

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ОАО «МОСКОВСКИЙ КОМИТЕТ ПО НАУКЕ И ТЕХНОЛОГИЯМ»
«МАТИ» — РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени К.Э. ЦИОЛКОВСКОГО



7-я Всероссийская с международным участием
научно-техническая конференция

**«БЫСТРОЗАКАЛЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ
И ПОКРЫТИЯ»**

Сборник трудов

2-3 декабря 2008 г.
МАТИ

Москва 2008

Редакционный совет:

Председатель:

- Ректор «МАТИ» — Российского государственного технологического университета им. К.Э. Циолковского, д.т.н., профессор Петров А.П.

Зам. председателя:

- Проректор по научной работе «МАТИ» — Российского государственного технологического университета им. К.Э. Циолковского, д.т.н., профессор Васильев В.А.
- Зав. кафедрой ПМКМиП «МАТИ» — Российского государственного технологического университета им. К.Э. Циолковского, д.т.н., профессор Лозован А.А.

Члены редакционного совета:

- | | |
|------------------------------------|--------------------------------|
| Проф., д.т.н. Барабанова О.А., | проф., д.т.н. Кудинов В.В., |
| проф., д.т.н. Бачин В.А., | проф., д.ф.-м.н. Лигачев А.Е., |
| проф., д.ф.-м.н. Беграмбеков Л.Б., | проф., д.т.н. Мусин Р.К., |
| проф. к.ф.-м.н. Борисов А.М., | проф., д.т.н. Пашков И.Н., |
| проф., д.т.н. Казаков В.А., | проф., д.т.н. Серов М.М., |
| проф., к.т.н. Кирилянчик А.С., | проф., д.т.н. Суминов И.В., |
| проф., д.т.н. Конкевич В.Ю., | проф., д.т.н. Фролов В.А. |
| проф., д.т.н. Конюшков Г.В., | |
| проф., д.т.н. Костиков В.И., | |

Б 95

Быстрозакаленные материалы и покрытия // Труды 7-й Всероссийской с международным участием научно-технической конференции. 2-3 декабря 2008 г. «МАТИ» — РГТУ им. К.Э. Циолковского: Сб. трудов. — М.: МАТИ, 2008. — 302 с.

ISBN 978-5-93271-467-6

В сборнике представлены материалы докладов ведущих отечественных специалистов в следующих областях: быстрозакаленные материалы, модифицирование поверхности лазерными, электронно-лучевыми и ионно-плазменными методами, нанесение покрытий, диффузионная сварка и композиционные материалы, представленных на 7-й Всероссийской с международным участием научно-технической конференции «Быстрозакаленные материалы и покрытия», проходившей 2-3 декабря 2008 г. в «МАТИ» — РГТУ им. К.Э. Циолковского (г. Москва, ул. Полбина, 45).

УДК 669
ББК 34.3

Содержание

Секция 1. Быстрозакаленные материалы

КОАЛЕСЦЕНЦИЯ ЧАСТИЦ ВТОРОЙ ФАЗЫ В БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЬГАХ НА ОСНОВЕ СВИНЦА Белая О.Н., Шепелевич В.Г.....	10
СВЕРХБЫСТРАЯ ЗАКАЛКА ТИТАНОВОГО СПЛАВА ОТ4 В УСЛОВИЯХ СВАРКИ ТРЕНИЕМ Большаков М.В., Лукина Г.Н.....	15
СТРУКТУРА И МИКРОТВЕРДОСТЬ ФОЛЬГ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Zn–Pb, ПОЛУЧЕННЫХ СВЕРХБЫСТРОЙ ЗАКАЛКОЙ ИЗ РАСПЛАВА Лозенко В.В., Шепелевич В.Г.....	20
АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ Одинокое С.А., Коробейников Л.В., Семушкин М.А.....	26
ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ЖЕЛЕЗА НА СТРУКТУРУ И МИКРОТВЕРДОСТЬ БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШЕЙ ФОЛЬГИ БИНАРНОГО СПЛАВА Al – 5,4 ат. % Mg Сивцова П. А., Шепелевич В. Г.....	30
ОЦЕНКА МЕХАНИЗМА ФОРМИРОВАНИЯ МЕЖЧАСТИЧНЫХ КОНТАКТОВ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ПОРИСТЫХ ВОЛОКНОВЫХ ПРОНИЦАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ЭКСТРАКЦИИ ВИСЯЩЕЙ КАПЛИ РАСПЛАВА Серов М.М., Борисов Б.В.....	37

Секция 2. Методы нанесения и исследования покрытий

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИНДИКАТРИС НЕУПРУГОГО РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ ИЗ СПЕКТРОВ ХПЭ ЧИСЛЕННЫМИ МЕТОДАМИ Афанасьев В.П., Ефременко Д.С., Лубенченко А.В.	44
--	----

**КОАЛЕСЦЕНЦИЯ ЧАСТИЦ ВТОРОЙ ФАЗЫ В
БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЬГАХ НА ОСНОВЕ СВИНЦА**

Белая О.Н.^{*}, Шепелевич В.Г.^{**}

^{*}БГПУ им. М. Танка, ^{**}Белорусский государственный университет

^{**}220050, Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 4

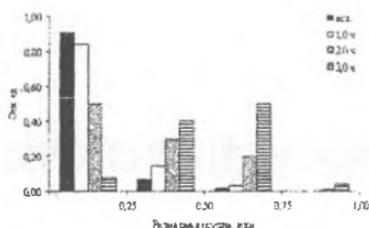
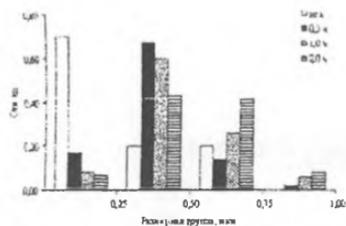
E-mail: belav_olenka@mail.ru

Прогнозирование свойств материалов и выявление влияния технологических параметров на их структуру и физические характеристики может существенно снизить затраты на разработку технологий получения новых материалов с заданными свойствами. В связи с этим одним из наиболее перспективных направлений современного материаловедения является использование сверхвысоких скоростей охлаждения расплава (выше 105 К/с) при затвердевании [1, 2]. Возрастает интерес к материалам с невысокой температурой плавления, к числу таких металлов относится и свинец. При введении легирующих добавок в чистый свинец происходят структурные изменения, которые определяют его физико-механические свойства. В литературе практически отсутствуют данные о термической стабильности сплавов на основе свинца. Хотя известно, что полученные методом высокоскоростного затвердевания сплавы свинца находятся в неустойчивом состоянии, и в этом случае в процессе термической обработки могут происходить изменения структуры. В быстрозатвердевших фольгах систем Pb–Cd и Pb–Sb присутствуют выделения второй фазы. Изменение их размеров и количества в процессе термической обработки существенным образом влияет на пластические и прочностные характеристики фольг. В связи с этим в данной работе представлены результаты исследования влияния термической обработки на структуру фольг на основе свинца.

Свинец и легирующие элементы (Cd и Sb), используемые для приготовления сплавов, имели чистоту не хуже 99,99 %. Сплавы систем

Pb–Cd и Pb–Sb изготовлены сплавлением компонентов в кварцевых ампулах. Фольги используемых материалов получены при затвердевании капли расплава (~ 0,2 г), инжигтированной на внутреннюю поверхность вращающегося медного цилиндра. Линейная скорость поверхности цилиндра 15 м/с. Толщина используемых фольг составляла 30...80 мкм. Скорость охлаждения расплава, как показал расчет [3], была не менее 106 К/с. Наблюдение топографии фольг проводилось на растровом электронном микроскопе LEO 1445 VP. Для анализа распределения анализируемых элементов осуществлялось сканирование по заданной линии.

Быстрозатвердевшие фольги сплавов системы Pb–Cd были подвержены отжигу при температуре 130 °С в течение различного времени. Анализ полученных с помощью растрового электронного микроскопа результатов показал, что выделения кадмия укрупняются. Были построены гистограммы распределения выделений кадмия по размерным группам (рис. 1). Распределение выделений кадмия в исходном состоянии характеризуется плавным уменьшением числа частиц с большими размерами и имеет ниспадающий вид. На распределениях отожженных фольг присутствует максимум, который при увеличении времени отжига сдвигается в сторону больших значений величины частиц кадмия. Средний размер частиц кадмия увеличивается примерно в 2,3 раза, при этом их количество уменьшается почти в 6 раз после отжига в течение 3,0 часов. Обнаруженное изменение размеров и количества выделений кадмия в единице объема свидетельствует о протекании коалесценции [4].



a)

b)

Рис. 1. Распределение выделений второй фазы по размерным группам фольг Pb-10 ат. % Cd после отжига при температуре 130 °С (а) и Pb-10 ат. % Sb после отжига при температуре 150 °С (б)

В быстрозатвердевших фольгах сплавов системы Pb-Sb исследования изменения выделений второй фазы проведены при концентрации сурьмы 10 ат. % (где присутствуют мелкодисперсные вторичные выделения сурьмы, выделившиеся из пересыщенного твердого раствора). Результаты исследования показали, что в данных фольгах в ходе термической обработки происходит укрупнение выделений второй фазы (рис. 1, б).

Построенные гистограммы распределения выделений частиц сурьмы по размерным группам наглядно показывает увеличение их среднего размера. Распределение частиц сурьмы в исходном состоянии характеризуется плавным уменьшением числа частиц с большими размерами и имеет ниспадающий вид. На всех распределениях отожженных фольг присутствует максимум, который при увеличении времени отжига сдвигается в сторону больших значений величины частиц сурьмы. При этом наблюдается резкое уменьшение их количества в единице объема в 10 раз после отжига в течение 3 часов. Следует отметить, что в фольгах Pb-10 ат. % Cd, отожженных при аналогичных условиях, уменьшение количества частиц кадмия в единице объема происходит в 1,6 раз менее интенсивно.

Процесс коалесценции является многостадийным, так как происходит подвод и отток необходимых компонентов, а также переход атомов через межфазную границу, при растворении одних и росте других частиц. Рост выделений, как известно [4], может контролироваться

следующими процессами: объемной диффузией ($n=3$, где n – показатель степени в зависимости $dn \sim t$), переходом атомов через межфазовую поверхность раздела ($n=2$), и ростом выделений на межзеренных границах ($n=4$). Поэтому, для определения фактора, контролирующего процесс коалесценции в исследуемых фольгах сплавов Pb–Cd и Pb–Sb, были построены графики зависимости величины частиц кадмия и сурьмы от времени отжига.

Как следует из полученных графиков, данная зависимость для фольг Pb–10 ат. % Cd имеет вид $d^3 \sim t$, что свидетельствует о том, что фактором, контролирующим процесс коалесценции в фольгах данной системы, является объемная диффузия.

Для фольг Pb–10 ат. % Sb зависимость величины частиц сурьмы от времени отжига имеет вид $d^2 \sim t$. Данный результат позволяет сделать вывод о том, укрупнение выделений сурьмы контролируется переходом атомов через межфазную поверхность раздела.

Различие факторов, контролирующих процесс коалесценции в исследуемых фольгах, заключается в разнице типов сил связи в образовавшихся фазах. Кадмий характеризуется металлической связью, которая является изотропной. В сурьме каждый атом имеет три ковалентные связи с соседними атомами. Ковалентные связи являются строго ориентированными. Для перехода атомов сурьмы через межфазную границу необходимо определенное их расположение по отношению к кристаллической решетке второй фазы. Поэтому в случае сплавов Pb–Sb наиболее медленным процессом коалесценции является переход атомов через межфазную поверхность раздела.

Результаты исследования изменения выделений второй фазы быстрозатвердевших фольг на основе свинца в процессе термической обработки показали, что выделения второй фазы, образованные при распаде пересыщенного твердого раствора при кристаллизации, увеличиваются в размере и уменьшаются в количестве. Укрупнение частиц обусловлено уменьшением свободной энергией границы между выделениями и матрицей в ходе коалесценции. Для фольг Pb–10 ат. % Cd

процесс коалесценции контролируется объемной диффузией, а для фольг Pb–10 ат. % Sb – переходом атомов через межфазную поверхность раздела.

Литература:

1. Высокоскоростное затвердевание расплава (теория, технология и материалы) / В.А. Васильев [и др.]; под общ. ред. Б.С. Митина. – М.: «СП ИНТЕРМЕТ ИНЖИНИРИНГ», 1998. – 400 с.

2. Калиниченко, А.С. Управляемое направленное затвердевание и лазерная обработка: теория и практика / А.С. Калиниченко, Г.В. Бергманн. – Мн.: Технопринт, 2001. – 367 с.

3. Мирошниченко, И.С.: Закалка из жидкого состояния / И.С. Мирошниченко. – М.: Metallurgia, 1982. – 168 с.

4. Мартин, Дж. Стабильность микроструктуры металлических систем / Дж. Мартин, Р. Доэрти. – М.: Атомиздат, 1978. – 208 с.