

*В. К. Бушуева, О. Г. Епанчинцев, В. Ф. Нестеренко,
И. А. Орлова, С. А. Першин*

СТРУКТУРА СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ КЕРАМИКИ $\text{Bi}-1112$ ПОСЛЕ ВЗРЫВНОГО КОМПАКТИРОВАНИЯ

Методами металлографического и микрорентгеноспектрального анализов исследована структура компактов порошка состава $\text{Bi}-1112$. Обнаружены 2 фазы, представляющие основную структурную составляющую (видимо, $\text{Bi}-2223$ и $\text{Bi}-2212$), а также 3 примесные фазы и эвтектический компонент. Указан их предположительный состав, измерена микротвердость.

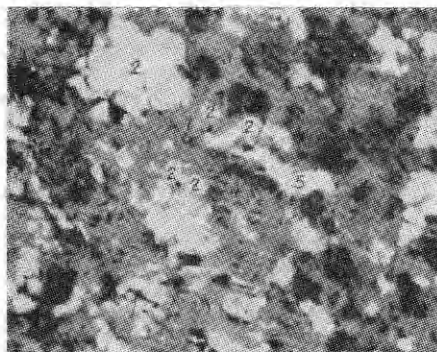
В [1] в прессовках исходного состава $\text{Bi}_1\text{Sr}_1\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{O}_{6-x}$ ($\text{Bi}-1112$), содержащего две сверхпроводящие фазы с температурой начала перехода $T_{\text{к0}} \approx 106$ К (фаза $\text{Bi}-2223$) и 85 К (фаза $\text{Bi}-2212$), после взрывного компактирования (ВК) при давлениях детонации $p = 1,0 \div 4,7$ ГПа методом измерения магнитной восприимчивости установлено отсутствие сверхпроводящих переходов при охлаждении вплоть до 65 К. Рентгеновские дифрактограммы прессовок после ВК содержали пики с пониженной интенсивностью и значительно уширенные по сравнению с таковыми для исходного порошка, что свидетельствует о разупорядочении или частичной аморфизации кристаллической структуры исследованных прессовок. Отсутствие в них сверхпроводящих переходов может быть связано с существованием в структуре прессовок дефектного и аморфного материалов как по границам, так и в объеме зерен, а также присутствием небольших количеств (<2 %) посторонних фаз и примесей разного происхождения, не обнаруживаемых методом рентгеноструктурного фазового анализа.

Цель данной работы — изучение методами металлографического и микрорентгеноспектрального анализов структуры прессовок, полученных путем ВК порошка исходного состава $\text{Bi}-1112$ и той же партии, что и в [1], при $p = 1,0 \div 4,7$. ВК проводили в цилиндрических медных ампулах диаметром 12, толщиной стенки 1 и диаметре слоя ВВ 35 мм. Из прессовок готовили поперечные шлифы по методике [2].

Металлографическое изучение шлифов проводили в светлом и темном поле, в поляризованном свете при увеличении до 1000, а микрорентгеноспектральный анализ и получение растровых изображений — в обратно рассеянных электронах до 2000.

Основной структурной составляющей прессовок, полученных при всех давлениях детонации, является гетерогенная матрица в виде участков I (рис. 1), окрашенных на светлополюсных изображениях в серый цвет разных оттенков. По-видимому, эти участки с разной окраской соответствуют по составу фазам $\text{Bi}-2223$ и $\text{Bi}-2212$, обнаруженным

Рис. 1. Микроструктура прессовки исходного состава $\text{Bi}-1112$ после ВК при $p = 4,7$ ГПа. Светлополюсное изображение в световом микроскопе ($\times 500$).



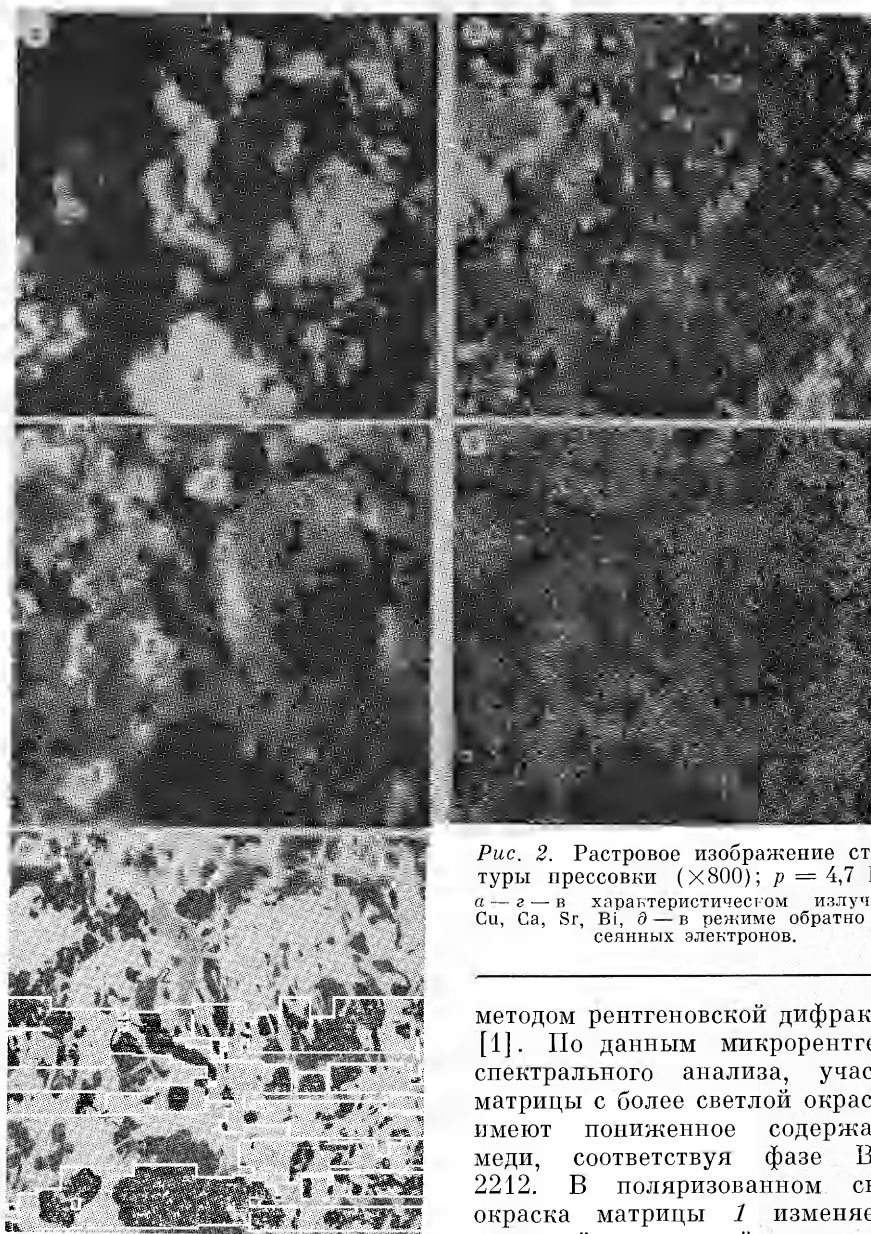


Рис. 2. Растровое изображение структуры прессовки ($\times 800$); $p = 4,7$ ГПа. $a - d$ — в характеристическом излучении Cu, Ca, Sr, Bi, e — в режиме обратно рассеянных электронов.

методом рентгеновской дифракции [1]. По данным микрорентгено-спектрального анализа, участки матрицы с более светлой окраской имеют пониженное содержание меди, соответствуя фазе Bi—2212. В поляризованном свете окраска матрицы 1 изменяется от серой до черной, в темном поле она черная. По результатам

измерений на приборе ПМТ-3 микротвердость при нагрузке 20 г (H_{20}) разных участков матрицы изменяется от 4,0 до 4,8 ГПа.

В матрице равномерно распределены включения примесных фаз 2, 3 и 4. На светлопольных изображениях фаза 2 окрашена в белый, фазы 3 и 4 — в черный цвет (см. рис. 1). Различить фазы 3 и 4 удастся, как будет показано ниже, на растровых электронно-микроскопических изображениях.

Фаза 2 присутствует в виде отдельных округлых включений или их скоплений размерами до 200 мкм. По данным микрорентгено-спектрального анализа, она обогащена медью (рис. 2, a) и не содержит Ca, Sr и Bi (рис. 2, $b - d$). В поляризованном свете хорошо выявляется зернистое строение включений фазы 2. В некоторых зернах наблюдаются двойники со слабо выраженными границами. На темнопольных изображениях она окрашена в черный цвет, границы включений окаймлены светящейся линией. Микротвердость H_{20} фазы 2 составляет 4,5—4,8 ГПа.

Рис. 3. Фрагментированная фаза (3) в структуре прессовки после ВК при $p = 4,7$ ГПа. Светлопольное изображение в световом микроскопе ($\times 1000$).



Растрескивание включений при нанесении отпечатков свидетельствует о высокой хрупкости этой фазы. По-видимому, фаза 2 состоит из CuO , соответствуя составу одного из компонентов исходного порошка $\text{Bi} - 1112$.

Фаза 3 присутствует в виде включений неправильной формы размером до 80 мкм. Некоторые из них имеют характер фрагментов более крупных частиц, узкие (< 1 мкм) зазоры между которыми заполнены материалом матрицы (рис. 3). Наличие матрицы в трещинах между фрагментами может быть обусловлено хрупким растрескиванием фазы с заполнением трещин материалом матрицы под действием высокого давления. По данным микрорентгеноспектрального анализа, фаза 3 обогащена стронцием (см. рис. 2, в) и не содержит Ca , Cu и Bi (см. рис. 2, а, б, г). Для фазы 3 $H_{20} = 4$ ГПа. Эта фаза также хрупка и растрескивается при нанесении отпечатков. Предположительный ее состав — SrCO_3 , что соответствует одному из компонентов исходного порошка.

Фаза 4 — это отдельные округлые включения или скопления, размеры которых значительно меньше, чем для фазы 2. Дифференцировать на светлопольных изображениях фазы 3 и 4 практически невозможно, однако их можно различить на растровых изображениях в обратно рассеянных электронах (см. рис. 2, д), где фаза 4 окрашена в черный, а 3 — в темно-серый цвет. По данным микрорентгеноспектрального анализа, фаза 4 обогащена кальцием (см. рис. 2, б) и не содержит Cu , Sr и Bi (см. рис. 2, а, в, г), что говорит в пользу состава CaCO_3 , соответствующего одному из компонентов исходного порошка.

В структуре шлифа очень редко встречаются одиночные включения фазы 5 желтого цвета неправильной формы размером 2—50 мкм (см. рис. 3). По данным микрорентгеноспектрального анализа, фаза 5 обогащена медью (см. рис. 2, а) и не содержит Ca , Sr и Bi (см. рис. 2, б — г). Фазы 2 и 5, по-видимому, близки между собой по химическому составу, однако 5 имеет более высокий средний атомный номер, поскольку окрашена светлее фазы 2 на растровом изображении в обратно рассеянных электронах (см. рис. 2, д). В поляризованном свете фаза 5 изменяет окраску от желтой до бирюзовой, что говорит о ее анизотропии. В темном поле она непрозрачна, $H_{20} = 1,7$ ГПа.

На некоторых участках шлифа при $\times 1000$ выявляется структурная составляющая (Э) эвтектического типа (см. рис. 3), образованная мелкодисперсными частицами матрицы и фазы 2.

Полученные результаты указывают на сильно выраженную гетерогенность материала прессовок исходного состава $\text{Bi} - 1112$ после ВК при $p = 1,0 - 4,7$ ГПа. Наряду с основными сверхпроводящими фазами типа $\text{Bi} - 2223$ и $\text{Bi} - 2212$ структура прессовок содержит примесные фазы, обогащенные медью, стронцием или кальцием, и мелкодисперсную эвтектику, образованную матрицей и обогащенной медью фазой 2. В крупных частицах фазы 2 обнаружен эффект двойникования.

Характер структуры прессовок в сочетании с обнаруженными в [1] разупорядочением и частичной аморфизацией кристаллической структуры фаз $\text{Bi}-2223$ и $\text{Bi}-2212$, образующих сверхпроводящую матрицу керамики $\text{Bi}-1112$, оказывает несомненное влияние на сверхпроводящие характеристики последней, в частности может обуславливать отсутствие в прессовках в состоянии после ВК сверхпроводящих переходов при охлаждении до 65 К. По-видимому, именно различиями в структуре прессовок исходного состава $\text{Bi}-1112$, исследованных в [1, 3], объясняются существование сверхпроводящего перехода после ВК в прессовках [3] и отсутствие сверхпроводящих переходов в прессовках [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Епанчинцев О. Г., Колесников Д. П., Корнеев А. Е. и др. Изменение структуры сверхпроводящей керамики состава $\text{Bi}-1112$ при взрывном компактировании и последующей термообработке // ФГВ.— 1990.— 26, № 3.— С. 128—130.
2. Бушуева В. К., Епанчинцев О. Г., Филатов В. М. и др. Металлографический анализ прессовок из оксидной ВТСП-керамики $\text{Y}-\text{Ba}-\text{Cu}-\text{O}$ // Сверхпроводимость: Физика, химия, техника.— 1990.— № 9.
3. Матизен Э. В., Нестеренко В. Ф., Першин С. А. и др. // Влияние взрывной обработки на сверхпроводящие свойства системы $\text{Bi}-\text{Sr}-\text{Ca}-\text{Cu}-\text{O}$.— Новосибирск, 1989.— (Препр./СО АН СССР, ИНХ; 89-21).

г. Новосибирск

Поступила в редакцию 17/VII 1990

УДК 533.9.088.8

Ю. Л. Бакшаев, П. И. Блинов, Г. И. Долгачев

ИНИЦИИРОВАНИЕ ВЗРЫВА ВВ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

Изучалось воздействие импульсного электронного пучка на ВВ в вакууме и показана возможность инициировать взрыв в тонком ($\sim 10^{-2}$ см) поверхностном слое ВВ за время менее 100 нс.

Мощные электронные пучки (ЭП), получившие применение в исследовании по управляемому термоядерному синтезу, для генерации СВЧ- и лазерного излучения и других технологических приложений, представляется возможным использовать для инициирования взрыва ВВ. Такой способ подрыва может оказаться удобным при формировании плоских и особенно сходящихся (например, сферических) детонационных волн (ДВ), представляющих большой интерес для получения высоких давлений. Кроме того, применение ЭП, как и лазерных пучков [1], для инициирования взрыва обладает несомненными достоинствами при измерении характеристик ВВ (скорости ДВ, ширины зоны реакции, минимальной энергии инициирования и т. д.), так как позволяет сообщать ВВ энергию в легко контролируемых количествах за времена, измеряемые десятками наносекунд.

Первое упоминание о использовании ЭП для инициирования взрыва приводится в [2]. Для этого пучок электронов с энергией 1 МэВ длительностью 30 нс выпускался сквозь титановую фольгу и падал на таблетку ВВ, помещенную в алюминиевую оболочку. Настоящая работа посвящена исследованию возможности инициирования взрыва ВВ электронным пучком в вакууме.

Опыты проводились с ВВ, применяемым в капсулах для охотничьих ружей и представляющим смесь из крупинок гремучей ртути, бертолетовой соли и сурьмы (ГОСТ 7574-71). Размер крупинок 0,04—0,1 мм.

Для инициирования взрыва использовался импульсный пучок электронов с энергией 160 кэВ, плотностью тока (0,1—5) кА/см² и длительностью импульса до 400 нс. Эксперименты проводились в вакуумной камере ускорителя при давлении 10^{-5} — 10^{-4} Торр. Определялись минималь-