

Получение и свойства мелкозернистого бериллия

ПАПИРОВ И. И., ТАРАНЕНКО И. А., ТИХИНСКИЙ Г. Ф.

УДК 669.725

При одинаковом размере зерна литой бериллий по сравнению с порошковым металлом обладает более высокой пластичностью, но меньшей прочностью [1, 2]. Это обусловлено различным содержанием в них примесей (особенно окиси бериллия) и прочностью границ зерен. Уменьшение величины зерна и снижение содержания примесей способствуют увеличению пластичности бериллия и приводит к снижению температуры его перехода из хрупкого состояния в пластичное [3, 4]. Однако измельчение зерна в порошковым металле неизбежно сопровождается его загрязнением [5]. Возможности измельчения зерна литого бериллия ограничены, так как из-за низкотемпературной хрупкости трудно обеспечить большие степени деформации при температурах ниже 400° С [6]. Механико-термической обработкой с применением обычных методов деформации (прокатка, выдавливание, осадка) не удастся уменьшить величину зерна литого металла ниже 25—30 мкм.

Известно несколько методов измельчения зерна литого бериллия до 5—10 мкм в сочетании со специальными видами деформации и термообработки: волочение проволоки с большими обжатиями при температурах 425° С и ниже [7], гидроэкструзия при комнатной температуре [8], программная разнонаправленная деформация с постепенным понижением температуры и увеличением степени обжатия [9]. Эти методы позволяют получать заготовки, обладающие в различной степени выраженной текстурой деформации.

Настоящая работа проведена в целях дальнейшего исследования возможностей измельчения зерен литого бериллия при сохранении максимально возможной изотропности и последующего изучения механических характеристик этого материала.

Цилиндрические слитки бериллия чистотой 99,9% подвергали обработке давлением, которая состояла из многократного чередования выдавливания и осадки до исходного размера при постепенно понижающейся температуре деформации начиная с 850° С *. Выбранная

* Температура заготовки в момент выдавливания специально не контролировалась. Однако из-за низкой скорости деформации (~1 мм/сек) и малого веса деформируемой заготовки по сравнению с весом пресс-инструмента истинная температура деформации могла быть ниже первоначальной.

схема деформационной обработки позволяет получать образцы первоначальной формы и размеров с однородной структурой после больших степеней деформации. Величину зерна определяли металлографически и электронно-микроскопически с использованием тонких фольг. При средних размерах зерна ($d < 10$ мкм) результаты металлографического измерения величины зерна на несколько десятков процентов выше электронно-микроскопических, так как в поляризованном свете трудно различить малые по величине и слабо разориентированные зерна. В результате описанной выше деформационной обработки по данным электронно-микроскопических измерений средняя величина зерна оказалась равной 5 мкм (рис. 1), а по результатам оптических измерений в поляризованном свете 7—9 мкм. Ниже приведены размеры зерна в исследованных заготовках после трех различных суммарных степеней деформации, а также величины достигнутых степеней измельчения:

Материал	d , мкм	Степень измельчения
Исходный литой	1000	—
Литой после обработки с суммарной степенью деформации:		
100%	31	30
200%	14	2,2
300%	5	2,8

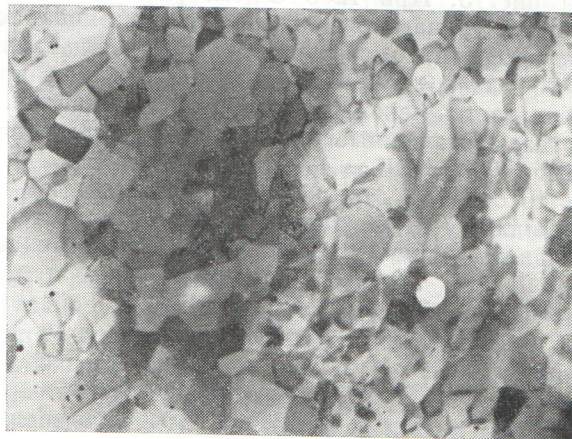


Рис. 1. Электронно-микроскопический снимок бериллия после деформационной обработки и отжига (суммарная деформация 300%).

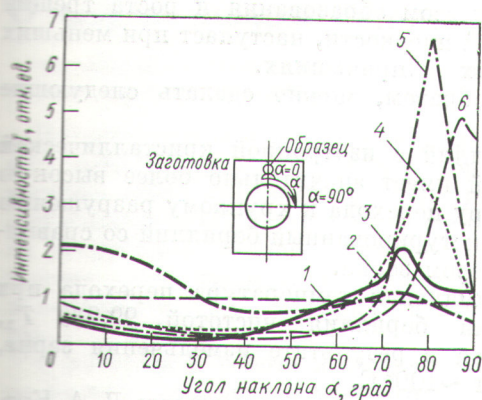


Рис. 2. Распределение интенсивности полюсов (0002) и (1010) в образцах бериллия, исследованного в настоящей работе и [10]: Данные настоящей работы: 1 — изотропный металл; 2 — полюс (0002), степень деформации 300%; 3 — (1010), степень деформации 300%. Данные работы [10]: 4 — (0002), выдавливание с обжатием 4 : 1; 5 — (0002), выдавливание с обжатием 6 : 1; 6 — (0002); выдавливание с обжатием 8 : 1.

Как и в случае программной разнонаправленной деформации [9], с уменьшением исходной величины зерна степень измельчения понижается.

Для изучения структурной анизотропии образцов после трех циклов деформации определяли распределение интенсивности полюсов (0002) и (1010) вдоль окружности полюсной фигуры. Схема измерений и полученные результаты представлены на рис. 2. Из сравнения данных настоящей работы с результатами исследований текстуры деформированного бериллия (см. [10], а также рис. 7.7—7.9 в работе [6]) видно, что исследуемые заготовки обладают

сильно ослабленной текстурой выдавливания. Величина максимума распределения полюсов (0002) в 2—3,5 раза меньше по сравнению с наблюдаемой у выдавленных образцов (см. рис. 2). Неоднородность распределения полюсов (1010) также относительно слабая.

Механические свойства бериллия исследовались при растяжении образцов со скоростью $3 \cdot 10^{-4}$ сек⁻¹ в области температур 20—600° С. Кроме мелкозернистого металла с размером зерна 5 мкм испытывались образцы с $d = 31$ мкм, полученные после суммарной степени деформации 100%.

Температурные зависимости предела прочности, относительного удлинения и поперечного сужения бериллия приведены на рис. 3. У мелкозернистого бериллия в области температур 20—600° С предел прочности уменьшается от 44 до 9,2 кг/мм², а удлинение увеличивается от 17,5 до 75%. Значение температуры перехода к хрупкому разрушению T_x , определенное по средней точке участка резкого возрастания δ на кривой $\delta(T)$, составляет 150° С при $d_{ср} = 5$ мкм и ~210° С при $d_{ср} = 31$ мкм. Максимум на кривой $\delta(T)$ при температуре 400° С у металла, имеющего $d = 31$ мкм, по-видимому, связан с ослаблением границ зерен примесями и свидетельствует о недостаточно высокой чистоте исходного металла.

Сравнительный анализ полученных результатов и опубликованных данных, относящихся к исследованию зависимости T_x бериллия от величины зерна и зависимости характеристик пластичности (δ и ψ) от температуры [4, 4, 11], выявляет следующую особенность, свя-

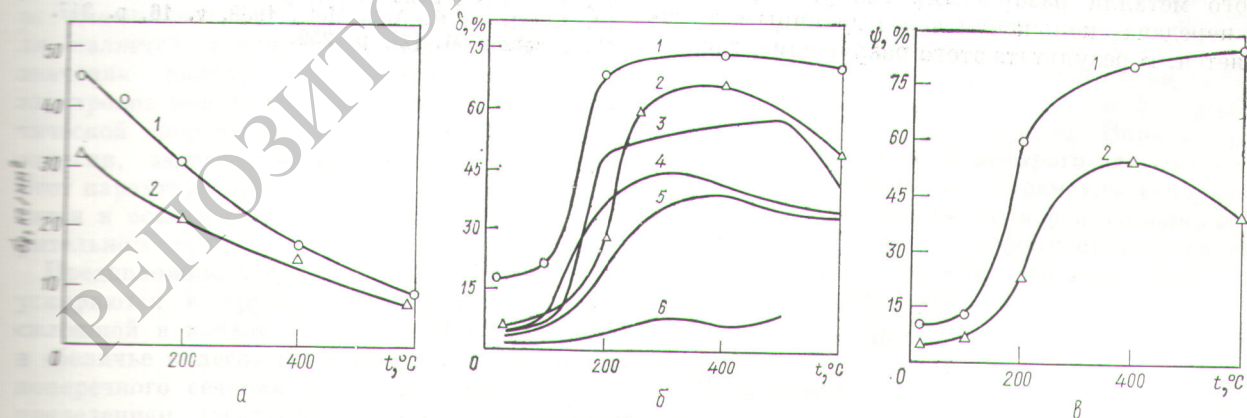


Рис. 3. Температурные зависимости предела прочности σ_b (а), относительного удлинения δ (б) и поперечного сужения ψ (в) разных видов бериллия.

Данные настоящей работы: 1 — $a = 5$ мкм; 2 — $d = 31$ мкм. Данные работы [11]: 3 — выдавленный литой бериллий, $d = 80$ мкм; 4 — прокатанный литой бериллий, $d = 80$ мкм; 5 — прокатанный литой бериллий, $d = 112$ мкм. Данные работы [11]: 6 — изотропный порошковый бериллий, $d = 9,7$ мкм.

занную с природой скачка пластичности. У бериллия, полученного прокаткой или выдавливанием и имеющего текстуру деформации, при которой плоскость базиса приблизительно параллельна оси деформации, расчетное значение T_x зависит от концентрации примесей и совершенства текстуры и составляет 20°C при $d \approx 3 \div 28 \text{ мкм}$ [4, 11]. Однако у мелкозернистого бериллия с квазиизотропной структурой (см. рис. 3, б) значение T_x оказывается существенно выше, чем у текстурированного металла при таком же d , что свидетельствует о сильном влиянии текстуры на температуру перехода к хрупкому разрушению.

Для изотропного или квазиизотропного бериллия исследованной чистоты (99,9%) при $d \rightarrow 0$ величина $T_x \rightarrow 100^\circ\text{C}$. Эта приближенная оценка сделана в предположении применимости уравнения Армстронга для значения T_x бериллия [12]. Аналогичный вывод следует также и из анализа результатов механических испытаний порошкового бериллия с разной величиной зерна [11, 13], однако в этом случае корректное сравнение результатов невозможно из-за изменения содержания окиси по мере уменьшения величины зерна порошкового металла.

Снижение предела прочности и повышение температуры перехода в хрупкое состояние у мелкозернистого квазиизотропного бериллия по сравнению с текстурированным обусловлено особенностями передачи деформации через границы зерен. В текстурированном металле облегчается передача скольжения от зерна к зерну в связи с меньшей взаимной разориентировкой зерен. В случае изотропного или квазиизотропного металла разориентировка увеличивается и передача скольжения через границы затрудняется. В результате этого разрушение, связан-

ное с процессом образования и роста трещин по базисной плоскости, наступает при меньших нормальных напряжениях.

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. Бериллий с изотропной кристаллической структурой имеет значительно более высокую температуру перехода к хрупкому разрушению T_x , чем текстурированный бериллий со сравнимым размером зерна.

2. Минимальная температура перехода при растяжении бериллия чистой 99,9% T_x , достигаемая в результате измельчения зерна, составляет $\sim 100^\circ\text{C}$.

Авторы выражают признательность Л. А. Корниенко, А. А. Николаенко и В. Михайлову за помощь, оказанную при выполнении работы.

Поступила в Редакцию 1/X 1973 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bunce J., Evans R. In: The Metallurgy of Beryllium. London, Chapman and Hall, 1963, p. 246.
2. Meyer G., Denny J. In: Beryllium Technology. N.Y., Gordon and Breach., 1966, p. 589.
3. Иванов В. Е. и др. «Физ. металлов и металловедение», 1971, т. 31, с. 1286.
4. Иванов В. Е. и др. Там же, с. 1281.
5. Aronin L. Conf. Intern. sur la Metallurgie du Beryllium. Grenoble, Press Univ. de France, 1965, p. 309.
6. Папилов И. И., Тихинский Г. Ф. Физическое металловедение бериллия. М., Атомиздат, 1968.
7. Spangler G. e.a. [2], p. 43.
8. Inoue N., Conrad H. Trans. Amer. Soc. Metals, 1968, v. 61, p. 847.
9. Папилов И. И., Тихинский Г. Ф. «Физ. металлов и металловедение», 1970, т. 29, с. 1057.
10. Pointu P. Contribution a l'etude des textures et la deformation plastique du beryllium. These, Paris, 1963.
11. Martin A., Ellis G. [1], p. 3.
12. Armstrong R. Acta Met., 1968, v. 16, p. 347.
13. Jacobson M. [2], p. 259.

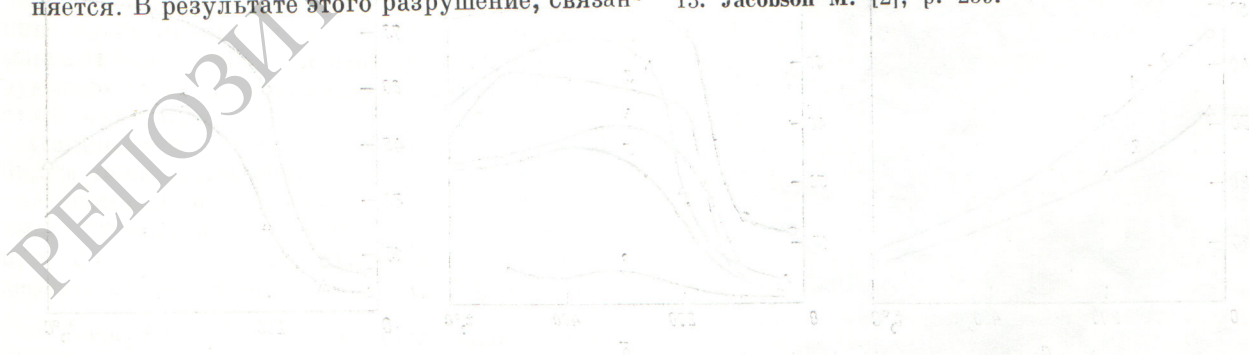


Рис. 3. Зависимость температуры перехода к хрупкому разрушению T_x от размера зерна d для бериллия с разной текстурой деформации: а) текстурированный; б) квазиизотропный. Чистота 99,9%. Испытания при $\sigma = 100 \text{ МПа}$.