

Умеренная величина тока воздействия (менее 100 мА) по сравнению с работой [3], где использованы токи до 50 А, не объясняет увеличения скорости горения за счет джоулева нагрева (1—2 % от тепла, выделяемого в пламени).

Для объяснения наблюдаемого эффекта предложен стримерный (плазмохимический) механизм активации процесса горения. Стримерная корона представляет собой разряд, развивающийся в пародымогазовой среде, а возможно, предварительно и в пламени, в виде множества тонких проводящих нитей (зон энерговклада) вдоль направления поля между фронтом пламени и поверхностью горения. В результате в стримерах происходит наработка химически активных частиц с последующими реакциями этих частиц вблизи поверхности. При этом возможно лавинообразное (цепное) развитие стримеров. В этом случае можно ожидать тушащего влияния на развитие стримеров электроотрицательных газов. Стримерный характер активации процесса горения подтверждается записями осциллограмм шумового тока в цепи питания схемы и возрастанием уровня шума акустической эмиссии на высоких частотах. Кроме того, существование порогового значения напряжения, активизирующего горение, свидетельствует о наличии напряжения зажигания стримерной короны (микродуг).

Таким образом, существует эффективный способ воздействия на горение баллистичных топлив путем наработки активных частиц в микродугах вблизи поверхности при шнуровании электрического разряда. При этом потребляемая стримерным разрядом электрическая мощность незначительна. Несомненно, требуется дальнейшее исследование метода, в том числе в приложении к смесевым конденсированным системам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лаутон Дж., Вайнберг Ф. Электрические аспекты горения. — М.: Энергия, 1976. — С. 245—248.
2. Баранов А.А., Булдаков В.Ф., Шелухин Г.Г. Влияние электрического поля на скорость горения гетерогенных конденсированных систем // ФГВ. — 1976. — 12, № 5. — С. 689.
3. Татибана Т., Кимура И. Управление воспламенением и горением ТРТ дуговым разрядом на постоянном токе // Аэрокосмическая техника. — 1988. — 12. — С. 172—178.
4. Иващенко Ю.С., Комаров А.С., Павленко В.Л. Исследование электрофизических характеристик к-фазы при горении порохов баллистичного типа // ФГВ. — 1975. — 11, N 2. — С. 213—317.

660049, г. Красноярск,
Сибирский технологический институт

Поступила в редакцию 17/VI 1993

УДК 621.7.044.2

О.Г. Епанчинцев, А.А. Дитятьев

СТАБИЛЬНОСТЬ ФУЛЛЕРЕНОВ ПРИ УДАРНО-ВОЛНОВОМ И СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Анализ направлений легирования фуллеренов, обеспечивающих возможность повышения температуры сверхпроводящего перехода фуллеренидов, показал [1] перспективность формирования металл-фуллереновых эндоэдральных комплексов (МФЭК), состоящих из фуллерена и активного металла (Li, Na, K, Mg, Ba, Y, La и др). Последний поставляет электроны во внутреннюю полость фуллерена. Такие комплексы используются в качестве основы для получения фуллеренидов щелочных металлов с повышенной температурой сверхпроводящего перехода.

Высокие давления, под действием которых фуллереновый каркас становится лабильным [2], интересно применить к задаче получения МФЭК. В

© О.Г. Епанчинцев, А.А. Дитятьев, 1994.

этой связи исследована возможность введения лития или натрия в фуллерен C_{60} при изостатических давлениях $p \leq 8$ ГПа и температурах $T \leq 400$ °С и при ударно-волновом нагружении до $p \leq 20$ ГПа.

Исходный фуллерен получали методом электродугового распыления графита на вакуумной установке, позволяющей распылять графитовые мишени в различных газовых средах при токе до 500 А и максимальной мощностью 30 кВт. Оптимальное давление гелия при синтезе фуллерена составляло 0,1—0,2 атм.

Индивидуальные фуллерены отделяли от сажи экстракцией в сокслете бензолом (с последующим его упариванием) в течение 3—5 ч при кипячении. Соотношение в экстракте фуллеренов C_{60}/C_{70} составляло 10:1 — 8:1. Учитывая повышенную растворимость фуллерена в ароматических углеводородах, использовали силикагель, модифицированный дифенилсинильными группами, что ускорило процесс адсорбции. Чистоту полученных индивидуальных соединений контролировали методами спектрофотометрии в видимой и ультрафиолетовой областях, хроматографии и масс-спектрометрии. Чистота фуллерена C_{60} составляла 99,5 %.

Образцы для экспериментов при высоких давлениях готовили смешиванием и перетиранием металлического лития (натрия) с фуллереном в разных соотношениях в сухом боксе. Полученные смеси герметизировали в медных или лагунных ампулах и подвергали изостатическому или ударно-волновому нагружению. В процессе изостатического нагружения образцы подвергали термообработке при $T \leq 400$ °С.

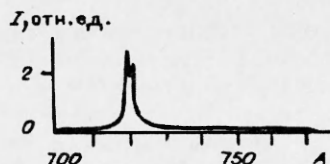
Ударно-волновое нагружение проводили по осесимметричной схеме в цилиндрических стальных контейнерах, внутри которых размещали ампулы с натрий-фуллереновой смесью в количестве 0,1—0,2 г. Свободное пространство между наружными стенками ампулы и внутренними стенками контейнера заполняли порошком стали ЭП-450 в качестве среды, передающей давление ударной волны на стенки ампулы. Среднее расчетное давление ударной волны внутри ампулы достигало в разных экспериментах 5, 7, 10 и 20 ГПа. После обработки давлением металл-фуллереновые смеси исследовали методами рентгеноструктурного и масс-спектрометрического анализа.

В изученной области температур и давлений образования МФЭК не наблюдали. В процессе термообработки фуллерен, находившийся в контакте с литием, полностью разрушался с образованием карбида лития. В условиях ударно-волнового нагружения в образцах, содержащих натрий, фуллерен C_{60} сохранял стабильность при давлениях ударной волны менее 20 ГПа, однако разрушался, если $p \approx 20$ ГПа.

На рисунке приведена построенная на анализаторе LAMMA-1000 масс-спектрограмма компакта, приготовленного из смеси Na — 10 % C_{60} , после ударно-волнового нагружения под давлением 10 ГПа. Спектрограмма содержит пик, соответствующий фуллерену C_{60} . Аналогичный пик присутствует на масс-спектрограммах образцов того же состава после ударно-волнового нагружения при $p = 5$ или 7 ГПа, однако отсутствует на спектрограмме образца после нагружения под давлением ~ 20 ГПа.

Эти результаты согласуются с данными [3], полученными при ударно-волновом нагружении с одновременным нагревом смеси Cu — 4 % ($C_{60} + C_{70}$), согласно которым фуллериты C_{60} и C_{70} сохраняют стабильность при ударных нагрузках до 19 ГПа и нагреве до 827 °С, разрушаясь при $p > 20$ ГПа. Стабильность фуллеритов C_{60} при гидростатическом давлении до 20 ГПа и комнатной температуре отмечают в [4].

С учетом собственных и литературных данных можно считать структуру фуллеренов, в том числе в металл-фуллереновых смесях, достаточно стабильной при гидростатическом давлении до 20 ГПа. В то же время при негидростатическом нагружении, например при одноосной или сдвиговой деформации, стабильность фуллеренов понижается [4, 5]. В этой связи представляется целесообразным провести эксперименты по негидростатичес-



кому ударно-волновому нагружению металл-фуллереновых смесей, в частности в условиях микросдвиговой деформации, которые обеспечиваются введением в металл-фуллереновую смесь частиц материала с высокой твердостью.

Авторы выражают благодарность С.А. Першину за проведение ударно-волновой обработки образцов и В.Ф. Нестеренко за полезное обсуждение результатов работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дитячев А.А. Перспективные направления легирования C_{60} при получении ВТСП-соединений // Материалы I Межгосударственной конф. «Материаловедение высокотемпературных сверхпроводников». — Харьков, 1993. — Т. 1. — С. 29.
2. Yoo C.S., Nellis W.J. Phase transition from C_{60} molecules to strongly interacting C_{60} agglomerates at hydrostatic high pressure // Chem. Phys. Lett. — 1992. — 198, № 3—4. — P. 379—382.
3. Sekine T. Diamond recovered from socked fullerites // Proc. Japan Acad. — 1992. — 68, ser. B. — P. 95—99.
4. Duclos S.J., Brister K., Haddon R.C. et. al. Effects of pressure and stress on C_{60} fullerite to GPa // Nature. — 1991. — 351. — P. 380—382.
5. Núñez Regueiro M., Monceau P., Hodeau J.—L. Crushing C_{60} to diamond at room temperature // Ibid. — 1992. — 355. — P. 237—239.

109088 г. Москва,
НПО ЦНИИТМАШ

Поступила в редакцию 20/IX 1993