

/ О. Г. Глотов, В. Е. Зарко, В. В. Карасев // Физика горения и взрыва. 2000. Т. 36. № 1. С. 161–172.

13. Глотов, О. Г. Конденсированные продукты горения алюминизированных топлив II. Эволюция частиц при удалении от поверхности горения / О. Г. Глотов // Физика горения и взрыва. 2000. Т. 36. № 4. С. 66–78.

14. Glotov, O. G. Agglomerate and Oxide Particles Generated in Combustion of Al<sub>x</sub> Containing Solid Propellants / O. G. Glotov, V. E. Zarko, M. W. Beckstead // Proc. of 31th Int. Annual Conf. of ICT Energetic materials: Analysis, Diagnostics and Testing. Federal Republic of Germany, Karlsruhe, 2000. Report P 130. 14 pages.

15. Hori, K. Study of the combustion residues for Mg/Al solid propellant / K. Hori, O. G. Glotov, V. E. Zarko, H. Habu, A. M. M. Faisal, T. D. Fedotova // Proc. of 33th Int. Annual Conference of ICT Energetic Materials: Synthesis, Production and Application. Federal Republic of Germany, Karlsruhe, 2002. Report P 71. 14 pages.

16. Глотов, О. Г. Закономерности движения и эволюции алюминиевых агломератов в продуктах горения модельного топлива / О. Г. Глотов, В. В. Карасев, В. Е. Зарко, Т. Д. Федотова // Химическая физика процессов горения и взрыва : тр. XII симпозиума по горению и взрыву. Ч. I. Черноголовка, 2000. С. 36–37.

G. G. Krushenko

## SUPERDISPERSED ALUMINUM AS HIGH-ENERGY FUEL

*The advantages of superdispersed aluminum as high-energy fuel are shown.*

*Keywords: superdispersed aluminum, high-energy fuel.*

УДК 629.19.22

В. Н. Саунин, С. В. Телегин, В. П. Ковалькова

## КВАЗИКРИСТАЛЛЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ, СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ

*Рассмотрены особенности структуры квазикристаллических материалов, дано определение квазикристалла. Приведены области применения и способы синтеза квазикристаллических структур, наиболее перспективным из которых является метод плазменного напыления.*

*Ключевые слова: квазикристаллы, структура, плазмотрон.*

Открытие квазикристаллов [1] с икосаэдрической структурой [2] в 1984 г. опровергает некоторые устоявшиеся научные теории и воззрения, касающиеся синтеза новых материалов. Квазикристалл – высокоорганизованная твердотельная фаза, в корне отличная по своим свойствам от кристаллов, стекол и всего, что было известно ранее. Необычайные свойства квазикристаллов, их высокая механическая прочность объясняются отсутствием периодичности структуры, что приводит к замедлению распространения дислокаций по сравнению с обычными кристаллическими материалами. Благодаря уникальным сочетаниям физических свойств, квазикристаллы являются перспективными материалами в изделиях аэрокосмической, ракетной, приборостроительной и энергетической отраслях промышленности. Наиболее перспективно применять их в форме нанообъектов – в виде покрытий, ультрадисперсных наполнителей при создании композиционных материалов и ультрадисперсных модификаторов.

Получение квазикристаллов и квазикристаллических фаз сопряжено с большими скоростями перехода из жидкого или газообразного состояния в твердое. При этом скорость охлаждения при затвердевании находится в интервале температур  $10^4 \dots 10^6$  Гр/с.

К одному из наиболее перспективных направлений изготовления изделий из квазикристаллических материалов следует отнести метод плазменного напыления.

В лаборатории аморфных и нанокристаллических материалов «Вулкан» разработана полуавтоматическая установка для напыления квазикристаллических покрытий (рис. 1).

Основным элементом схемы является плазмотрон – источник плазменной струи, на который работают все системы, обеспечивающие заданные параметры напыления, такие как

$T_{\text{ч}}$  и  $V_{\text{ч}}$  – температура и скорость частиц над поверхностью детали;

$T_{\text{пс}}$  и  $V_{\text{пс}}$  – температура и скорость плазменной струи;

$V_{\text{п}}$  – скорость передвижения пятна напыления;

$V_{\text{пл}}$  – скорость перемещения плазмотрона;

$V_{\text{д}}$  – скорость перемещения поверхности детали относительно плазмотрона;

$T_{\text{п}}$  – температура покрытия.

Основные параметры напыления определяются конструктивными особенностями плазмотрона, системой охлаждения покрытия, атмосферой камеры и зависят от выходных значений вспомогательных систем:  $W_{\text{п}}$  – мощности, подводимой к плазмотрону;  $G_{\text{пог}}$  – расхода плаз-

мообразующего газа;  $G_p$  – расхода порошка;  $G_{Tг}$  – расхода транспортирующего газа.

Стабильность значений вспомогательных систем, контроль параметров, управление блоками и механизмами осуществляются от соответствующих систем управления и контроля.

На данной установке получены квазикристаллические покрытия с управляемым соотношением фаз и высокими физико-механическими свойствами (рис. 2).

Плазматрон Саунина с газодинамическим соплом [3] устанавливается на дистанции  $L = 120$  мм от детали, имеющей замкнутую криволинейную поверхность (коническая поверхность, переходящая в сферическую). Внутрен-

няя поверхность детали охлаждается водой с расходом  $0,05$  л/с на  $1 \text{ см}^2$ . Материал детали – сплав алюминия АМГ-6. Порошок состава  $Al_{65}Cu_{22}Fe_{13}$  с расходом  $2$  г/с транспортирующим газом (аргоном) подается в плазматрон, нагревается до температуры плавления в плазменной струе мощностью  $12$  кВт и со скоростью  $150$  м/с переносится на деталь. Указанные параметры напыления соответствуют коэффициенту использования порошка:  $KИП = 80\%$ . В дальнейшем температура в пятне напыления будет определяться скоростью взаимного перемещения плазматрона и детали [4]. Для определения оптимального интервала температур в пятне напыления, соответствующего максимальному объему квазикристалличес-

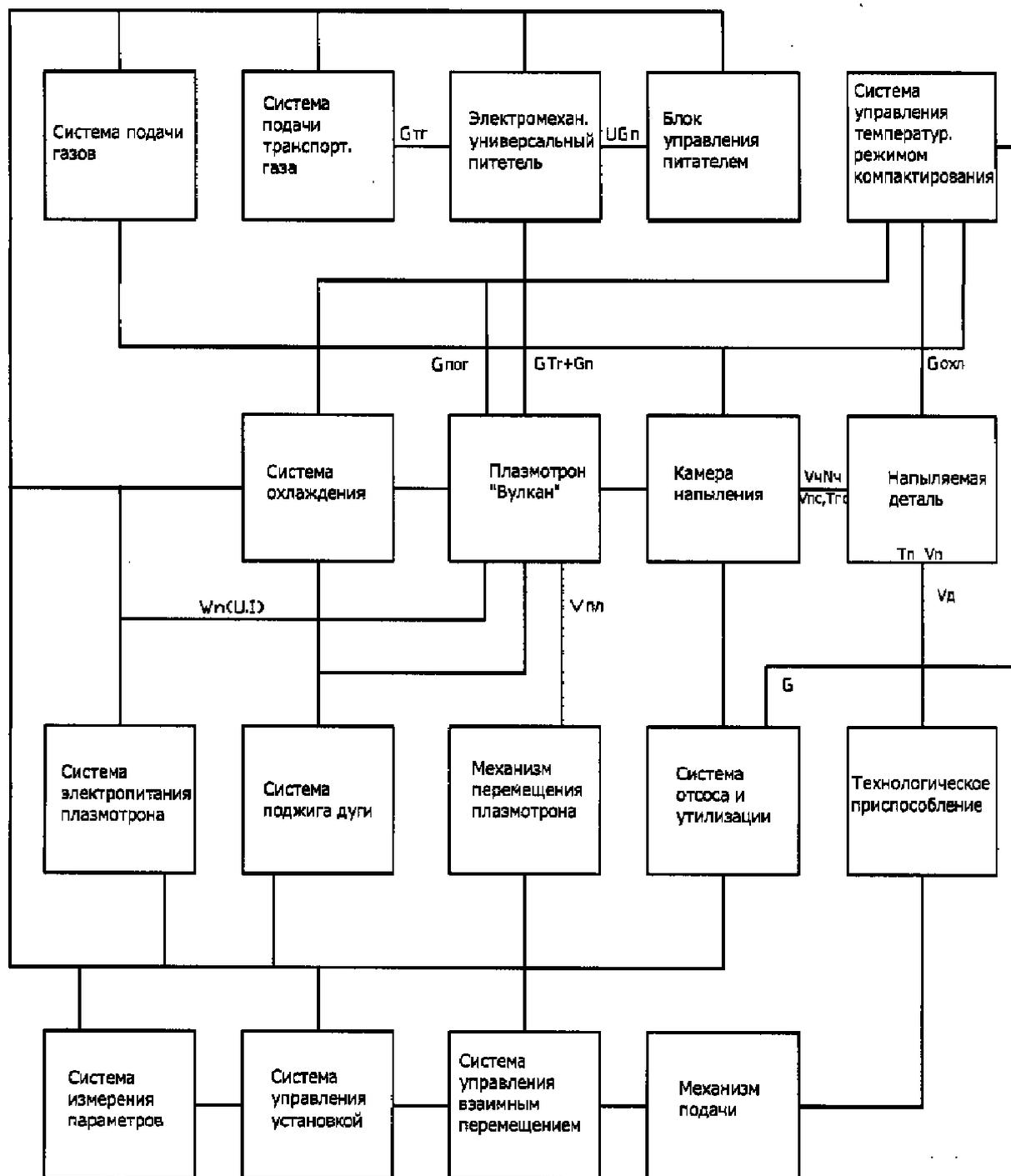


Рис. 1. Структурная схема установки

кой фазы в напыляемом покрытии, было проведено 3 эксперимента с различной скоростью взаимного перемещения напыляемой поверхности и плазменной струи.

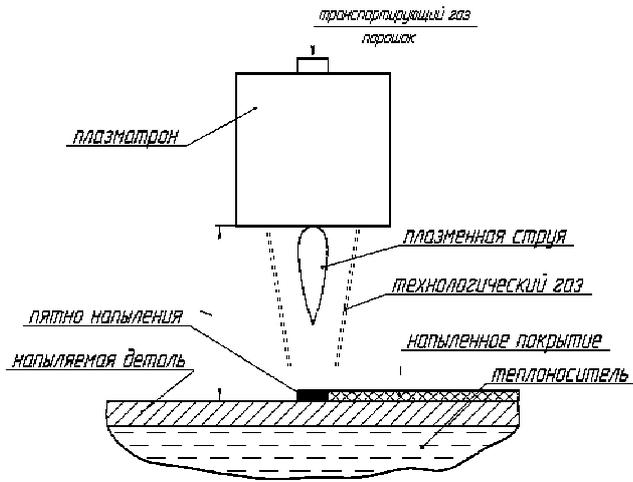


Рис. 2. Схема установки формирования массивных квазикристаллических покрытий

В первом эксперименте скорость взаимного перемещения устанавливалась равной 50 мм/с, во втором – 30 мм/с, в третьем – 10 мм/с, что соответствовало температуре в пятне напыления, составляющей 500 °С, 700 °С, 880 °С (рис. 3), доля объемной квазикристаллической фазы в покрытиях рассчитывалась по данным рентгенофазового анализа (РФА) (рис. 4). Результаты анализа дифрактограмм показывают, что основные пики интенсивности спектра лежат в диапазоне углов  $2\theta$  42° и 46°, а структура покрытий неоднородна и состоит из смеси двух фаз: квазикристаллической (ш) и кубической (в).

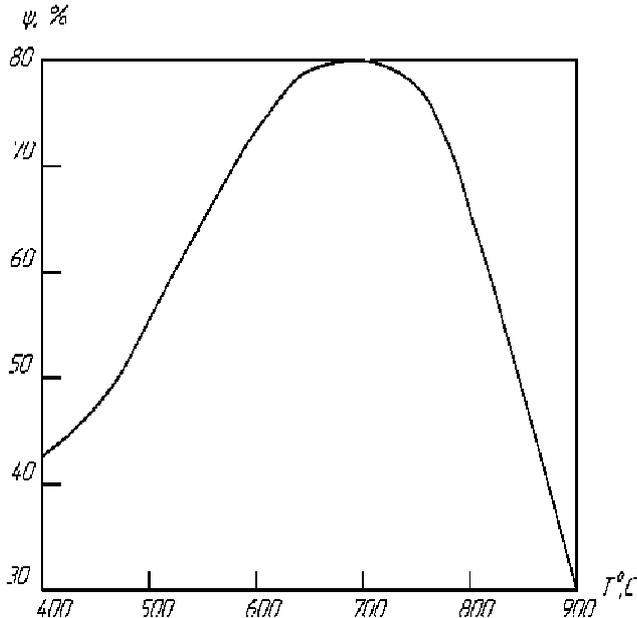


Рис. 3. Зависимость содержания квазикристаллической фазы в покрытиях от температуры в пятне напыления

На графике зависимости процентного содержания квазикристаллической фазы в покрытиях от температуры в пятне напыления (рис. 3) видим, что повышение температуры в пятне напыления, начиная с T 400 °С, приво-

дит к увеличению доли квазикристаллической фазы, которая достигает максимальной величины при T 700 °С, после чего уменьшается на 33 % при T 880 °С.

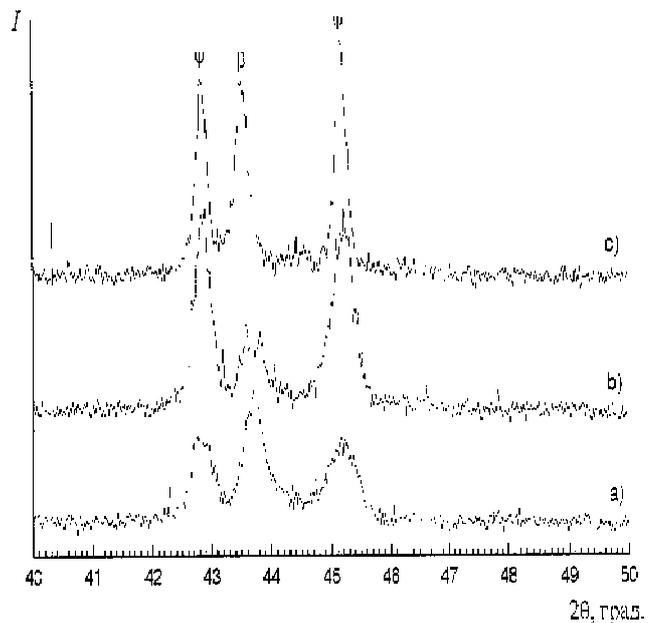


Рис. 4. Рентгенограммы плазмонапыленного покрытия при различных температурах в пятне напыления:

а – 500 °С; б – 700 °С; в – 880 °С

1. Материал, содержащий икосаэдры, имеющие симметрию пятого порядка, в каждой вершине которого соединены пять граней, представляет собой квазикристаллическую икосаэдрическую структуру.
2. Благодаря уникальным сочетаниям физико-механических свойств, квазикристаллы являются перспективными материалами в изделиях аэрокосмической, ракетной, приборостроительной и энергетической отраслях промышленности.
3. Наиболее перспективным способом формирования массивных квазикристаллических материалов и покрытий является метод плазменного напыления.
4. Для получения максимальной объемной доли квазикристаллической икосаэдрической фазы в покрытии необходимо, чтобы температура в пятне напыления лежала в интервале значений от 700 до 750 °С.

#### Библиографический список

1. Shechtman, D. Metallic phase with long-range orientational order and translational symmetry / D. Shechtman, I. Blech, D. Gratias, I. W. Cahn // Phys. Rev. Letters. 1984. Vol. 53. P. 1951–1953.
2. Нельсон, Д. Р. Квазикристаллы / Д. Р. Нельсон // В мире науки (Sci. Amer.). 1986. № 10. С. 19–28.
3. Пат. РФ № 2276840 МПК H05H1/26, C23C4/00. Электродуговой плазматрон Саунина / В. Н. Саунин ; опубли. 20.05.2006. Бюл. № 14.
4. Патент РФ № 2335574 МПК: C22C1/04, C22C21/12. Способ получения квазикристаллического сплава в виде покрытия / В. Н. Саунин, С. В. Телегин, В. П. Ковалькова ; опубли. 10.10.2008. Бюл. № 28. С. 5.

V. N. Saunin, S. V. Telegin, V. P. Kovalkova

## QUASI CRYSTALS, PROSPECTS OF USING, WAYS OF PRODUCTION

The properties of quasi crystal material structure are described. The term «quasi crystal» is defined. The application area and synthesis method of quasi crystal structure is given. The plasma spaying synthesis method is the most perspective one.

Key words: quasi crystal, structure, plasma spaying.

УДК 669.2.017:620.18

Ф. В. Гречников, Е. А. Носова, О. Г. Савельева

## ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ДЕФОРМАЦИЮ ОТДЕЛЬНЫХ ФАЗ В СПЛАВАХ АМГ10 И Д16

Рассмотрен характер изменения степени деформации зерна и вторичных включений в зависимости от различных режимов термической обработки сплавов систем Al – Mg и Al – Cu на различных участках очага пластической деформации.

Ключевые слова: деформация зерна, термическая обработка, вторичные включения.

Развитие промышленности требует получения особых свойств в высокотехнологических конструкциях, что приводит к созданию специальных материалов, в том числе удовлетворяющих требованиям машиностроителей и технологов. На сегодняшний день перспективным направлением создания наноматериалов является интенсивное деформирование сплавов в сочетании с разработкой режимов предварительного и последующего термического воздействия. Алюминиевые сплавы по структуре [1] остаются одними из наиболее популярных конструкционных материалов как в авиации и ракетостроении, так и в общем машиностроении, строительстве и других отраслях промышленности. Получение заданных свойств в алюминиевых сплавах при возникновении субмелкозернистой структуры и моделирование процессов их пластической деформации требуют знания поведения свойств структурных составляющих, образующих структурно-фазовый состав материала. Так как характер пластической деформации напрямую зависит от вида термической обработки, необходимо установить характер пластической деформации в твердом растворе и отдельных фазах сплава в зависимости от режимов термической обработки [2].

Для исследования были выбраны сплавы системы Al–Mg (АМГ10) и системы Al–Cu (Д16). Выбор исследуемых сплавов основан на сходстве фазового состава сплавов. Сплавы Д16 и АМГ10 при комнатной температуре имеют двухфазный состав: сплав АМГ10 –  $\alpha + \theta$ , сплав Д16 –  $\alpha + \beta$  [3]. Для исследования структуры сплавов после различных режимов термической обработки использовались пятикратные плоские образцы, отвечающие ГОСТ 1497–84 на механические испытания. На образцах делались засечки с расстоянием 5 мм (на каждом образце получилось по 8 засечек) (рис. 1) для дальнейшего наблюдения изменений формы, размера зерен и включений в структуре сплавов как в очаге деформаций, так и на участках без деформации.

Затем из образцов изготавливали шлифы. По фотографиям со структурой образцов (рис. 2, 3) при различном состоянии поставки осуществлялся замер длины (L), ширины (B) зерен и включений на каждом размеченном участке.

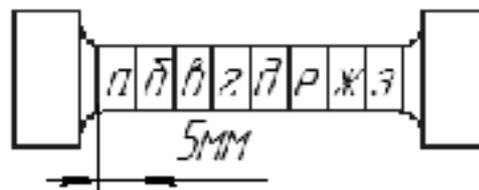


Рис. 1. Сечения на цилиндрическом образце

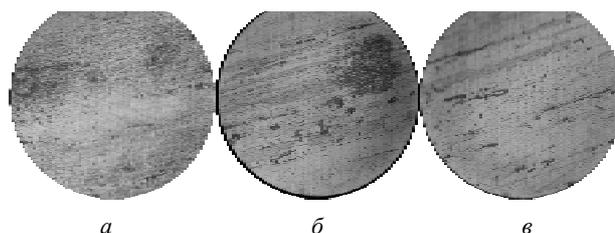


Рис. 2. Микроструктура образца сплава Д16 в сечении, соответствующем очагу деформации (г): а – отожженное состояние, б – в закаленное и состаренное состояние, в – закаленное и перестаренное состояние

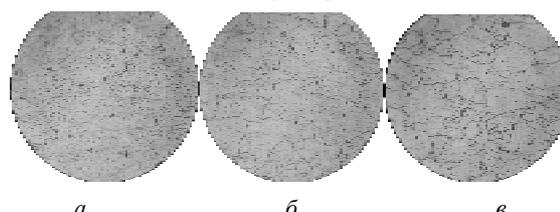


Рис. 3. Микроструктура образца сплава АМГ10 в сечении, соответствующем очагу деформации (г): а – отожженное состояние, б – в закаленное и состаренное состояние, в – закаленное и перестаренное состояние