

05

О связи между скоростью контактного плавления металлов с твердыми растворами и их остаточным электросопротивлением

© А.А. Ахкубеков, Н.В. Далакова, О.Л. Еналдиева,
Т.А. Орквасов, В.А. Созаев

Кабардино-Балкарский государственный университет, Нальчик, Россия
E-mail: rusten@kbsu.ru

Физико-технический институт низких температур им. Б.И. Веркина
НАН Украины, Харьков, Украина
E-mail: dalakova@ilt.kharkov.ua.

Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ),
Владикавказ, Россия
E-mail: sozaevv@kbsu.ru

Поступило в Редакцию 27 октября 2005 г.

Установлена взаимосвязь между скоростью контактного плавления (КП) чистых металлов с поликристаллическими твердыми растворами (ТР) и их остаточным сопротивлением. Показано, что между скоростью КП и остаточным сопротивлением ТР существует линейная зависимость. Полученные уравнения используются для предсказания скорости КП металлов с ТР.

PACS: 61.72.Cc

В работах [1,2] показано, что скорость контактного плавления (КП) твердых поликристаллических растворов с металлами коррелирует с поверхностными свойствами компонентов твердых растворов (ТР) или с энергией взаимодействия примесных атомов (ПА) с границами зерен

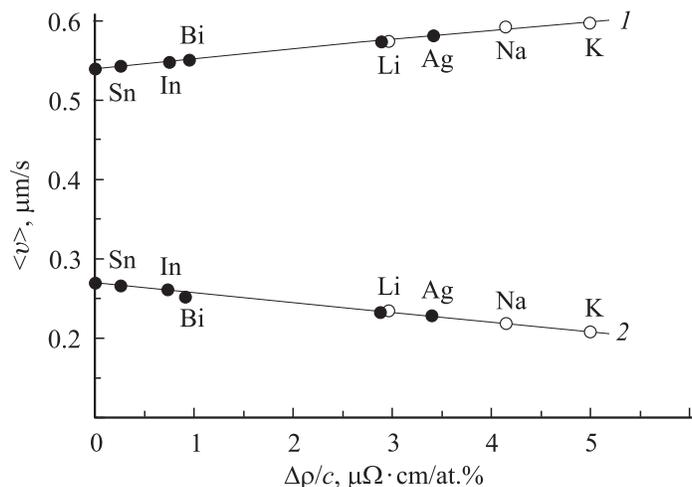


Рис. 1. Зависимость средней скорости КП от остаточного сопротивления твердого раствора: 1 — (Pb-0.1 at.% Me: Sn, In, Bi, Li, Ag)-Bi; 2 — (Pb-0.1 at.% Me: Sn, In, Bi, Li, Ag)-Sn. Светлыми кружками обозначены предсказываемые значения $\langle v \rangle$.

ТР. Это указывает на важную роль в процессах КП поверхностной и зернограничной сегрегации, вследствие которых в контакте металла с ТР могут образовываться составы близкие к тройным, а по границам зерен (ГЗ) — к двойным эвтектикам, что и влияет на скорость КП.

В свою очередь энергия взаимодействия ПА с ГЗ (или с межфазной поверхностью), как известно, определяется размерным несоответствием атомов матрицы и примеси (так называемое упругое взаимодействие) [3], а также разностью валентностей атомов матрицы и примеси (электрическое взаимодействие) [4]. Наличие упругого взаимодействия обусловлено тем, что межатомные расстояния вблизи ГЗ отличаются от их равновесных значений, соответствующих минимуму энергии кристаллической решетки. Вследствие этого возникают локальные упругие напряжения, в поле которых действуют силы, стремящиеся втянуть (или вытолкнуть, в зависимости от соотношения радиуса атома растворителя и примеси) примесный атом в искаженную ГЗ область кристалла. Зернограничная сегрегация растворенных атомов приводит к уменьшению искажений кристаллической решетки, что энергетически выгодно. Элек-

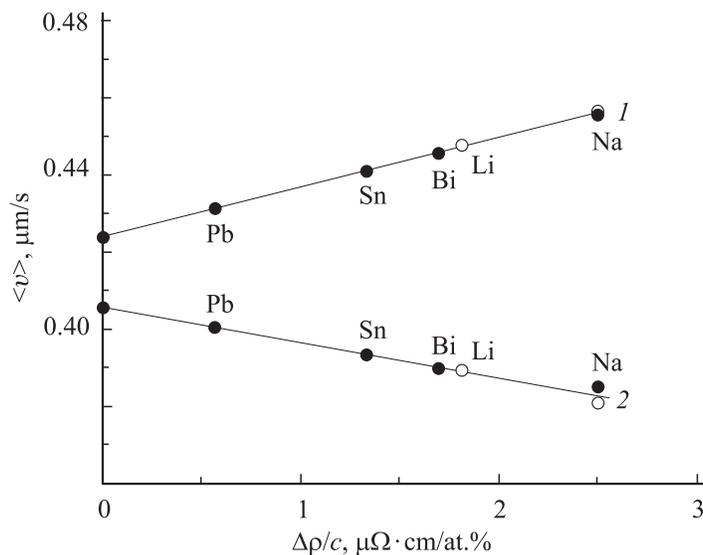


Рис. 2. Зависимость средней скорости КП от остаточного сопротивления твердого раствора: 1 — (In–0.1 at.% Me: Pb, Sn, Bi, Na)–Bi; 2 — (In–0.1 at.% Me: Pb, Sn, Bi, Na)–Sn. Светлыми кружками обозначены предсказываемые значения $\langle v \rangle$.

трическое взаимодействие атомов примеси с ГЗ объясняется тем, что в области дефектов имеются избыточные электрические заряды на общем электрически нейтральном фоне кристалла, так как локальные участки искажений имеют электронную плотность, отличную от электронной плотности, характерной для неискаженных участков твердого раствора. Но от размерного несоответствия и разности валентностей зависит и остаточное сопротивление металлов [5].

В настоящей работе предпринимается попытка установить взаимосвязь между скоростью КП металлов с поликристаллическими ТР и их остаточным сопротивлением.

Средняя скорость контактного плавления $\langle v \rangle$ ТР на основе олова, свинца и индия с легкоплавкими металлами измерялась в нестационарно-диффузионном режиме при температуре выше эвтектической на 10°C . Методика измерений приводится в [1,2]. Значения остаточного

Скорости контактного плавления ТР с металлами, предсказанные по остаточному сопротивлению ТР

| Твердый раствор–металл | $\langle v \rangle, \mu\text{m/s}$ | Твердый раствор–металл | $\langle v \rangle, \mu\text{m/s}$ |
|------------------------|------------------------------------|------------------------|------------------------------------|
| (Pb–Li)–Bi | 0.573 | (Sn–Li)–Bi | 0.493 |
| (Pb–Na)–Bi | 0.585 | (Sn–Na)–Bi | 0.469 |
| (Pb–K)–Bi | 0.592 | (Sn–Li)–In | 0.445 |
| (Pb–Li)–Sn | 0.229 | (Sn–Na)–In | 0.436 |
| (Pb–Na)–Sn | 0.213 | (Sn–Li)–Pb | 0.782 |
| (Pb–K)–Sn | 0.200 | (Sn–Na)–Pb | 0.771 |
| (In–Li)–Bi | 0.448 | (In–Li)–Sn | 0.389 |
| (In–Na)–Bi | 0.456 | (In–Na)–Sn | 0.382 |

электросопротивления $\Delta\rho/c$ (c — концентрация примеси), измеренные на проволочных образцах четырехзондовым потенциометрическим методом, заимствовались из работ [5–8].

Зависимость скорости КП $\langle v \rangle$ металлов Sn и Bi с ТР на основе свинца (c концентрацией легирующей примеси 0.1 at.%) от $\Delta\rho/c$ приводится на рис. 1, Bi и Sn с ТР на основе индия — на рис. 2.

Из рис. 1, 2 видно, что между скоростью КП и остаточным сопротивлением ТР существует корреляционная зависимость. Аналогичная зависимость наблюдается при КП In, Bi и Pb с ТР на основе олова.

Как видно из рис. 1, 2, зависимость $\langle v \rangle$ от $\Delta\rho/c$ удовлетворительно аппроксимируется уравнениями $\langle v \rangle = A + B\Delta\rho/c$.

Эти уравнения могут использоваться для предсказания скорости КП металлов с ТР. Например, данные о скорости КП ТР Sn–Li, In–Li с металлами Pb, In, Bi в литературе отсутствуют. Однако имеются данные по остаточному сопротивлению $\Delta\rho/c$, например, в системе In–Li $\Delta\rho/c = 1.8 \pm 0.6 \mu\Omega \cdot \text{cm/at}\%$, а в системе In–Na $\Delta\rho/c = 2.5 \pm 0.1 \mu\Omega \cdot \text{cm/at}\%$ [8]. С учетом этих данных по установленным уравнениям для скорости КП $\langle v \rangle$ в системах (In–Li)–Bi, (In–Li)–Sn, (In–Na)–Bi и (In–Na)–Sn получаем соответственно $\langle v \rangle = 0.448 \mu\text{m/s}$ и $0.389 \mu\text{m/s}$; $\langle v \rangle = 0.456 \mu\text{m/s}$ и $0.382 \mu\text{m/s}$. Аналогичные данные можно получить и для других систем (см. рис. 1, 2 и таблицу).

На рис. 1, 2 на примере систем (Pb–0.1 at.% Li)–Bi и (Pb–0.1 at.% Li)–Sn, а также (In–0.1 at.% Na)–Bi и

(In–0.1 at. % Na)–Sn, показано удовлетворительное согласие вычисленных значений скорости КП $\langle v \rangle$ (светлые кружки) и измеренных (темные кружки) нами.

Отметим, что малые добавки примесных атомов в свинец и индий уменьшают скорость КП этих твердых растворов с оловом и увеличивают скорость КП этих же твердых растворов с висмутом (см. рис. 1, 2).

Список литературы

- [1] *Ахкубеков А.А., Жилоков Х.П., Орквасов Т.А., Еналдиева О.Л., Созаев В.А.* // Адгезия расплавов и пайка материалов. 2004. В. 37. С. 79–87.
- [2] *Ахкубеков А.А., Еналдиева О.Л., Лелюкаев Ш.М., Орквасов Т.А., Созаев В.А.* // Сб. трудов 7-го Международного симпозиума „Фазовые превращения в твердых растворах и сплавах“ (ОМА 2004). Сочи, 2004. С. 14–18.
- [3] *Маклин Д.* Границы зерен в металлах. М.: Металлургиздат, 1960.
- [4] *Guyot P., Simon J.P.* // J. Phys (France). 1975. V. 36. N 10. Suppl. P. 141–148.
- [5] *Александров Б.Н.* // Физика конденсированного состояния. Харьков, 1970. В. 6. С. 52–101.
- [6] *Александров Б.Н., Дукин В.В.* // ФММ. 1972. Т. 34. В. 4. С. 739–748.
- [7] *Александров Б.Н., Дукин В.В.* // ФММ. 1974. Т. 38. В. 6. С. 1191–1200.
- [8] *Александров Б.Н., Далакова Н.В.* // ФММ. 1987. Т. 64. № 3. С. 464–474.