

Член-корреспондент АН СССР В. Е. ИВАНОВ, Г. Ф. ТИХИНСКИЙ,
И. И. ПАПИРОВ, Е. С. КАРПОВ, А. С. КАПЧЕРИН

СВЕРХПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ БЕРИЛЛИЯ

Явление сверхпластичности, обнаруженное впервые на двухфазных сплавах (^{1, 2}), присуще и некоторым чистым металлам (³). Можно полагать, что это явление имеет большую общность и проявляется при определенном структурном состоянии и условиях деформации.

В данной работе исследовались условия реализации и некоторые характеристики сверхпластической деформации бериллия. Бериллий технической чистоты склонен как к хладноломкости (при температурах ниже 200° С), так и к красноломкости (выше 400°) (⁴). Однако мелкокристаллический бериллий высокой чистоты способен деформироваться растяжением при температурах выше 600° на 100% и даже на 130% (⁵⁻⁷). Столь высокие деформации характерны для однофазных сверхпластичных материалов (³).

Исследования проводили на поликристаллическом бериллии высокой чистоты ($\geq 99,95\%$) с исходным размером зерна 10–12 мкм. Плоские образцы с размером рабочей части 8 мм испытывали на модернизированной установке ИМАШ-5С-65 в области температур 550–750° и скоростей деформации $(1,46-375) \cdot 10^{-5}$ сек⁻¹.

На рис. 1 представлены температурная и скоростная зависимости относительного удлинения образцов до разрушения. В области 600–700° и при

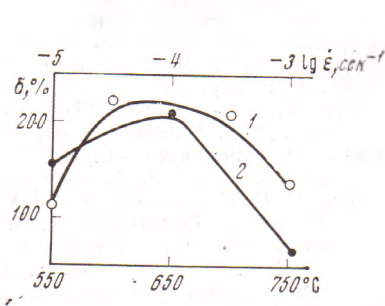


Рис. 1

Рис. 1. Зависимость относительного удлинения бериллия от температуры при $\dot{\epsilon} = 9,6 \cdot 10^{-5}$ сек⁻¹ (1) и скорости при 650° (2)

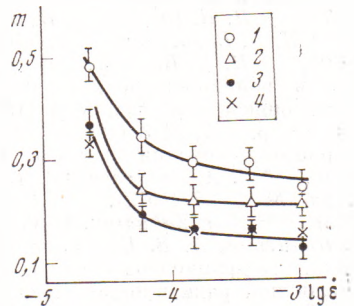


Рис. 2

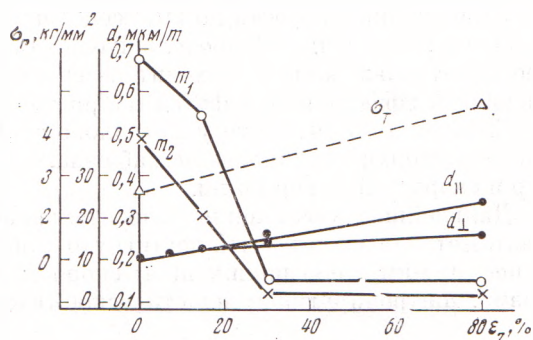
Рис. 2. Зависимость параметра m от скорости деформации после различных предварительных выдержек образцов при температуре 650°: 1 – 1–2 часа, 2 – 2–4 часа, 3 – 19–20 час., 4 – 20–22 часа

скоростях деформации $\sim 10^{-4}$ сек⁻¹ относительное удлинение бериллия превышает 200%.

С целью получения данных о природе сверхпластического течения бериллия изучена зависимость чувствительности напряжений течения от скорости деформации ($m = \lg \sigma / \lg \dot{\epsilon}$) в различных условиях испытаний, а также изменение структуры и текстуры металла в процессе деформации. Известно, что сверхпластичность реализуется у материалов при $m \geq 0,3$ –

0,5⁽³⁾. У бериллия параметр $m > 0,5$ при температурах выше 600°, но быстро уменьшается со временем выдержки при температуре испытаний (рис. 2). Одновременно с этим в процессе испытаний происходит рост и формоизменение зерен, повышаются напряжения течения и изменяется текстура (рис. 2—4). До деформации ~15% при 600° зерна сохраняют равновесную форму, параметр m уменьшается относительно слабо, текстура

Рис. 3. Зависимость параметра m , напряжения течения σ_T и размеров зерна в продольном ($d_{||}$) и поперечном (d_{\perp}) направлениях от общей деформации. m_1 и m_2 определяли при переключении скоростей деформации от $1,46 \cdot 10^{-5}$ до $3,8 \cdot 10^{-5}$ сек⁻¹ и от $3,8 \cdot 10^{-5}$ до $9,6 \cdot 10^{-5}$ сек⁻¹ соответственно



практически не меняется. При дальнейшем деформировании зерна вытягиваются в направлении растяжения и укрупняются, внутри зерен появляются линии скольжения и интенсивность полюсов (0002) при углах $\alpha \sim 20^\circ$ снижается (рис. 4). Существенное возрастание скорости роста зерен в процессе сверхпластической деформации характерно для многих материалов и является результатом интенсификации диффузионных процессов⁽⁸⁾. Об этом же свидетельствует возрастание плотности выделений вторичных фаз на границах зерен, выявляемых при электронно-микроскопическом исследовании образцов бериллия после деформации в сверхпластической области.

При всех условиях испытаний большой вклад в деформацию вносит скольжение по границам зерен (с.г.з.), роль которого возрастает с уменьшением скорости деформации. Напряжение течения повышается с ростом зерна в процессе испытания в области сверхпластичности по закону $\sigma \sim d^2$, что свидетельствует о диффузионной природе процесса деформации⁽³⁾.

Таким образом, при деформации со скоростями $\sim 10^{-4}$ сек⁻¹ в области температур 600—700° бериллий ведет себя как типичный сверхпластичный материал: он обладает высокой чувствительностью к скорости деформации, низким напряжением течения (~ 2 кг/мм²) и его деформация контролируется процессом скольжения по границам, аккомодируемым диффузионным крипом. Однако вследствие роста зерен и образования выделений на их границах, в процессе испытаний с.г.з. затрудняется и наряду с диффузионными процессами начинается дислокационное скольжение. Оно ведет к формированию зерен, изменению текстуры, уве-

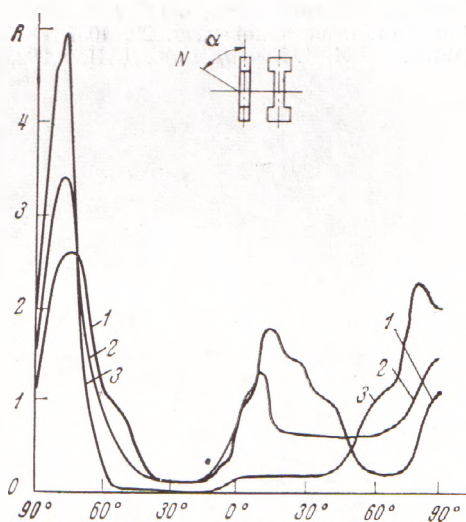


Рис. 4. Угловое распределение интенсивности полюсов (0002) в исходном состоянии (1) и после деформации образцов при 600° со скоростями $9,6 \cdot 10^{-5}$ (2) и $9 \cdot 10^{-4}$ сек⁻¹ (3)

личению деформационного упрочнения и образованию шейки. Последнее всегда имеет место при деформациях более 150%.

При испытаниях со скоростями $\geq 10^{-3}$ сек⁻¹ величина m мала уже в начале процесса (рис. 2), напряжение течения велико и пластическая деформация контролируется консервативным скольжением. Шейка образуется при деформациях в несколько десятков процентов, и общее удлинение до разрушения резко снижается (рис. 1).

Уменьшение скорости до 10^{-5} сек⁻¹ приводит вначале к росту параметра m , но из-за большой продолжительности испытаний зерно растет сильнее и материал раньше выходит из сверхпластичного состояния (рис. 1). Подобный эффект наблюдается и при температуре испытаний выше 700°.

Следует отметить, что у металлокерамического бериллия технической чистоты сверхпластичность не наблюдалась в широком интервале температур и скоростей деформации.

Дальнейшее увеличение относительного удлинения поликристаллического металла может быть достигнуто либо уменьшением величины зерна менее 10 мкм, либо понижением скорости их роста при сохранении механизма, контролирующего пластическое течение.

Физико-технический институт
Академии наук УССР
Харьков

Поступило
23 XI 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ C. E. Pearson, J. Inst. Met., v. 54 (1934). ² А. А. Бочвар, Э. А. Свидерская, Изв. АН СССР, ОТН, т. 9, 821 (1945). ³ R. H. Johnson, Met. and Mater., v. 4, 115 (1970). ⁴ И. И. Папилов, Г. Ф. Тихинский, Пластическая деформация бериллия, М., 1973. ⁵ В. М. Амоенко и др., ФТТ, т. 3, 796 (1961). ⁶ И. И. Папилов, Г. Ф. Тихинский, Физ. мет. и металловед., т. 29, 1057 (1970). ⁷ C. R. Heiple, Met. Trans., v. 4, 585 (1973). ⁸ А. А. Бочвар и др., ДАН, т. 202, 147 (1972).