

**УДК 67.02**

## **ПРОБЛЕМЫ ПРИ РАСКАТКЕ БРОНЗОВЫХ КОЛЕЦ**

Никита Андреевич Алексеев

*Студент 6 курса, специалитет*

*кафедра «Технологии обработки давлением»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: А. И. Алимов,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии обработки металлов давлением»*

### Аннотация.

В данной статье описана актуальная проблема изготовления кольца из бронзы БрБ2 и рассмотрено исследование НПО «Энергомаш» в этой области.

Ключевые слова.

Раскатка колец, бронзовые кольца, раскатка, бериллиевая бронза, крупногабаритные кольца.

Уплотнительные кольца из бронзы Бр2 служат компонентами авиационных двигателей, жидкостных ракетных двигателей (ЖРД), частей атомного реактора, оболочек сосудов высокого давления, ветрогенераторов.

### Актуальность темы

Данные изделия находят применение в строениях ракетных двигателей. Бронзовые кольца служат уплотнением в соединениях топливных труб.

10.02.20 был произведен успешный запуск ракетносителей Atlas V с двигателями РД-180 по разработкам и производству НПО «Энергомаш».



Рисунок 3. РД-180 для ракетносителей Атлас, Ангара

07.02.20 Запуск ракетносителей Союз-2.16 с двигателями РД-107 на первой ступени и РД-108 на второй ступени.

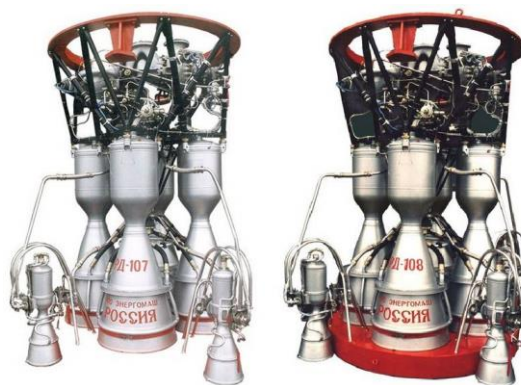


Рисунок 4. РД-107 и РД-108 для ракетносителей Союз, Буран

Одним из основных способов их изготовления является раскатка.

#### Технология раскатки колец

Раскатка колец является высокопроизводительным технологическим процессом для получения бесшовных колец с наружным диаметром от 75 мм до 8 м, высотой от 15 мм до 2 м и весом от 0,4 кг до 82 т. Современные раскатные машины позволяют раскатывать кольца типа дисков с соотношением толщины стенки к высоте до 16/1 и кольца типа втулок с соотношением толщины стенки к высоте до 1/16 на одной раскатной машине. Если раскатка производится с подогревом, можно получить кольца с соотношением характерных размеров поперечного сечения до 1/28. Данный процесс обладает высокой производительностью и точностью. Благодаря данному процессу можно получить бесшовные кольца с волокнистым строением в теле поковки.

Раскатка колец осуществляется на специальных раскатных машинах (станах), имеющих одну (радиальная раскатка) или две (радиально-осевая раскатка) клетки (Рисунок 1). Нагретая до температуры деформации заготовка устанавливается на оправку. В радиальной клетке деформация заготовки осуществляется путем поступательного движения оправки к главному валку и вращения главного валка. Использование осевой клетки значительно расширяет технологические возможности машины за счет деформации кольца по высоте при помощи осевых валков. Для согласования окружной скорости точек торцевой поверхности кольца и осевых валков последние выполняют коническими. По мере увеличения диаметра кольца осевые валки смещаются для предотвращения проскальзывания кольца в осевой клетке. Приводными являются главный и осевые валки, а оправка вращается за счет действия сил трения с заготовкой.

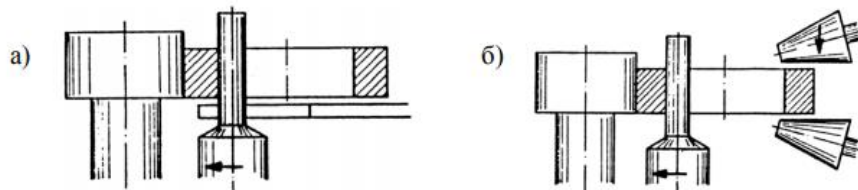


Рисунок 1. Схема радиальной (а) и радиально-осевой (б) раскатки колец.

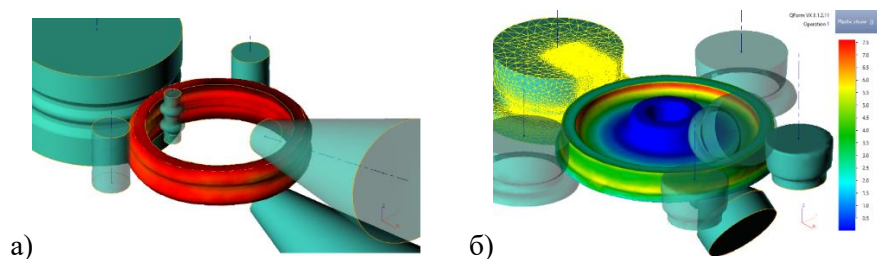


Рисунок 2. Схема радиальной (а) и радиально-осевой (б) раскатки колец смоделированные в программном комплексе QForm.

### Способы деформирования бронзовых колец

Условия работы энергетических установок данного типа таковы, что от бериллиевой бронзы требуется не только высокие прочностные свойства и коррозионная стойкость, которые, как известно, у этого материала уникальны, но и высокая пластичность. Задача осложняется необычно большими габаритами деталей, заготовки для которых получали методом свободнойковки.

Осадка прутка на шайбу, прошивка отверстия, раскатка на оправке с нестандартной для БрБ2 термической обработкой. При суммарной степени деформации 50% трудностей с обеспечением механических свойств не возникало, при степени деформации более 50% появляется необходимость в увеличении количества термообработок, что приводит к ухудшению механических свойств и увеличению процента брака. Металлографический анализ показал, что структура неоднородная, преимущественно крупнокристаллическая. При поставке на производство менее качественной бронзы БрБ2 сильно увеличивался процент брака.

В 1986 году был разработан режим обработки заготовок, заключающийся в горячей ковке в температурном интервале 650-500 С (нагрев на ковку до  $650\pm 10$  С, выдержка 1,5 часа), закалка в воду от температуры  $800\pm 10$  С (выдержка при этой температуре 1,5 часа) и старении при температуре  $400\pm 10$  С в течении двух часов.

В результате экспериментов было установлено что механические свойства крупногабаритных поковок из бериллиевой бронзы БрБ2 после термической обработки имеют значительный разброс. Выводящий по крайней мере 30% значений за требуемые пределы.

В 1998 году в связи с данной проблемой была изменена технология получения бронзовых колец. Теперь изготовление происходило в 4 этапа:  
1) Высокотемпературная ковка (780-650 С) с последующей раскаткой на оправке, замачивая в воде по завершении раскатки с последующим предварительным старением при 400 С для стабилизации зерна  
2) Высокотемпературная ковка с раскаткой на оправке и завершающей операцией раскатки с последующими операциями для стабилизации зерна  
3) Высокотемпературная ковка на подогретых бойках, предварительная раскатка на подогретой оправке, завершающая раскатка с последующими операциями по стабилизации зерна.

### Последние результаты

Эксперименты проводились с двумя образцами. Один из образцов обладал очень низкой пластичностью (относительно удлинение 1,2%) имеет аномально большое зерно. Второй образец имеющий достаточно высокую прочность, но пластичность и ударную вязкость ниже требуемых, характеризуется большим размером зерен и неравномерным их распределением.

Снижение температурной закалки с 800 до 790 и при наличии завершающей раскатки с одним первоначальным нагревом заготовки и без подогрева бойков и валков не привело к уменьшению разноструиности, но замечено некоторое уменьшение среднего размера зерна.

### Выводы

Изготовление крупногабаритных колец диаметром до 500мм из БрБ2 в дальнейшем рекомендуется проводить из прокатанных плит или прессовых прутков.

Необходимо совершенствование технологии изготовления колец из бериллиевой бронзы БрБ2 путем определения режимов деформирования.

### Литература

1. *Николаев А.К., Ревина Н.И., Козыков Б.А., Нецашковский К.И., Железняк О.Н., Зайцев М.В.* Разработка режимов деформации и термической обработки крупногабаритных колец из БрБ2 с уровнем прочности 90 и 100 кгс/мм<sup>2</sup>: научно-технический отчет – Химки, 1998. – 57 с.
2. *Ревина Н.И., Кандыба Г.И., Волошко И.А., Перенко В.И., Трушенкова И.О.* Повышение качества и стабильности механических свойств полуфабрикатов из бериллиевой бронзы БрБ2: Отчет по научно-исследовательской работе – Москва, 1986 – 48с.