

дополнительные диапазоны факторных показателей, повышенные для трудоемкой и сниженные для материалоемкой продукции, а существующий в критериях в) и ж) диапазонный ряд использовать для всех остальных товаров.

По критерию а) «высокотехнологичность производства» товары всех отраслей будут иметь 12 баллов из 100 при коэффициенте весомости данного критерия 0,15 за исключением: производства ядерных материалов (100 баллов), промышленных газов, газовых турбин и их частей; производства ветродвигателей, авиационной, космической техники, офисного оборудования, вычислительной техники, аппаратуры для радио, телевидения, связи, средств измерений; а также медицинской техники и фармацевтической продукции. Такой подход ГКНТ упускает главное – какого уровня технологии использовались при выпуске товара.

Технологичность производства на модернизированном предприятии изначально лучше, чем ранее существовавший уровень технологий. Поэтому, по нашему мнению, товары (кроме перечисленных выше исключений), произведенные на комплексно модернизированном предприятии, должны иметь не 12 баллов, а 24 балла. В случае, если товар произведен на модернизированной технологической линии (более 50% его трудоемкости занимает работа модернизированного оборудования, но при этом комплексная модернизация предприятия не завершена), то такой товар имеет не 12 баллов, а 18 баллов по критерию а) «высокотехнологичность производства». Для повышения баллов по названному оценочному критерию с момента модернизации предприятия или технологического оборудования должно пройти не более 5 лет. Полагаем, что такой подход будет стимулировать усилия производителей по модернизации и техпроцессов, и оборудования.

В критерии ГКНТ «использование интеллектуальной собственности» целесообразно учитывать только наличие объектов интеллектуальной собственности (патентов, ноу-хау и т.п.), с момента регистрации которых прошло не более 3-4 лет (по аналогии с критериями инновационности продукции, рассмотренными нами в данной статье в разделе «Инновационный товар».

Полагаем, что изложенные в статье предложения могут способствовать более объективному отбору инновационной и высокотехнологичной продукции белорусских субъектов хозяйствования, а, следовательно, и получению заслуженных льгот по налогу на прибыль для производителей инновационной и высокотехнологичной техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического регулирования / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов - М.: Наука, 1975 – 504 с
2. Клавдиев А.А. Теория автоматического управления в примерах и задачах. Часть I. Учебное пособие / А.А. Клавдиев – СПб: СЗТУ, 2005. - 74 с.
3. Кирьянов Д.В. Mathcad 13 / Д.В. Кирьянов - С-Пб: БХВ-Петербург, 2006. - 598 с.

УДК 669.45

Белая О.Н., Гусакова О.В., Неумержицкая Е.Ю., Шепелевич В.Г.

МИКРОСТРУКТУРА БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШЕГО СПЛАВА

Pb – 13 МАС. % Sb

Белорусский государственный педагогический университет

Международный экологический университет им. Сахарова А.Д.

Белорусский национальный технический университет

Белорусский государственный университет

Быстрозатвердевший сплав Pb – 13 мас. % Sb охлажденный со скоростью $5 \cdot 10^5$ К/с исследовался методом рентгеноструктурного анализа и с помощью растрового микроскопа. Определено, что при сверхбыстрой закалке наблюдается макроскопическая однородность

сурьмы. Объемная доля выделений сурьмы составляет 17 %, средняя величина хорд случайных сечений равна 0,13 мкм, а удельная поверхность межфазных границ 2,3 мкм⁻¹.

В последние десятилетия активно развиваются методы получения материалов в сильно неравновесных условиях. К их числу относится и высокоскоростное затвердевание [1], которое является энерго- и ресурсосберегающим методом, позволяющим получать ленты и фольги. Последнее удобно для получения припоев толщиной в несколько десятков микрон, что важно при пайке тонких и длинных изделий, а также позволяет автоматизировать сам процесс пайки [2]. Однако быстрозатвердевшие сплавы существенно отличаются структурой, физическими свойствами и техническими параметрами от сплавов, получаемых традиционными технологиями [1 – 4]. Многие припои имеют эвтектический состав или близкий к нему, а их структура зависит от скорости охлаждения при затвердевании. В связи с этим является актуальным исследование структуры, физических свойств и термической стабильности быстрозатвердевшего эвтектического сплава Pb – 13 мас. % Sb.

Сплав Pb – 13 мас. % Sb получен сплавлением исходных компонентов, чистота которых не хуже 99,99 %, в кварцевой ампуле. Из полученного слитка использовался кусок массой ≈ 0,1 г для получения фольги. Капля расплава инжигировалась на внутреннюю полированную поверхность вращающегося медного цилиндра. Капля расплава растекалась по поверхности кристаллизатора тонким слоем и кристаллизовалась в виде фольги [3]. Скорость охлаждения расплава, как показал расчет [4], превышал 5·10⁵ К/с. Определение элементарного и фазового составов, исследование микроструктуры осуществлялось с помощью растрового электронного микроскопа LEO1455VP фирмы «Карл Цейсе», имеющего приставку рентгеноспектрального микроанализа, и рентгеноструктурного анализа на дифрактометре ДРОН-3. Текстура фольг исследовалась методом обратных полюсных фигур. Полюсная плотность дифракционных линий определялась по методу Харриса.

Длина и ширина быстрозатвердевшей фольги достигали 7 см и 1 см, соответственно. Толщина фольги изменялась в пределах от нескольких микрон до 100 мкм. Для исследования использовали фольги толщиной 30...80 мкм.

Сторона быстрозатвердевших фольг, прилегающая к кристаллизатору (А) имела поверхность, на которой наблюдались гладкие участки и области в виде раковин. Сторона фольги, контактирующая с окружающей средой (Б), имела бугристую поверхность, на которой формировались выступы и впадины.

В работе [5] проанализированы возможные механизмы образования раковин, составляющих рельеф контактной поверхности лент, полученных сверхбыстрой закалкой. Наиболее вероятным является механизм пристеночной кавитации из-за нарушения непрерывности гидродинамических характеристик течения расплава.

Экспериментальные наблюдения формы раковин показывают важную особенность их геометрии – как правило, высота раковины по нормали к поверхности диска значительно меньше ее ширины в направлении поперек ленты [5]. Это свидетельствует о наличии дополнительной стадии развития раковины, после стадии зарождения и захлопывания задней стенки. Для анализа этой стадии следует учесть, что, начиная с момента образования, раковина постепенно входит в зону затвердевания расплава. Таким образом, нижний контур раковины практически сразу фиксируется. При этом «крыша» раковины продолжает меняться, и изменение заканчивается лишь в тот момент, когда фронт затвердевания достигает уровня «крыши». Как показал расчет [5], максимальная высота раковин достигает 10 мкм.

Содержание сурьмы в фольге определялось рентгеноспектральным микроанализом. Ее концентрация в слоях, прилегающих к поверхностям А и В, равна 12,1 и 12,8 мас. % соответственно. Незначительное отличие связано с погрешностью измерения.

На дифрактограмме фольги исследуемого сплава обнаружены только дифракционные отражения свинца (111, 200, 220 и др.) и сурьмы (10 $\bar{1}$ 2, 10 $\bar{1}$ 4, 11 $\bar{2}$ 0 и др.). Таким образом, быстрозатвердевший эвтектический сплав Pb – 13 мас. % Sb является двухфазным.

Изображения поперечного сечения быстрозатвердевшей фольги и массивного образца, полученного при скорости охлаждения ~10² К/с, приведены на рисунке 1. Темные участки соответствуют сурьме, а светлые – свинцу, что подтверждает распределением интенсивность

линии $L_{\alpha 1}$ сурьмы и свинца при сканировании электронного пучка вдоль линии по поверхности фольги (рисунок 2).

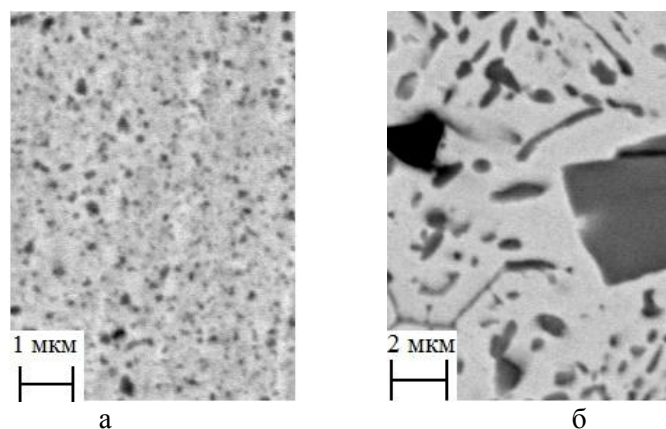


Рисунок 1 – Микроструктура поверхности фольги (а) и массивного образца (б) сплава $Pb - 13 \text{ мас. \% } Sb$

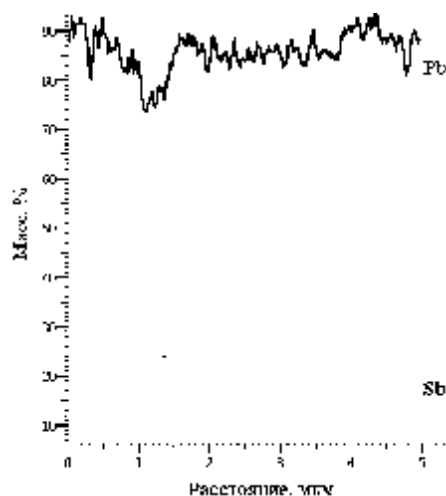


Рисунок 2 – Распределение интенсивности линии $L_{\alpha 1}$ сурьмы и свинца

Известно [6], что в интервале скоростей охлаждения $0,1 - 3 \cdot 10^3$ град/мин форма кристаллов сурьмы меняется от компактной (ромбоэдры) до разветвленной (скелетные дендриты). Применение больших скоростей охлаждения ($6 \cdot 10^3$ град/мин) приводит к тому, что топология межфазной границы кристалл – жидкость меняется от гранной к округлой; при сверхвысоких скоростях ($6 \cdot 10^4$ град/мин) образуется вырожденная эвтектическая структура, представляющая собой неупорядоченную смесь двух фаз. При малых скоростях кристаллизации первичные кристаллы сурьмы растут в виде скелетных дендритов, вытянутых в направлении перемещения фронта кристаллизации, при больших скоростях охлаждения кристаллизации кристаллы сурьмы растут в виде полиэдров. В случае сверхвысоких скоростей наблюдается макроскопическая однородность выделений сурьмы, что является несомненным плюсом при использовании данного сплава в качестве припоя.

Определены методом случайных секущих объемная доля сурьмы V_{Sb} и удельная поверхность межфазной границы S сурьма – свинец. Построены графики зависимости $V_{Sb}(x)$ и $S(x)$ от расстояния x до поверхности A фольги (рисунок 3). Изменения указанных параметров находятся в пределах погрешности их измерений, что подтверждает макроскопическую однородность распределения фаз в быстрозатвердевшем сплаве.

Распределение хорд случайных секущих, попадающих на сечения выделений сурьмы по размерным группам, представлено на рисунке 4. Доля хорд быстрозатвердевшей фольги монотонно уменьшается с увеличением номера размерной группы. Для массивного образца максимум распределения приходится на третью размерную группу от 0,2 до 0,3 мкм.

В фольгах средняя длина хорд, попадающих на выделения сурьмы $d=0,13$ мкм, а их удельная поверхность межфазных границ $S=2,3$ мкм⁻¹. Для массивного образца $d=0,34$ мкм и $S=0,85$ мкм⁻¹. Таким образом изменение скорости охлаждения от 10^2 К/с до $5 \cdot 10^5$ К/с вызывает измельчение выделений сурьмы: средняя длина хорд сечений частиц сурьмы уменьшается в 2,6 раза, а удельная поверхность межфазной границы увеличивается в 2,7 раза.

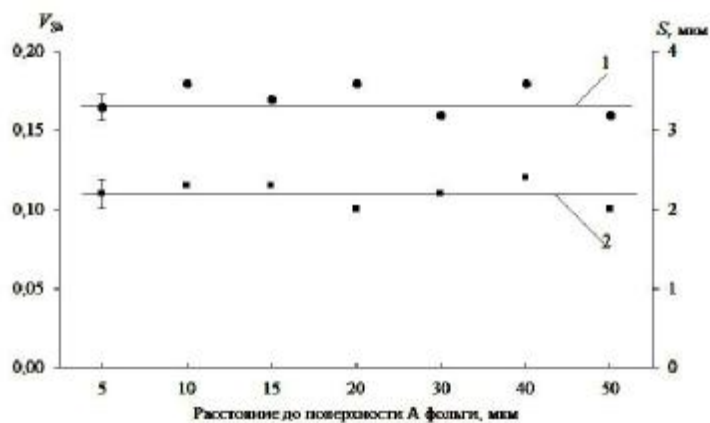


Рисунок 3 – Зависимость V_{sb} (и S (от расстояния до поверхности фольги

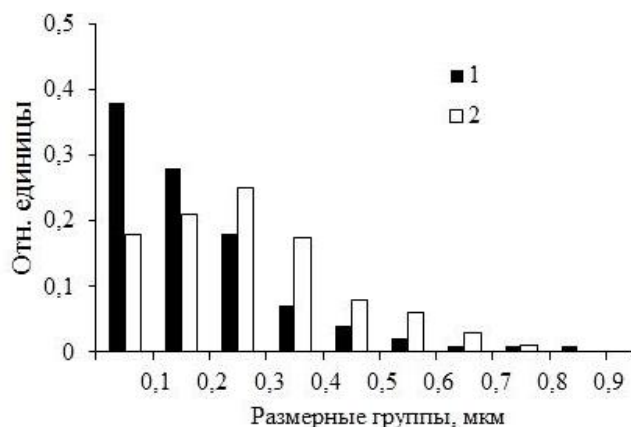


Рисунок 4 – Распределение хорд случайных секущих на сечениях выделений сурьмы для быстрозатвердевшей фольги (1) и массивного образца (2)

Формирование дисперсной структуры в эвтектических сплавах при высокоскоростной кристаллизации наблюдалось ранее в системах $Bi-Cd$, $Bi-Sn$, $Bi-In$, $Sn-Cd$ [7 – 9, 12]. Ее образование обусловлено переохлаждением жидкой фазы, которое может достигать нескольких десятков градусов при скорости охлаждения 10^5 К/с [3]. Известно [10], что жидкий эвтектический расплав, охлажденный ниже эвтектической температуры, является пересыщенным обоими компонентами. Зависимость свободной энергии пересыщенного жидкого раствора от состава имеет W -образный вид [11]. В нем в результате огромного количества небольших флуктуаций происходит распад, при котором образуются дисперсные области, обогащенные сурьмой или свинцом. В них происходит высокоскоростная кристаллизация, приводящая к формированию дисперсных выделений сурьмы в свинце.

Рассчитаны полюсные плотности сплава $Pb - 13$ мас. % Sb для свинца и сурьмы в исходном состоянии, а также при термической обработке (таблицы 1).

Таблица 1 - Полюсные плотности дифракционных линий свинца (поверхность А)

Дифр. линии	Исх. состояние	110 °С / 30 мин	130 °С / 30 мин	170 °С / 30 мин	235 °С / 30 мин
111	1,8	2,4	2,6	2,8	3,5
200	2,6	2,3	2,1	1,9	1,4
220	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3
311	0,7	0,5	0,5	0,5	0,4
331	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
420	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1

Таблица 2 - Полюсные плотности дифракционных линий сурьмы (поверхность А)

Дифр. линии	Исх. состояние	110 °С / 30 мин	130 °С / 30 мин	170 °С / 30 мин	235 °С / 30 мин
10 $\bar{1}$ 2	1,4	1,5	1,3	1,2	1,5
10 $\bar{1}$ 4	0,6	0,9	1,1	1,2	1,5
11 $\bar{2}$ 0	0,5	0,9	0,7	0,6	0,6
20 $\bar{2}$ 2	1,8	2,2	2,1	1,8	2,0
21 $\bar{3}$ 2	0,5	0,2	0,6	0,2	0,4
0009	1,3	0,3	0,0	0,0	0,0

Наибольшее значение полюсной плотности для свинца (таблица 1) принадлежат дифракционным линиям 111 и 200. То есть в фольгах исследуемой фазы формируется текстура (11+(200)). При этом текстура более сильно выражена со стороны фольга А, прилегающей к поверхности кристаллизатора, чем к свободной поверхности В. Термическая обработка приводит в ослаблению текстуры (200) и усилению текстуры (11).

Наибольшее значение полюсной плотности для сурьмы (таблица 2) принадлежат дифракционным линиям 10 $\bar{1}$ 2 и 20 $\bar{2}$ 2. То есть в фольгах исследуемой фазы формируется текстура (10 $\bar{1}$ 2 + 20 $\bar{2}$ 2). При этом текстура более сильно выражена со стороны фольга А, прилегающей к поверхности кристаллизатора, чем к свободной поверхности В. Термическая обработка не приводит к существенному изменению текстуры.

Формирование текстуры наблюдалось и в полученных в аналогичных условиях быстрозатвердевших фольгах алюминия, свинца и цинка [13 – 15]. Указанные металлы имеют различные кристаллические решетки, однако текстура в них определяется наиболее плотноупакованными плоскостями, имеющими наибольшие межплоскостные расстояния.

Таким образом, при высокоскоростной кристаллизации эвтектического сплава *Pb* – 13 мас. % *Sb* происходит образование дисперсных округлых выделений сурьмы, распределенных макроскопически однородно в фольге сплава. Объемная доля выделений сурьмы составляет 17 %, средняя величина хорд случайных сечений равна 0,13 мкм, а удельная поверхность межфазных границ 2,3 мкм⁻¹.

ЛИТЕРАТУРА

1. Высокоскоростное затвердевание расплавов (теория, технология и материалы) / В.А. Васильев, Б.С. Митин, И.Н. Пашков, Н.М. Серов, А.А. Скуридин, А.А. Лукин, В.Б. Яковлев. – М.: «СП ИНТЕРМЕТ ИНЖИНИРИНГ», 1998. – 400 с.
2. Пашков, И.Н. Разработка процессов получения и применения сплавов припоев в дисперсионном состоянии с микрокристаллической или аморфной структурой // И.Н. Пашков, М.В. Пикунов, С.А. Таволжский, А.И. Пашков // Металлург. – 2010. – № 6. – С. 43 – 45.
3. Мирошниченко, И.С. Закалка из жидкого состояния / И.С. Мирошниченко. – М.: Металлургия, 1982. – 168 с.
4. Ван, Цзинцзе. Быстрозатвердевшие фольги индия / Ван Цзинцзе, В.Г. Шепелевич. – Минск: РИВШ, 2011. – 172 с.

5. Золотарев С.Н., Шумаков А.Н. Рельеф контактной поверхности быстрозакаленных лент // Физика металлов и металловедение. - Т. 64, вып. 2. - 1987. - С. 349- 357.
6. Салли, И.В. Влияние условий охлаждения на структурообразование в сплавах свинец – сурьма / И.В. Салли, В.З. Долинская, Л.В. Самойленко // Физика металлов и металловедение. – 1974. – Т. 38, № 1. – С. 132 – 138.
7. Шепелевич, В.Г. Структура, свойства и стабильность быстрозатвердевшей эвтектики $Bi - 40 \text{ мас. \% } Cd$ / В.Г. Шепелевич // Материаловедение. – 2013, № 10. – С. 26 – 30.
8. Шепелевич, В.Г. Микроструктура и микротвердость фольг быстрозатвердевшего эвтектического сплава $In - 56 \text{ ат. \% } Bi$ / В.Г. Шепелевич, Л.П. Щербаченко // Физика и химия обработки материалов. – 2014, № 4. – С. 52 – 57.
9. Шепелевич, В.Г. Микроструктура и свойства быстрозатвердевшей фольги сплава $Sn - 58 \text{ ат. \% } Bi$ / В.Г. Шепелевич, О.В. Гусакова, Л.П. Щербаченко // Неорганические материалы. – 2013. – Т. 49, № 7. – С. 709 – 713.
10. Таран, Ю.М. Структура эвтектических сплавов / Ю.М. Таран, В.И. Мазур. – М.: Металлургия, 1978. – 312 с.
11. Глазов, В.М. Химическая термодинамика и фазовые равновесия / В.М. Глазов, Л.М. Павлова. – М.: Металлургия, 1998. – 560 с.
12. Гусакова, О.В. Распад пересыщенного твердого раствора в быстрозатвердевшей фольге сплава олово – кадмий / О.В. Гусакова, В.Г. Шепелевич // Физика металлов и металловедение. – 2014. – Т. 115, № 2. – С. 143 – 148.
13. Лозенко, В.В. Зёрненная и субзёрненная структура быстрозатвердевших фольг цинка и сплавов на его основе / В.В. Лозенко, В.Г. Шепелевич // Неорганические материалы. – 2007. – Т. 43, № 1. – С. 1–5.
14. Шахрай, О.Н. Текстура быстрозатвердевших фольг свинца и его сплавов / О.Н. Шахрай, В.Г. Шепелевич // Весці Нацыянальнай Акадэміі навук Беларусі. Серія фізіка-тэхнічных навук. – 2004. – № 3. – С. 32–34.
15. Неумержицкая, Е.Ю. Структура, свойства и термическая стабильность быстрозатвердевших фольг сплавов алюминия с хромом, никелем и марганцем / Е.Ю. Неумержицкая, В.Г. Шепелевич // Перспективные материалы. – 2005. – № 4. – С. 69–73.

УДК 681.5.09

Гулай А.В., Зайцев В.М.

**ФОРМИРОВАНИЕ СЕНСОРНЫХ ОБРАЗОВ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ
ПРИ ФУНКЦИОНИРОВАНИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ**

Белорусский национальный технический университет

Проанализированы основные принципы формирования информационных сенсорных образов объекта управления в процессе функционирования интеллектуальной мехатронной системы. Создание сенсорных образов производится путем дистанционного отображения текущих состояний физических объектов и явлений в базе данных мехатронной системы на основе информационного потока результатов сенсорного контроля. Получено общее условие целесообразности группирования и упаковки параметров информационного образа в телемеханические транзакции исходя из минимума затрат канального ресурса мехатронной системы. Проанализирована проблема достоверной передачи транзакций по телеметрическим и телематическим каналам интеллектуальной мехатронной системы. Приведен вариант возможного построения структуры логических отношений для параметров сенсорного образа объекта управления в базе данных интеллектуальной мехатронной системы.

Введение

Общая схема функционирования интеллектуальных мехатронных систем предусматривает реализацию типовых циклов адаптивного управления, каждый из которых содержит одну из основных фаз — сбор, обработку, накопление или обновление в системе параметров текущего состояния физических объектов и явлений [1]. Асинхронное формирование сенсорными источниками информационных образов объекта управления с