

лее высокую жидкотекучесть и небольшое шлакообразование. При этом обеспечивается повышение прочностных характеристик на 15...23 % и жаропрочности на 40...50 %.

Все это позволяет рекомендовать добавки сурьмы (до 0,3 %) в качестве модификатора длительного действия в силуминах.

УДК 621.785:536.46

С.А. АСТАПЧИК, В.С. ГОЛУБЕВ, И.С. ЧЕБОТЬКО

УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЗЦОВ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОГО СИНТЕЗА

В настоящей работе рассматривается способ изменения свойств поверхностных слоев образцов из металлических материалов при применении метода лазерного поверхностного синтеза (ЛПС).

В настоящее время имеется ряд работ по исследованию термохимического действия лазерного излучения [1]. На поверхности образцов из металлов были синтезированы соединения материала подложки с неметаллами: кислородом, азотом, бором, углеродом и др. При этом в качестве реагента использовались газ под большим давлением [2], прозрачная жидкость [3] или порошковый материал в виде обмазки.

В последнее время также интенсивно развивалась теория и практика самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС-процесса), при использовании которого удалось получить широкий класс различных химических соединений. Весьма перспективно использование лазерного нагрева для инициирования или поддержания реакций типа СВС. Лазерное облучение является уникальным средством управления химическими реакциями.

К СВС-процессу относятся некоторые реакции горения, которые после этапа инициирования начинают самоподдерживаться или самоускоряться за счет выделения теплоты. Для реакций СВС характерна сильная зависимость скорости тепловыделения от температуры, т. е. они должны обладать большой энергией активации при значительном тепловом эффекте. Специфические особенности таких реакций описываются следующими условиями [4]:

$$\frac{RT}{E_a} \ll 1, \quad \frac{C(RT^2/E_a)}{Q} \ll 1,$$

где R – универсальная газовая постоянная; T – масштабная температура; E_a – энергия активации реакции; C – удельная теплоемкость; Q – тепловой эффект реакции.

СВС-процессу соответствует специфическое соотношение между мощностью тепловыделения и тепловыми потерями в реакции. Так, если тепловые потери велики, что характерно для опытов, где обеспечен отвод теплоты, нестехиометрических смесей, реакций с небольшим тепловым эффектом ($Q \ll \ll CRT^2/E_a$), самораспространяющийся синтез реализовать не удастся. Если же реакция протекает в поле внешнего теплового источника, интенсивностью

которого можно управлять, то процесс синтеза осуществляется практически всегда.

Сравним схемы реализации СВС-процесса и ЛПС. Для СВС-процессов обычно применяются образцы, спрессованные из смеси порошков. Иницирование реакции ведется с поверхности образца с мощностью $40 \dots 500 \text{ Вт/см}^2$ в течение $0,05 \dots 5 \text{ с}$, после чего по образцу распространяется волна синтеза со скоростью $0,5 \dots 15 \text{ см/с}$. Температура на фронте волны при этом составляет $1500 \dots 4000 \text{ }^\circ\text{C}$ [4]. При ЛПС на поверхность металла наносится тонкий слой ($50 \dots 200 \text{ мкм}$) смеси порошков. Реакция синтеза инициируется лазерным излучением, изменяя параметры которого можно управлять скоростью волны синтеза и температурой на ее фронте. Кроме того, при ЛПС зона синтеза может быть локализована до размеров $\sim (5 \dots 10) 10^{-2} \text{ см}^2$, а геометрия области, в которой произошел синтез, может быть практически любой. В общем случае реагенты как при СВС-процессе, так и при ЛПС могут использоваться не только в виде порошков, но и в виде газообразных или жидких сред.

Была проведена экспериментальная проверка возможностей ЛПС. На первом этапе изучался процесс образования интерметаллидов, в частности при инициировании лазерным излучением реакций в системах Al-Ni , Al-Cu , процесс синтеза боридных фаз на поверхности титана и циркония и др. Исследование поверхностных слоев подтвердило возможность значительного изменения их свойств. Были установлены факторы, определяющие структуру и свойства полученных слоев, существенно влияющие на ход процесса: атмосфера, в которой осуществляется обработка, толщина покрытия и способ нанесения порошка, дисперсность частиц и состав смеси, режим лазерной обработки, геометрия фокусировки лазерного излучения и др.

В дальнейшем на образцах из сплавов на основе Ti , Zr , Al , Fe были получены слои с регламентированной микротвердостью до 12 ГПа и толщиной от 50 до $300 \dots 500 \text{ мкм}$, а в некоторых случаях до $1 \dots 1,5 \text{ мм}$. Использование смесей с добавлением материала основы, например титана, позволяло в широких пределах изменять твердость, получать более однородные слои, снижать их хрупкость. Последующая лазерная обработка в среде инертного газа также способствовала повышению качества поверхностных слоев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бункин Н.А., Кириченко Б.С., Лукьянчук Б.С. Термохимическое действие лазерного излучения // УФН. – 1982. – Т. 138. – Вып. 1. – С. 34 – 110. 2. Углов А.А., Горбач А.Ф. и др. Лазерно-плазменный синтез карбидных соединений тугоплавких металлов в углеродосодержащих средах // ФХОМ. – 1986. – № 2. – С. 3–8. 3. Астапчик С.А., Хатько Т.Н. Лазерный синтез нитридных фаз на поверхности титана и его сплавов // Вестн АН БССР. Сер. физ.-техн. наук. – 1986. – № 3. – С. 30–33. 4. Мержанов А.Г. СВС-процесс: теория и практика горения. – Черноголовка: ОИХФ АН СССР. – 1980. – 31 с.