

УДК 621.77

СОПОСТАВИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ ИЗ БрБ2 ДЛЯ ОПОР СКОЛЬЖЕНИЯ ТЯЖЕЛО НАГРУЖЕННЫХ УЗЛОВ МЕТОДАМИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ

© 2009 А. И. Хаймович¹, О. В. Толмачев²

¹Самарский государственный аэрокосмический университет

²ООО «БериллиУМ», г. Москва

Рассматривается вопрос о влиянии способа пластического формообразования трубных заготовок из бериллиевой бронзы БрБ2 на микроструктуру и эксплуатационные свойства изделий. На основе анализа микроструктуры образцов сделаны выводы о преимущественных механизмах пластической деформации, характерных для прямого горячего прессования (ПП) и изотермической штамповки ИЗШ. Показано, что разработанная технология ППП трубных заготовок на кривошипных прессах обеспечивает более стабильные размеры по сравнению с ИЗШ.

Бериллиевые бронзы, пластическое деформирование, подшипники скольжения, микроструктура, фазовый анализ, горячее прессование, изотермическая штамповка

В настоящее время одними из перспективных дисперсионно-твердеющих материалов для изготовления подшипников скольжения для аэрокосмической промышленности являются бериллиевые бронзы — сплавы меди с бериллием. Они обладают высокой прочностью, упругостью и релаксационной стойкостью, а также высокой электро- и теплопроводностью, высоким сопротивлением коррозии, износостойкостью и превосходными антифрикционными свойствами. Они немагнитны, не дают искру при ударе, технологичны. Комплекс указанных достоинств определяет назначение бериллиевых бронз как материала для упругих элементов ответственного назначения.

Компания Brush Wellman Inc (BWI) (США), являющаяся признанным лидером в области производства бериллиевых бронз, рекомендует к применению сплав Alloy 25 (Российский аналог - сплав БрБ2) в качестве материала для производства опор скольжения тяжело нагруженных агрегатов и устройств, в частности для авиационных стоек шасси и подшипников ГТД. «Серийно выпускаемый BWI сплав Alloy 25 предназначен для оборудования, которое работает в условиях высоких нагрузок при наличии значительного контактного трения между деталями» [1].

Сравнительные характеристики сплавов Alloy 25 и БрБ2 ГОСТ 18175-78 по химическому составу приведены в табл. 1.

Таблица 1 - Массовая доля основных компонентов среднелегированных бериллиевых бронз, %

Обозначение	БрБ2 ГОСТ 18175-78	Alloy 25 (С17200)
Be	1,8-2,1	1,8-2,1
Co		≥0,2
Ni	0,2-0,5	≤0.6
Pb	≤0,005	
Fe	≤0,15	
Si	≤0,15	-
Al	≤0,15	-
Cu	баланс	баланс

Высокие антифрикционные и прочностные свойства названных бронз ($\sigma_B = 750...770$ МПа при твердости 39...43 НРС - в закаленном и состаренном состоянии) позволяют применять данный материал для производства втулок подшипников скольжения буровых долот для горнорудной и нефтяной промышленности.

Оптимальными свойствами обладают бронзы, содержащие 2...2,5% Be. При дальнейшем повышении содержания бериллия прочность повышается незначительно, а пластичность существенно снижается [2].

Согласно диаграмме состояния Cu—Be (рис. 1) в равновесии с α -твердым раствором бериллия в меди в твердом состоянии могут находиться фазы β и γ . Равновесная γ (CuBe)-фаза — это твердый раствор на основе соединения CuBe — имеет упорядоченную ОЦК-решетку. Такую же решетку, но неупорядоченную, имеет β -фаза. Фаза β устойчива только до температуры 578°C, при которой происходит эвтектоидный распад.

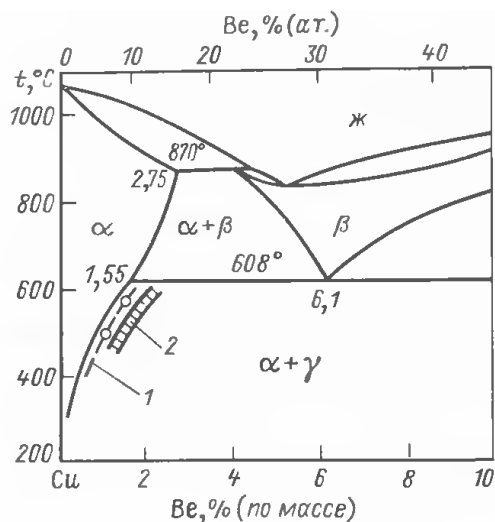


Рис. 1. Диаграмма состояния бинарной системы Cu—Be: 1,2 –возможные границы прерывистого распада α – твёрдого раствора

Предельная растворимость бериллия в меди составляет 2,7% при 870°C и с понижением температуры резко падает, что предопределяет возможность применения упрочняющей термообработки. Упрочняющая термообработка включается в закалке и последующем старении. Бериллиевые бронзы являются дисперсионно-твёрдеющими сплавами, причем эффект упрочнения у них максимальный среди всех медных сплавов.

Оптимальной заготовкой, используемой в качестве полуфабриката для изготовления втулок опор скольжения, по соотношению параметров расход материала – механические свойства является трубная заготовка с толщиной стенки до 5 мм. Однако в настоящее время в России серийно не освоена технология изготовления и поставки трубной заготовки из БрБ2 и аналогов.

Необходимо отметить, что БрБ2 относится к труднодеформируемым материалам, имеет очень узкий интервал пластичности 760...810°C – на 20...30°C выше точки полиморфных превращений, кроме того, как показала практика, чрезвычайно чувствителен к скорости деформации. При механической обработке резанием поверхностный слой изделия подвергается значительному наклепу и изменению структуры, что приводит к искажению формы тонкостенных изделий, подобных втулке опоры скольжения.

Отмеченные особенности предъявляют

особые требования к технологии изготовления точных разрезных втулок, брак вследствие отклонений геометрических размеров которых достигает 35% от партии.

Традиционная технология изготовления втулок опор скольжения состоит из следующих операций.

- Термообработка для получения α -твёрдого раствора (закалка при 850°C).
- Обточка/расточка заготовки с припуском до 0,5мм на размер.
- Старение при 325°C.
- Окончательная механическая обработка по диаметрам и торцам.
- Прорезка продольного сквозного паза по образующей.
- Серебрение.

Включение в базовую технологию промежуточных операций термообработки и варьирование режимами и припусками механической обработки не оказывают существенного стабильного влияния на точность конечной детали, что свидетельствует о значительной технологической наследственности в зависимости от способа получения исходного полуфабриката в кузнечно-прессовом производстве.

В настоящей статье рассматриваются вопросы апробации и сопоставительный анализ двух технологий получения трубной заготовки из БрБ2: методом прямого и обратного прессования.

Первый вариант технологии заключается в изотермической штамповке (ИЗШ) цилиндрического стаканчика размерами $\varnothing 65 \times \varnothing 45 \times 128$ (наружный диаметр \times внутренний диаметр \times длина, мм) методом обратного прессования. Нагретую до ковочной температуры заготовку ПКРХХ БрБ2 ГОСТ 15835-70 диаметром 65 мм помещали в подогреваемую до 750°C штамповую оснастку, смонтированную на гидравлическом прессе усилием 100т, после чего вдавливанием пуансона производили прессование стаканчика с обратным истечением металла.

По второму варианту производилось прямое горячее прессование (ПГП) трубной заготовки $\varnothing 62 \times \varnothing 46 \times 250$ на кривошипном прессе К8540 усилием 1000т. Предварительно заготовка нагревалась до

температуры 760°C. Прессование производилось в подогреваемом до 500°C контейнере с помощью пресс-штемпеля, оснащенного иглой для формирования внутренней полости трубной заготовки.

Далее, из ИЗШ – стаканчика и ППП – трубной заготовки по серийной технологии были изготовлены разрезные втулки опоры скольжения, произведены измерения отклонений размеров и измерена твердость поверхности втулок.

На этапах до и после горячего пластического деформирования, а также на образцах после изготовления втулок проводились исследования макро- и микроструктуры для обоснования характера и условий изменения фазовой структуры БрБ2 в зависимости от совокупного влияния способа пластического формообразования (ИЗШ или ППП) и последующей термообработки.

В ходе проведенных экспериментов было установлено:

- втулка, изготовленная из трубной заготовки, полученной методом ППП, соответствует требованиям чертежа;
- втулка, изготовленная из стаканчика, полученного методом ИЗШ, имеет отклонения по геометрии, выраженные в деформациях по диаметру.

Исследование макроструктуры проводилось путем травления поперечных макротемплетов в исходном состоянии до термообработки. У трубной заготовки и стаканчика идентичная макроструктура:

беззернистая, однородная, без металлургических дефектов.

Микроструктура исследовалась на оптическом микроскопе НЕОРНОТ 30 с увеличением от $\times 100$ до $\times 500$ на поперечных микрошлифах по всем исследуемым сечениям.

В микроструктуре трубы (рис. 2, образец №2) в состоянии «после деформирования» выявлены мелкие зерна β -фазы (светлые) 1 и α - фазы (темные) 2. В отдельных зонах по поперечному сечению (в зонах интенсивного течения металла при выдавливании) четко видны деформационные линии сдвига и двойники 3.

Для материала стакана зерна α и β характерна микроструктура двойникования (рис. 2, образец №1).

После закалки (температура 820°C, выдержка 2 часа) материал трубы и стакана переходит в равновесное состояние со снятием наклепа и остаточной деформации. В целом, микроструктура трубной заготовки и стакана после закалки идентична. Структура состоит из равноосных зерен с величиной зерна, обусловленной степенью и характером протекания предшествующей деформации (рис. 3).

На образцах, вырезанных из готовых втулок, прошедших операцию старения (изотермическая выдержка при температуре 320°C в течение 4ч), было проведено исследование микроструктуры, результаты которого приведены на рис. 4.

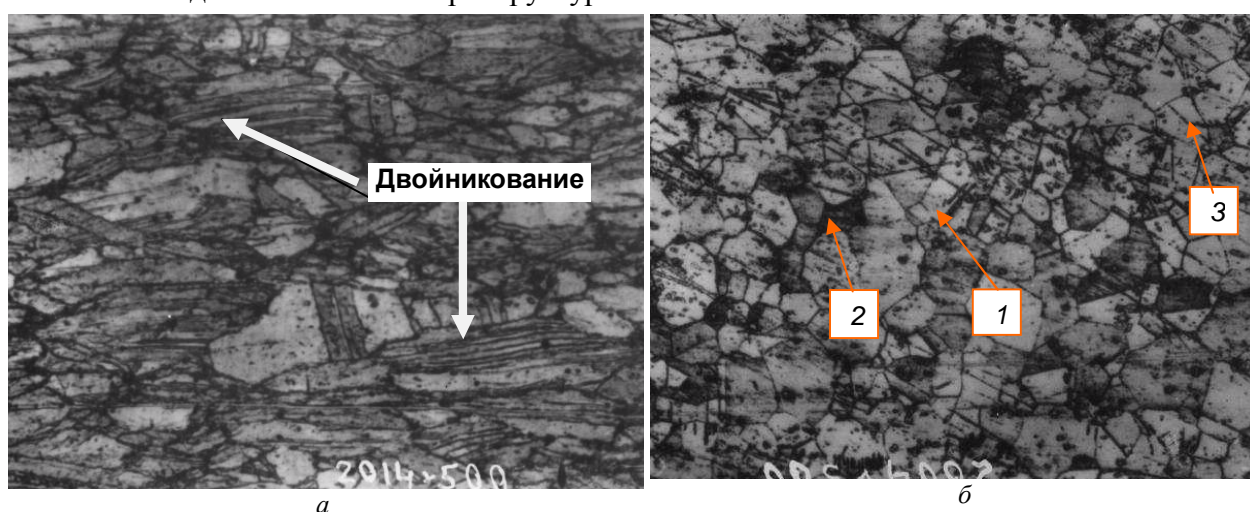


Рис.2. Микроструктура образцов в состоянии «после деформирования» (данные ЦЗЛ ОАО «Моторостроитель», микроскоп Neophot 300), увеличение $\times 500$:
а - образец №1(стаканчик ИЗШ); б – образец №2 (трубная заготовка, прямое выдавливание)

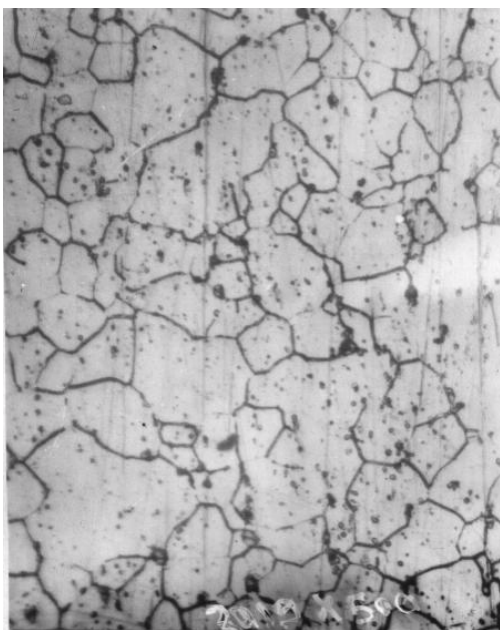


Рис.3. Микроструктура образцов после закалки, увеличение $\times 500$

В результате процесса старения пересыщенный α -твердый раствор закалки с нарушением когерентной матрицы в виде зон предвыделений нанодиапазона (зоны Гинье – Престона) испытывает спинодальный распад с образованием модулированной структуры и выпадением упрочняющей γ -фазы.

Микроструктура (рис. 4) представляет собой зерна α -твердого раствора на основе меди с некоторым количеством двойников; внутри зерен видны выделения β -фазы (промежуточного типа), испытавшие эвтектоидный распад на α и γ -фазу (последняя - интерметаллид состава $\sim \text{Cu}_2\text{Be}$). Микроструктура трубной заготовки содержит строчечную β -фазу, расположенную по границам зерна, которая в случае стаканчика не наблюдалась.

Для определения величины зерна α -фазы применялся метод сравнения со шкалой микроструктур по ГОСТ 21073.1-75.

Величина зерна α -фазы:

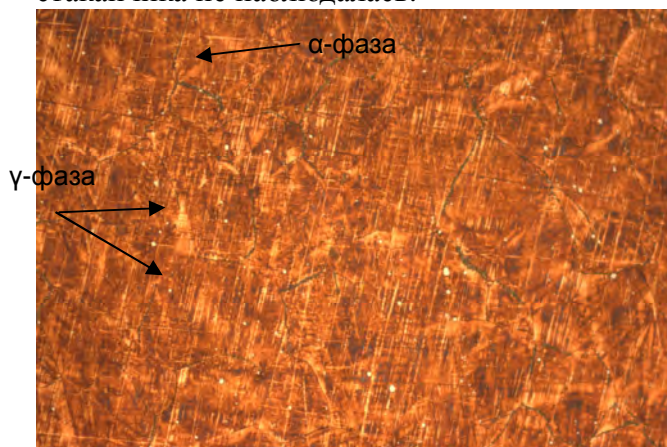
- на образце из втулки, изготовленной из трубной заготовки, соответствует 4-5 баллу;
- на образце из втулки, изготовленной из стаканчика ИЗШ - 5-6 баллу.

Проведенные исследования микроструктуры образцов на различных стадиях технологического процесса позволяют выявить причины образования остаточных деформаций у втулок, полученных из «стаканчиков» ИЗШ.

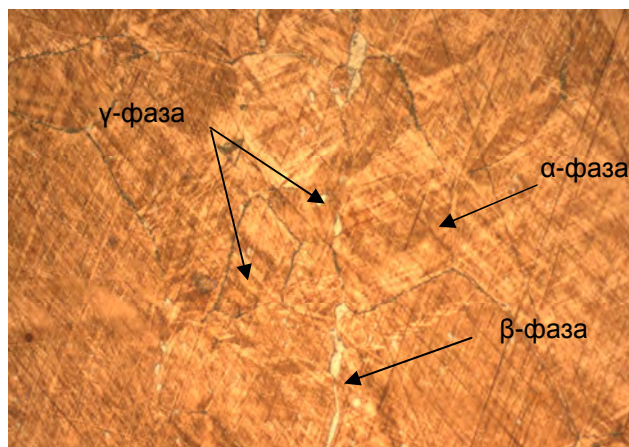
Анализ микроструктуры образцов поперечного среза стаканчика ИЗШ — образец №1 в состоянии «после пластического формообразования» до закалки показывает, что пластическая деформация стаканчика методом ИЗШ происходит в основном по механизму двойникования (на рис. 2 отчетливо видны многочисленные двойники в зернах металла).

Характерное для подобных сплавов с ОЦК решеткой механическое двойникование осуществляется в плоскости (112) решетки кристаллов [3].

Микроструктура образцов поперечного среза трубной заготовки ПГП — образец №2, рис. 2 — вследствие незначительного количества двойников в зернах металла свидетельствует о том, что доминирующий механизм пластической деформации — межзеренное скольжение.



а



б

Рис. 4. Микроструктура термообработанных (закалка + старение) втулок (увеличение $\times 500$): а – образец №1; б – образец №2

Это подтверждается наличием гамма-фазы по границам зерен у закаленных и состаренных образцов трубной заготовки (рис. 4), т.к. известно, что выпадение упрочняющей гамма-фазы происходит по местам интенсивной деформации и наибольшего скопления дислокаций.

Двойникование является нежелательным механизмом структурообразования, т.к. приводит к резкому изменению ориентировки решетки; скольжение не вызывает таких изменений.

Представленные на рис. 4 результаты исследования микроструктуры после операций закалки и старения характерны для типичных структур рекристаллизации с выделением упрочняющей гамма-фазы.

Структура рекристаллизации во многом сохраняет ориентировку решетки исходного металла. У стаканчика ИЗШ (образец №1) кристаллическая структура — разориентированная из-за наличия механических двойников в состоянии «после пластической деформации». Подобная структура является менее стабильной по сравнению с однородной структурой трубной заготовки ППП, поскольку любое внешнее воздействие, например механическая обработка, как источник привнесенной локальной энергии, нарушает метастабильное структурное равновесие разориентированной кристаллической решетки, что приводит к деформациям изделий. Этот недостаток стаканчика ИЗШ может являться главным фактором, приводящим к образованию остаточных деформаций после механической обработки, а также может привести к уменьшению стойкости опор в процессе эксплуатации.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF WAYS FOR MANUFACTURING OF FORGING PIPES MADE FROM C17200 ALLOY FOR FRICTION BEARINGS FOR HARD LOADED PARTS

© 2009 A. I. Khaimovich¹, O. V. Tolmachyov²

¹Samara State Aerospace University

²Open Company "BerilliUM", Moscow

The question of influence of forging technology on alloy C17200 microstructure and operational properties of pipe products in this article is considered. On the basis of the analysis of a microstructure the conclusions are drawn about primary mechanisms of plastic deformation in such processes as direct hot pressing and isothermal punching.

- Для изготовления втулок опор скольжения предпочтительной является трубная заготовка БрБ2, изготовленная методом ППП. Выдавливание трубной заготовки с высокими скоростями деформирования по схеме прямого прессования обеспечивает получение более стабильной кристаллической структуры по сравнению с обратным прессованием стаканчиков методом ИЗШ.

- Стабильная кристаллическая структура трубной заготовки ППП обеспечивает повышенную стойкость опор скольжения буровых долот и увеличивает срок их эксплуатации.

- Для обеспечения стабильных механических свойств трубной заготовки ППП, последняя должна иметь достаточную толщину стенки.

Библиографический список

1. Al Hartline. Galling Resistance of Alloy 25. Brush Wellman, GR1/0495.
2. Металлы и сплавы. Справочник.- СПб.: АНО НПО «Профессионал», 2003. -1066с.
3. Ван Флек, Л. Теоретическое и прикладное материаловедение / Л. Ван Флек.- М.: Атомиздат, 1975. – 472с.

References

1. Al Hartline. Galling Resistance of Alloy 25. Brush Wellman, GR1/0495.
2. Metals and alloys. The directory. - S.-Pb. ANO NPO "Professional", 2003, 1066p.
3. L H. Van Vlack Materials Science for Engineers. Addison Wesley.

Cu-Be alloys, plastic deformation, friction bearings, a microstructure, the phase analysis, hot pressing, isothermal punching

Информация об авторах

Хаймович Александр Исаакович, кандидат технических наук, доцент кафедры механической обработки материалов Самарского государственного аэрокосмического университета. Тел. (846) 277-27-06. E-mail: berill_samara@bk.ru. Область научных интересов: пластическое деформирование импульсными нагрузками, кинетика фазовых превращений в микро- диапазоне, автоматизация технологических процессов.

Толмачёв Олег Валентинович, технический директор ООО «БериллиУМ», г. Москва. Тел. (495) 739-35-84. E-mail: tolmaoleg@yandex.ru. Область научных интересов: прогрессивные технологии медно-бериллиевых сплавов.

Khaimovich Alexander Isaakovich, candidate of Engineering Science, the senior lecturer of Samara State Aerospace University. Phone. (846) 277-27-06. E-mail: berill_samara@bk.ru. Area of research: plastic deformation, phase transformations in alloys, automation of technological processes.

Tolmachev Oleg Valentinovich, the technical director of Open Company "BerilliUM", Moscow. Phone. (495) 739-35-84. E-mail: tolmaoleg@yandex.ru. Area of research: progressive technologies of CuBe alloys.