.П., Данилин Г.А., Огородников В.П. Технология производства патронов стрелкового оружия Ч.2. Технологические основы проектирования патронов. – СПб., Балт. гос. техн. ун-т., 2006 г. – 533с.
2. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высшая школа, 1977. 480 с.
3. Свердлов М.И., Хавкин И.Я., Титов А.Г. Предельные деформации разностенной трубчатой заготовки, нагружаемой внутренним давлением. «Известия высших учебных заведений», Машиностроение. Изд-во МВТУ им. Баумана, 1973,2, с.113-118.

### **Штампы для радиального выдавливания деталей с внутренним фланцем из трубчатой заготовки**

к.т.н. Алиева Л.И., Мартынов С.В.  
ДГМА, г. Краматорск, Украина  
pnir@dgma.donetsk.ua

*Анотация.* В статье рассматривается конструкция штампа для выдавливания полых деталей с внутренним фланцем из трубчатой заготовки. Приводится описание штампа и его конструкция.

*Ключевые слова:* холодное выдавливание, полая деталь с внутренним фланцем, штамп для холодного выдавливания.

В машиностроении получили распространение полые детали с внутренним фланцем типа накидных гаек, подпятников, корпусов, стаканов с отверстием. Основные способы получения подобных втулок методами холодной штамповки - это прямое и обратное выдавливание с просечной перемычки, торцовая раскатка, высадка и радиальное выдавливание трубчатой заготовки. При прямом и обратном выдавливании критическая высота перемычки (до просечки) должна быть равна толщине стенки детали [1], что ограничивает номенклатуру штампуемых изделий и увеличивает технологические припуски под механообработку. Для процесса выдавливания из сплошной заготовки необходимо произвести операцию калибровки, а после выдавливания – просечку перемычку, что повышает стоимость изготовленной продукции. Процесс торцовой раскатки требует специализированного оборудования [2] и менее производителен по сравнению с процессами штамповки. При радиальном выдавливании