

М.: Наука, 1991. – 424 с.

4. Работнов, Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела / Ю.Н. Работнов. – М.: Наука, 1988. – 712 с.

5. Клименко П.Л. Расчет энергосиловых параметров прокатки с применением ЭВМ / П.Л. Клименко. – Днепропетровск: Изд-во ДМУТИ, 1979. – 75 с.

### **Разработка технологической схемы получения токосъемных колец из бериллиевой бронзы с помощью методов листовой штамповки**

д.т.н. проф. Сидельников С.Б., к.т.н. доц. Бер В.И., к.т.н. доц. Орелкина Т.А., Вагнер А.В.

СФУ, г. Красноярск

8(913) 206-37-31, sbs270359@yandex.ru

Коробкин А.Н.

ОАО «ИСС», г. Железногорск

8(3919) 76-46-43, a-korobkin@mail.ru

*Аннотация:* Представлены результаты исследований по получению токосъемных колец из бериллиевой бронзы с применением методов листовой штамповки и термообработки. Приведены свойства вытянутых полуфабрикатов и их структура на различных этапах предложенной технологической схемы.

*Ключевые слова:* токосъемные кольца, бериллиевая бронза, листовая штамповка, вытяжка, штамповая оснастка, коэффициент использования металла.

#### **Введение**

Целью работы являлось повышение эффективности и коэффициента использования металла при изготовлении токосъемных колец для нужд космического машиностроения.

Бериллиевые бронзы отличаются высоким уровнем прочностных, упругих свойств и релаксационной стойкости, они имеют высокую электро- и теплопроводность и значительное сопротивление коррозии, поэтому такие бронзы используют для изготовления изделий специального назначения, к которым относятся токосъемные кольца.

Токосъемные кольца широко применяются во многих областях промышленности. Однако требования к их изготовлению и свойствам зависят от многих факторов и определяются назначением этих деталей. Особенно они ужесточены при производстве элементов летательных аппаратов в авиа- и космическом машиностроении.

Одним из примеров таких деталей служит токосъемное кольцо наружным диаметром 10,4 – 10,8 мм и толщиной стенки 0,25 - 0,65 мм, которое в настоящее время изготавливается из сплава БрБ2 методом механической обработки. При этом к нему предъявляются повышенные требования не только по точности изготовления, но и по структуре и свойствам металла (размер зерна, твердость, устойчивость к нагреву).

Сплав БрБ2 является весьма специфичным, отличным от других медных сплавов, так как бериллиевые бронзы относятся к классу так называемых дисперсионно-упрочняемых сплавов. Особенностью таких сплавов является зависимость растворимости легирующих компонентов от температуры, что позволяет управлять свойствами бронз как при производстве проката, так и при изготовлении изделий методами листовой штамповки. По составу промышленные бериллиевые бронзы располагаются вблизи границы максимальной растворимости бериллия в твердом растворе, это соответствует примерно 2 %, что обеспечивает сплавам в упрочненном состоянии оптимальный уровень прочности и пластичности. Уменьшение растворимости бериллия в меди ниже температуры эвтектоидного превращения определяет возможность термического упрочнения БрБ2 после закалки и старения.

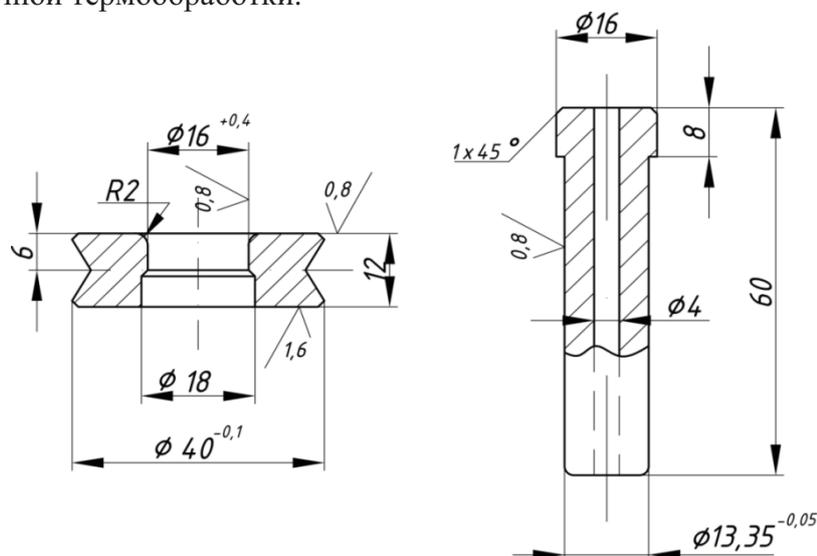
Закалку бериллиевых бронз с нагревом до температуры 780°С проводят для получения структуры пересыщенного бериллием  $\alpha$ - твердого раствора. Последующее старение на температуру 315°С с выдержкой 2-3 часа придает сплаву высокую прочность и твердость, которые достигаются при выделении метастабильной упрочняющей  $\gamma'$ - фазы из пересыщенного

$\alpha$  –твердого раствора. В закаленном состоянии бронза БрБ2 имеет значительную пластичность ( $\delta$  до 40%), что позволяет производить холодную пластическую деформацию изделий между закалкой и старением. Низкотемпературная термомеханическая обработка, заключающаяся в применении пластической деформации между операциями закалки и старения, также значительно повышает характеристики прочности ( $\sigma_b$  до 1350 МПа). Указанные особенности необходимо было учесть при разработке нового технологического процесса изготовления токоъемных колец.

Бериллиевая бронза БрБ2 содержит как примесь никель в количестве 0,2-0,5%. Никель замедляет фазовые превращения в бериллиевых бронзах, образует фазу NiBe, которая тормозит процессы рекристаллизации и способствует уменьшению размера рекристаллизованного зерна.

### Постановка задачи

В качестве основного метода для изготовления колец был предложен метод листовой штамповки, в результате чего получали открытое сверху, полое изделие (стаканчик) с заданными (или близкими к заданным) размерами. При этом были проведены расчеты переходов при вытяжке без утонения и с утонением стенки, определены размеры полуфабрикатов по переходам, составлена схема раскроя, вычислен диаметр плоской заготовки, определены усилия деформации и выбрано оборудование. Расчеты показали, что для получения такого изделия требуется пять переходов вытяжки, причем необходима, как минимум, одна операция промежуточной термообработки.



**Рисунок 1. Рабочий инструмент для получения полуфабриката с наружным диаметром 16 мм**

Перед деформацией были проведены измерения механических свойств плоской заготовки и проведена термообработка по режиму: нагрев под закалку при температуре 780 С°, время выдержки 8 – 10 минут и последующее охлаждение в воде. Закаленное состояние заготовки обеспечило высокую пластичность бериллиевой бронзы. Одна из операций термообработки произведена в заводских условиях, и материал имел необходимые для последующей деформации пластические свойства (относительное удлинение достигало 40%), а другая производилась в лабораторных условиях, что привело к ухудшению пластичности на 5%. Для определения возможности осуществления данной технологической схемы была спроектирована штамповая оснастка и проведены экспериментальные исследования по получению опытных образцов. В качестве примера на рисунке 1 приведены чертежи инструмента для одного из переходов вытяжки.

### Результаты

Полученные изделия подвергали металлографическому анализу, при этом были исследованы поперечные шлифы полуфабрикатов из сплава БрБ2, полученные методом штамповки из листового материала. Микроструктура образцов была изучена на микроскопе Observ-

er.A1m фирмы Carl ZEISS при увеличениях 500 и 1000 крат. Толщина изделий определена с использованием светового микроскопа при увеличении 100 крат. Средние значения толщины изделий по переходам приведены в таблице 1 и 2. Размер зерна заготовок рассчитывали по методу случайных секущих. Твердость исследуемых образцов определяли по Виккерсу.

На втором этапе исследовали полуфабрикаты, полученные из плоской заготовки после термообработки (образец 4), при этом были определены размер зерна исходной заготовки и полуфабрикатов (образцы 5-7). Результаты металлографического анализа и значения твердости приведены в таблице 2.

Таблица 1

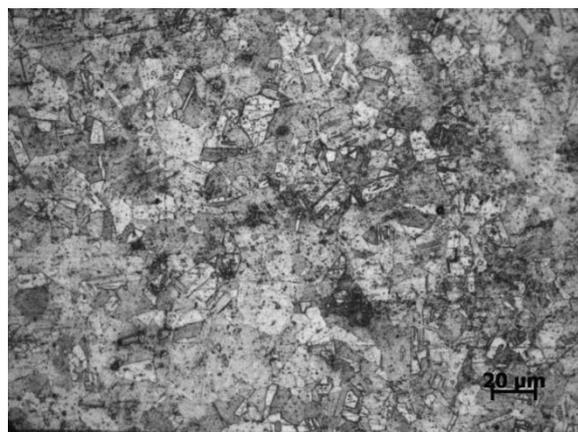
**Толщина, размер зерна и твердость образцов**

| Номер образца | Толщина, мм | Размер зерна, мкм | Твердость, HV |
|---------------|-------------|-------------------|---------------|
| 1             | 0,8         | 8,4               | 293           |
| 2             | 1,1         | 10,0              | -             |
| 3             | 0,6         | 9,2               | -             |

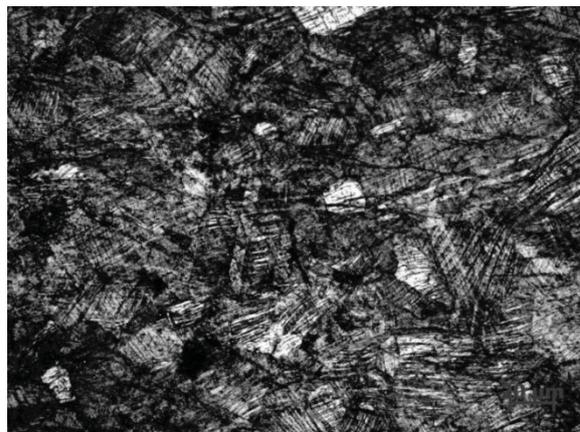
Таблица 2

**Толщина, размер зерна и твердость образцов**

| Номер образца | Толщина, мм | Размер зерна, мкм | Твердость, HV |
|---------------|-------------|-------------------|---------------|
| 4             | 1,32        | 12,1              | 116           |
| 5             | 1,21        | 10,2              | 245           |
| 6             | 1,10        | 9,0               | 247           |
| 7             | 0,65        | 8,0               | 270           |



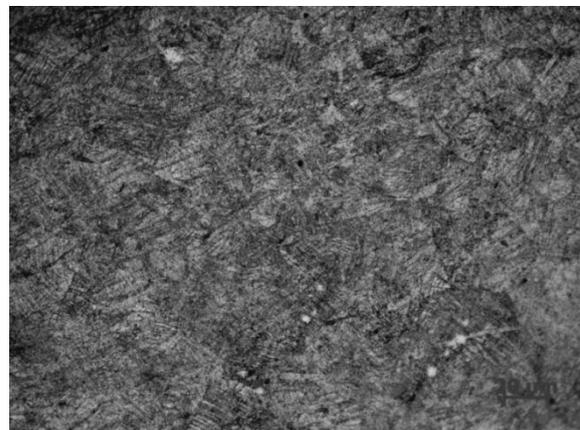
а



б



в



г

**Рисунок 2. Микроструктура исходной заготовки (а) и деформированных образцов из бронзы БрБ2 толщиной: б - 1,1 мм; в - 0,8 мм; г- 0,6 мм; а, б, г - х500; в - х1000**

Микроструктура сплава БрБ2 в закаленном и деформируемом состоянии представлена зернами  $\alpha$ -твердого раствора и глобулярными включениями интерметаллида. Структура образцов исходной заготовки и образцов после листовой штамповки приведена на рисунке 2.

Результаты исследования структуры и свойств опытных образцов из сплава БрБ2 показали, что с увеличением степени деформации заготовок происходит измельчение зерна и рост твердости по Виккерсу. При этом размер зерна составляет не более 30 мкм, что соответствует требованиям к готовому изделию. Последующее старение, проведенное для повышения прочностных свойств деформированных полуфабрикатов, обеспечило значение твердости, превышающее заданный уровень, равный 320 HV.

#### **Заключение**

Полученные из опытных полуфабрикатов токосъемные кольца прошли ресурсные испытания на одном из предприятий отрасли космического машиностроения и были признаны пригодными для использования.

Предварительные расчеты показали, что при реализации новой технологической схемы существенно снижается трудоемкость изготовления колец, а коэффициент использования металла увеличивается более чем в 10 раз и составляет 88,8%.

### **Системное управление процессом проектирования разделительных штампов для холодной листовой штамповки**

к.т.н. доц. Почекуев Е.Н., Шенбергер П.Н.

*Тольяттинский государственный университет*

8(848)253-92-98, [E.Pochekuev@tltsu.ru](mailto:E.Pochekuev@tltsu.ru), 8(848)253-92-98, [Shenberger@tltsu.ru](mailto:Shenberger@tltsu.ru)

*Анотация.* Рассматривается процесс системного управления процессом проектирования последовательных разделительных штампов для холодной листовой штамповки. Определены структурно-логические формулы, которые отражают возможные варианты конструкций этих штампов с учетом предложенных признаков узлов и деталей. Определены соответствия между элементами подмножеств разделительного штампа, для описания параметрической структуры объекта с применением методов дискретной математики.

*Ключевые слова:* Проектирование разделительных штампов, холодная листовая штамповка, системное проектирование.

Автоматизация проектирования последовательных разделительных штампов показала необходимость формализации баз данных элементов штамповой оснастки и создания эффективных алгоритмов их автоматизированного конструирования.

Внедрение логических взаимосвязей в процесс автоматизированного моделирования разделительных штампов целесообразно осуществлять с использованием системного подхода, выступающего в качестве основы для формирования иерархической структуры штампа, состоящей из параметризованных механизмов и узлов.

Множество разделительного штампа  $S_0$  представляется на основе структурно-морфологических матриц как множество соответствующих узлов и деталей (1).

$$S_0 = \|h_0 \ p_0 \ n_0 \ f_0 \ y_0 \ g_0 \ k_0 \ t_0\|, \quad (1)$$

где:  $S_0$  – множество разделительного штампа для холодной листовой штамповки;

$h_0$  – подмножество групп рабочего инструмента;

$p_0$  – подмножество плит штампа;

$n_0$  – подмножество узла направления движения плит штампа;

$f_0$  – подмножество узла направления и фиксации материала;

$y_0$  – подмножество узла удаления и прижима материала;

$g_0$  – подмножество узла ограничения хода подвижных механизмов штампа;

$k_0$  – подмножество механизмов крепления штампа;