

05;12

Динамическая рекристаллизация в близком к эвтектическому сплаве системы Pb–Sn–Ag при термоциклировании

© С.А. Атрошенко, Д.Р. Лю, И.Ш. Пао

Институт проблем машиноведения РАН, С.-Петербург
Научно-исследовательская лаборатория компании "Форд",
Детройт, США

Поступило в Редакцию 10 октября 1997 г.

В работе исследовано поведение припоев при термоциклировании. Использование динамической рекристаллизации позволило объяснить эволюцию микроструктуры паяных соединений в процессе эксплуатации.

Надежность паяных соединений в электронных схемах считается важной задачей. Циклические деформации припоев вызываются температурным циклированием схем во время их службы и создаются за счет большой разницы в коэффициентах термического расширения компонентов. Термические изменения происходят в режиме высокой гомологической температуры для этих сплавов, что может привести к динамической рекристаллизации.

Эксперименты проводились с целью исследования эволюции микроструктуры припоев. Материалом исследования служил сплав, содержащий 62% Sn, 36% Pb, 2% Ag. Паяные соединения подвергались циклированию в интервале от -40 до 100°C (воздух–воздух) с 5-минутной остановкой и 25-минутной выдержкой. Через каждые 250 циклов схемы вынимались из термической камеры, и образцы разрезались на шлифы для оценки изменения микроструктуры с использованием оптической и сканирующей электронной микроскопии и анализатора изображения. Эволюцию микроструктуры и разрушения припоев исследовали на поперечных микрошлифах с помощью оптического микроскопа Nikon и сканирующего электронного микроскопа JSM 840A. Измерение размеров микроструктуры осуществлялось на анализаторе изображения.

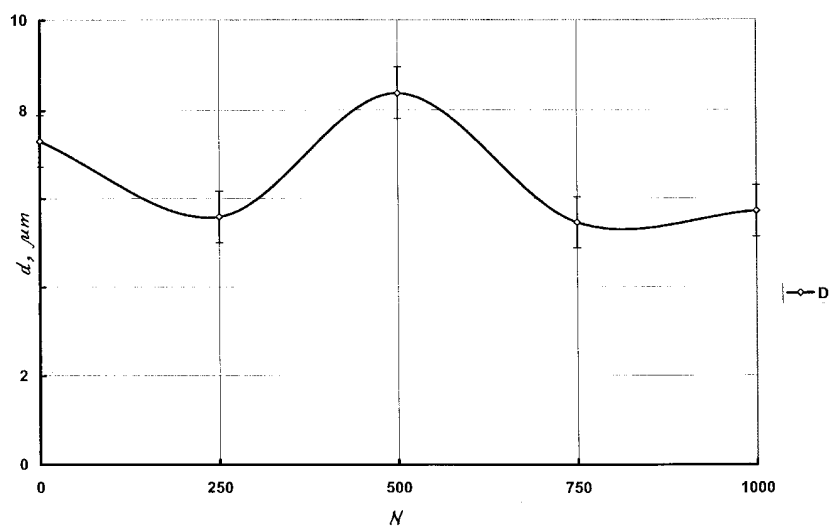


Рис. 1. Зависимость размера зерна свинцовой фазы от количества термоциклов.

Анализатор изображения представлял собой микроскоп Nicon, соединенный с компьютерной программой Image-Pro Plus, которая позволяет подсчитать автоматически параметры микроструктуры такие, как площадь, периметр, диаметр и т.д., которые могут быть представлены в численной, статистической или графической форме.

На рис. 1 представлена зависимость размера зерна (d) свинцовой фазы от количества термоциклов (N). Видно, что зависимость носит немонотонный характер: максимум наблюдается при 500 термоциклах. На рис. 2 представлены фотографии микроструктуры в исходном состоянии и после термоциклирования. Видно, что после 250 термоциклов размер свинцовой фазы (светлой) несколько уменьшается, после 500 термоциклов увеличивается, затем снова уменьшается до 750 термоциклов и затем опять начинает увеличиваться. При 250 термоциклах видна пористость в структуре, а начиная с 500 термоциклов начинают появляться микротрещины. При 750 термоциклов видно, что крупные зерна разбиваются на более мелкие. При 1000 термоциклов наблюдаются

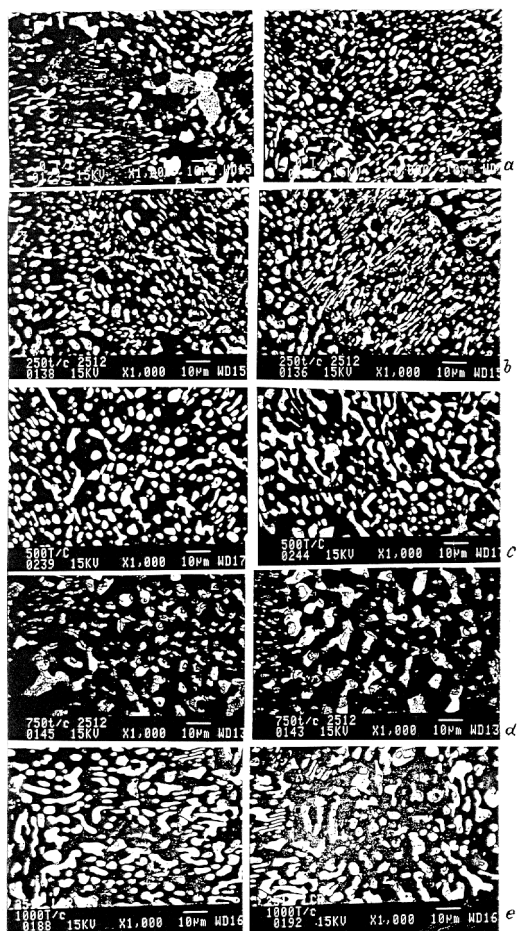


Рис. 2. Микроструктура сплава 62Sn–36Pb–2Ag в исходном состоянии (*a*) и после термоциклирования 250 (*b*), 500 (*c*), 750 (*d*) и 1000 (*e*) циклов.

ся уже довольно крупные трещины. В общем, поведение микроструктуры отражает ход зависимости размера зерна от количества термоциклов.

Динамическая рекристаллизация является одним из эффективных механизмов локальной перестройки микроструктуры во многих ме-

таллах. Существование динамической рекристаллизации приводит к измельчению зерна при высоких скоростях деформации и умеренно повышенных температурах и в то же время к росту зерен при скоростях деформации ниже 10 s^{-1} особенно, когда деформация происходит при относительно высоких температурах [1–2].

Определенные условия обычно ассоциируются со сверхпластичностью: температура около половины абсолютной точки плавления (или выше), контролируемые диффузией структурные изменения, вызванные деформацией или, как возможная альтернатива, мелкозернистая структура [3]. Некоторые сверхпластичные сплавы сопротивляются статической рекристаллизации и претерпевают динамическую рекристаллизацию [4]. Сверхпластичность наблюдалась в Pb–Sn сплавах при высокотемпературной деформации ($20\text{--}170^\circ\text{C}$) и скоростях деформации ($10^7\text{--}10^2\text{ s}^{-1}$) в широком диапазоне размеров зерен [5]. Так как уже 25°C для припоя — высокая гомологическая температура, то рекристаллизация может происходить динамически, т.к. металл находится в деформированном состоянии.

Эвтектические припои являются объектом многих исследований из-за их широкого применения в электронных устройствах. Это первая попытка объяснить эволюцию микроструктуры таких сплавов на основе динамической рекристаллизации. Поведение эвтектик существенно меняется в зависимости от их морфологии. Деформирование паяных соединений осуществляется гетерогенно. Сдвиговые деформации концентрируются в местах огрубления структуры. Накопленные деформации приводят к образованию трещин внутри этих мест, и соединение в конечном счете разрушается. Понимание и моделирование эволюции микроструктуры с использованием экспериментально полученных параметров позволит увеличить срок службы электронных соединений.

Список литературы

- [1] Sakai T., Jonas J.J. // *Acta Metall.* 1984. V. 32. P. 189–209.
- [2] Jonas J.J. // *Mater. Sci. Eng.* 1994. V. A184. P. 155–165.
- [3] Chokshi A.H., Meyers M.A. // *Scripta Metall.* 1990. V. 24. P. 605–610.
- [4] Humphreys F.J., Hatherly M. *Recrystallization and related annealing phenomena.* Pergamon, 1995. 495 p.
- [5] Kashyap B.P., Murty G.S. // *Mater. Sci. Eng.* 1981. V. 50. P. 205–213.