

СРОЧНОЕ СООБЩЕНИЕ

О ВОЗМОЖНОСТИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ
ПРЕВРАЩЕНИЙ ВЕЩЕСТВ
ПРИ КУМУЛЯТИВНОМ НАНЕСЕНИИ ПОКРЫТИЙ

УДК 621.793:621.7.044.2

С. А. Громилов, С. А. Кинеловский*, Ю. Н. Попов**,
Ю. А. Тришин*

Институт неорганической химии СО РАН, 630090 Новосибирск

*Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН,
630090 Новосибирск

**Новосибирский государственный университет, 630090 Новосибирск

Проведены эксперименты по кумулятивному нанесению покрытий из механической смеси порошков вольфрама и титана с углеродом. Показано, что при этом устойчиво образуются карбиды этих металлов. Тем самым подтверждена принципиальная возможность осуществления синтеза систем в кумулятивном устройстве.

Кумулятивный эффект, выражающийся в образовании высокоскоростной струи материала облицовки при ее обжати взрывом, широко применяется в различных областях техники. При этом в основном используются кумулятивные заряды, обеспечивающие возникновение компактной кумулятивной струи, оказывающей на преграду пробивное или режущее действие. При изготовлении кумулятивной облицовки из пористого материала при определенных условиях вместо компактной кумулятивной струи образуется разуплотненный поток частиц материала облицовки, который вместо пробивания преграды может быть использован для нанесения покрытия на преграду-подложку [1]. Условия, при которых реализуется такой кумулятивный способ нанесения покрытий, частично можно оценить из физического анализа процесса взрывного обжатия пористой облицовки.

Из результатов работы [2] следует, что для пористых металлов ударная адиабата, связывающая скорость ударной волны U и массовую скорость u , при значениях $u \gtrsim 1$ км/с с хорошей точностью может быть представлена, как и для сплошных конденсированных сред, в виде линейной зависимости

$$U = a(m) + b(m)u,$$

где a и b — параметры, характеризующие вещество, причем b слабо зависит от пористости m и с определенной точностью может считаться постоянным для данного вещества. Если

$$m = \frac{v_{00}}{v_0} > \frac{b}{b-1}, \quad (1)$$

где v_{00} — начальный удельный объем пористого вещества, а v_0 — удельный объем сплошного вещества при нормальных условиях, то поведение ударной адиабаты в переменных давление — удельный объем становится аномальным [3]: рост давления сопровождается разуплотнением вещества. Аномальность хода ударной адиабаты в данном случае связана с тепловыми эффектами. Тепловые составляющие давления и энергии при ударном



Рис. 1. Поток частиц от осесимметричного кумулятивного заряда с облицовкой из порошкового вольфрама

сжатии пористого вещества, начиная с определенной величины пористости, столь велики, что выделяющегося тепла оказывается достаточно для значительного нагрева и последующего разуплотнения вещества [3]. Следовательно, если величина пористости материала кумулятивной облицовки удовлетворяет условию (1), то вместо компактной кумулятивной струи образуется облакоподобный поток частиц. Типичный вид такого потока иллюстрирует рис. 1, где представлена рентгеноимпульсная фотография работы осесимметричного кумулятивного заряда с облицовкой из порошкового вольфрама насыпной плотности спустя 103 мкс от момента инициирования заряда. Средняя скорость частиц вольфрама в этом опыте составляла $2 \div 2,5$ км/с. Заметим, что для такого материала, как вольфрам, подобная скорость частиц недостижима при других способах нанесения покрытий.

Реализуемые при взрывном обжиге пористых облицовок высокие уровни давлений и температуры открывают перспективы для осуществления фазового перехода в материале, а также для синтеза новых, отличных от исходного, материалов. Возможность таких физико-химических превращений вещества была подвергнута экспериментальной проверке.

В экспериментах с нанесением покрытий использовались осесимметричные кумулятивные заряды с постоянной по высоте толщиной стенки конической облицовки. Облицовка изготавливалась из механической смеси порошков вольфрама или титана с углеродом, которая засыпалась в конический зазор между стенками из тонкого картона. Диаметр облицовки по основанию составлял 55 мм, толщина стенки облицовки (ширина зазора) примерно 3 мм. Заряд взрывчатого вещества цилиндрической формы изготавливался из гексогена насыпной плотности, диаметр и высота заряда — по 80 мм. При подрыве заряды располагались на расстоянии 400 ÷ 500 мм от преграды-подложки, на которую и наносилось покрытие.

При изготовлении облицовок из порошков вольфрама и углерода (графит, сажа) механическую смесь порошков брали в соотношении 15 : 1 по массе, что приблизительно соответствует химическому соединению WC, а для смеси титан — углерод эта пропорция составляла 4 : 1, что примерно соответствует соединению TiC.

Рентгендифрактометрические исследования материалов нанесенных покрытий проводились на аппарате ДРОН-3М ($R = 192$ мм, Cu K_{α} -излучение, никелевый фильтр, детек-

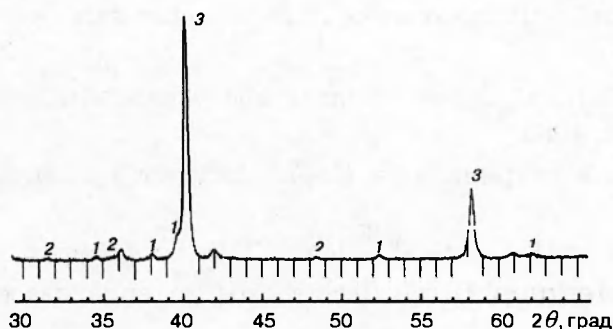


Рис. 2. Участок дифрактограммы от слоя, полученного нанесением механической смеси W + C на титановую подложку: 1 — β -W₂C, 2 — α -WC, 3 — W

тор сцинтилляционный с амплитудной дискриминацией) в области углов $5 \div 70^\circ$ 2θ со скоростью 1 град/мин. Образцы представляли собой шайбы диаметром 26 мм, закреплявшиеся в стандартном латунном кольце.

Интерпретация полученных дифрактограмм проведена с использованием кристаллографических данных для кристаллических фаз углерода [4], исходных металлов [5] и карбидов металлов [6]. В результате проведенных исследований установлено:

— при нанесении механической смеси Ti + C на различные металлические подложки (титан, сталь) почти 100 % титана переходят в карбид титана TiC, причем слой покрытия достаточно толстый и сплошной, поскольку дифракционных линий от подложки практически не видно;

— более сложный случай представляют слои, образованные в результате нанесения механической смеси W + C; рентгеновский анализ показал наличие в образцах кристаллических фаз W, β -W₂C и α -WC (рис. 2);

— при нанесении покрытия из механической смеси W + Ti + C в полученном слое надежно фиксируются кристаллические фазы TiC, W и β -W₂C.

Таким образом, проведенные эксперименты подтвердили принципиальную возможность осуществления физико-химических превращений веществ в кумулятивном устройстве. Кроме того, эти эксперименты показали, что эффективность таких превращений существенным образом зависит от характеристик кумулятивного устройства. Из рис. 2 видно, что с точки зрения синтеза карбида вольфрама условия, реализуемые при работе кумулятивного устройства, в данном случае не являются оптимальными: отношение $k = W_2C/W$ невелико. При изменении условий опыта, в частности всего лишь при небольшом изменении угла раствора конической облицовки, удастся повысить выход W₂C до $k = 0,5$. В опытах с нанесением тройной смеси (W + Ti + C) указанное соотношение оказалось наибольшим и его величина приблизилась к единице, т. е. примерно половина вольфрама перешла в β -W₂C. Следовательно, вопрос установления оптимальных характеристик кумулятивных устройств для конкретных материалов подлежит дополнительному изучению.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. с. 1729035 СССР. Устройство для нанесения покрытий / Кабулашвили В. Г., Кинеловский С. А., Попов Ю. Н., Тришин Ю. А. // БИ. 1992. № 15.

2. Мак-Куин Р., Марш С., Тейлор Дж. и др. Уравнение состояния твердых тел по результатам исследований ударных волн // Высокоскоростные ударные явления. М.: Мир, 1973. С. 299–427.
3. Зельдович Я. Б., Райзер Ю. П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Наука, 1966.
4. Полиморфные модификации углерода и нитрида бора: Справ. издание / А. В. Курдюмов и др. М.: Metallurgia, 1994.
5. Powder Diffraction File. Inorganic Phases. Alphabetical Index. ICDD, USA, 1983.
6. Самсонов Г, В., Упадхя Г. Ш., Нешпор В. С. Физическое материаловедение карбидов. Киев: Наук. думка, 1974.

Поступила в редакцию 14/V 1997 г.
