

МАГНИТ ГОЛОВКИ НАВЕДЕНИЯ НЗК

1. Введение

Надежность работы носимого зенитного комплекса (НЗК) зависит от способности магнита головки наведения отражать без искажений тепловой луч, исходящий от подлежащего поражению объекта.

Магнит изготавливается из сплава ЮНДК24, имеет сферическую поверхность, полированную до $R_a=0,04$ мкм, которая должна иметь коэффициент отражения «К» не менее 0,9. В связи с тем, что рабочие температуры головки наведения от $(+60^{\circ}\text{C}$ до $(-180^{\circ}\text{C}$, сохранить необходимый коэффициент отражения без специального защитного покрытия не удастся, т.к. даже запотевание сферической поверхности магнита снижает «К» до величин 0,8...0,76.

Экспериментально установлено: заданным условиям отвечает нанесенное вакуумно-плазменным способом покрытие нитрида циркония толщиной до 0,4 мкм и твердостью 19 ГПа, имеющее при установленных перепадах рабочих температур коэффициент отражения $K=0,92$.

2. Основной материал

В общем случае при осаждении покрытий вакуумно-плазменным способом разогрев поверхности для обеспечения надежной адгезии покрытия осуществляется ионной бомбардировкой. Однако несмотря на то, что энергия ионов не превышает 1,7 кэВ, процесс бомбардировки сопровождается растравливанием поверхности, на которую затем наносят покрытие, из-за чего ее шероховатость увеличивается на 1...1,5 класса, а значит и снижается отражающая способность. В связи с этим при нанесении покрытий с высокой

отражающей способностью ионная бомбардировка должна быть исключена, а необходимая для адгезии температура может быть получена благодаря применению стола косвенного подогрева деталей (объемный нагрев). Причем нагрев любого магнитного сплава, как ионной бомбардировкой, так и нагревательными устройствами не должен превышать температуру, выше которой самопроизвольно исчезает намагниченность ферромагнитных областей в ферромагнитном кристалле и ферромагниты переходят в парамагнитное состояние (точка Кюри). В данном случае магнитный сплав ЮНДК24 состоит из 8 % алюминия; 14 % никеля; 3 % меди; 24 % кобальта, остальное железо. Точки Кюри для ферромагнитных материалов сплава ЮНДК24: кобальт – 1121 °С; железо – 769°С; никель – 364 °С. Кобальт несколько повышает точку Кюри сплава, почему и вводится в состав магнитного сплава не только за счет железа, но и за счет части никеля и алюминия [1]. Тем не менее температура нагрева ЮНДК24 не должна превышать 400 °С...420 °С. При этом покрытие не должно как отслаиваться от подложки, так и не растрескиваться под действием технологических и эксплуатационных напряжений. Это значит, что адгезия покрытия должна быть выше его предела прочности:

$$\sigma_{ад} > \sigma_{\sigma}.$$

Величина σ_{σ} складывается из:

$$\sigma_{\sigma} = \sigma_t + \sigma_{вн},$$

где σ_t – температурные напряжения;

$\sigma_{вн}$ – внутренние (остаточные) напряжения.

Температурные напряжения в покрытии вызываются различием коэффициентов теплового расширения материалов покрытия и подложки. Если принять независимость упругих и тепловых характеристик покрытия и подложки от температуры, напряжения в покрытии определяются из выражения:

$$\sigma_t = \frac{E \cdot E_0 \cdot (\alpha - \alpha_0) \cdot \Delta T}{\frac{h}{H} \cdot E(1 - \mu_0) + E_0(1 - \mu)},$$

где E_0 , μ_0 , α_0 – модуль Юнга, коэффициент Пуассона и коэффициент термического расширения материала подложки;

E , μ , α – то же слоя покрытия;

h – толщина покрытия;

H – толщина подложки.

Остаточные (внутренние) напряжения твердого нитридного покрытия определяются методом двух съемок по формуле:

$$\sigma_{вн} = \frac{E}{1 + \mu} \cdot \frac{d_{\psi=45^\circ} - d_{\psi=0^\circ}}{d_{\psi=0^\circ}} \cdot \frac{1}{\sin^2 \psi = 45^\circ},$$

где E – модуль Юнга химического соединения (покрытия);

μ – коэффициент Пуассона;

$d_{\psi=0^\circ}$ – межплоскостное расстояние при $\psi = 0^\circ$;

$d_{\psi=45^\circ}$ – межплоскостное расстояние при $\psi = 45^\circ$;

(условия съемки под углом, когда $\theta \neq \alpha$);

Угол ψ находится из выражения $\theta - \alpha$,

где θ – брегговский угол отражения CoK_α - излучения;

α – угол скольжения первичного рентгеновского луча относительно плоскости исследуемого образца.

Приняв модули Юнга $E = 400 \text{ ГПа}$, $E_0 = 80 \text{ ГПа}$, коэффициент Пуассона $\mu = 0,24$, коэффициент температурного расширения $\alpha = 7,24 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, $\alpha_0 = 6,45 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, то внутренние (остаточные) напряжения в покрытии составят величину 1070 МПа, а температурные – 1300 МПа. Тогда предел прочности покрытия нитрида циркония составит величину $\sigma_e = 2370 \text{ МПа}$.

Полученные вакуумно-плазменным способом нитриды циркония имеют структуру, обладающую резко выраженным столбчатым строением с наличием

внедрившихся частиц испаряемого циркония и состоящую из $78,7 \pm 0,8$ % долевой массы металла, что соответствует стехиометрии.

Анализ и расшифровка рентгенограмм, полученных непосредственно с покрытия показал, что оно имеет фазовый состав в основном из кубического нитрида циркония ГЦК решетки с параметром $4,585 \text{ \AA}$ и незначительного количества гексагонального α – металла (1,0...1,5%). Нитриду циркония в основном принадлежат две линии первого и второго порядка, из которых первая имеет очень сильную интенсивность. Такое anomальное распределение интенсивности интерференционных линий наблюдается только у монокристалла.

По интенсивности интерференционных линий обнаруженного α -циркония его структуру можно отнести к поликристаллу.

Из этого можно предположить, что формирование покрытий происходит не на пути пробега частиц к подложке, а непосредственно на поверхности образцов.

Несколько завышенный параметр решетки полученного нитрида циркония (стехиометрический состав $4,573 \text{ \AA}$) свидетельствует о неравномерном состоянии конденсата и, как следствие, покрытие имеет высокие остаточные напряжения (сжимающие).

Так как покрытие формируется непосредственно на поверхности магнита, температура которой не превышает $420 \text{ }^\circ\text{C}$, когда диффузионные процессы еще недостаточно активизированы, предел прочности нитрида циркония может превысить прочность адгезии.

Так как приращение напряжений с изменением температуры у циркония значительно меньше, чем у нитрида циркония (при температуре $50 \text{ }^\circ\text{C}$ напряжение в слое циркония 80 МПа , нитрида циркония – $260 \text{ }^\circ\text{МПа}$; при $200 \text{ }^\circ\text{C}$ – 250 МПа и 800 МПа соответственно). В связи с этим целесообразно нанесения промежуточного слоя покрытия циркония, который будет препятствием развития трещин при термоударах и в котором благодаря

пластичности циркония снизятся силы сдвига на границе полированной поверхности магнита и нитридного покрытия.

Комбинированное покрытие Zr – ZrN наносится на сферическую поверхность магнитов головки наведения в вакуумно-плазменных установках, оснащенных столом косвенного нагрева изделий, изготовленных из кварцевого стекла, в который встроен термоэлектронагреватель, обеспечивающий равномерный нагрев магнитов до температуры 400 °С.

Осаждение циркония толщиной 0,05 мкм осуществляется при давлении в вакуумной камере $(1,33...6,65) \cdot 10^{-3}$ Па и токе дуги 130 А; нитрида циркония толщиной 0,3 мкм – при давлении $3,39 \cdot 10^{-1}$ Па, которое создается напуском азота. Общая толщина комбинированного покрытия не должна превышать 0,4 мкм, так как при большой толщине коэффициент отражения уменьшается. В связи с этим время нанесения покрытия не более 90...95 секунд.

Во избежание окисления магниты охлаждаются в вакуумной камере до температуры 80 °С...90 °С.

Выводы

Замена ионной бомбардировки вакуумно-плазменного способа объемным нагревом позволяет наносить с надежной адгезией комбинированное покрытие цирконий – нитрид циркония общей толщиной 0,35...0,4 мкм с коэффициентом отражения 0,9...0,92, что позволило разработать эффективно работающую головку наведения носимого зенитного комплекса [2].

Список использованных источников:

1. Займовский А. С. Магнитные материалы / А. С. Займовский, Л. А. Чудневская. – [3-е изд.]. – М.; Л., 1957.
2. А. с. 225771 СССР. Магнит управления / Этингант А.А., Корабельников А.А., Горелик В.М., Воронов В.Ф., Пылинин О.В., Рохленко А.М., Колобов В.К.

Мовшович А.Я., Этингант А.А., Этингант А.И. «Магнит головки наведения НЗК».

В статье установлено, что надежность работы носимого зенитного комплекса в большей степени зависит от способности магнита головки наведения отражать без искажения тепловой луч поражаемого объекта. Указано, что этим условиям в большей степени отвечает вакуумно-плазменное покрытие на основе нитрида циркония, наносимое на рабочие поверхности деталей, приведена техническая характеристика состава покрытия и технология его нанесения.

Ключевые слова: зенитный комплекс, надежность, вакуумно-плазменное покрытие, ионная бомбардировка.

Мовшович О.Я., Етингант О.О., Етингант О.І. «Магніт голівки наведення НЗК».

В статті встановлено, що надійність роботи носівного зенітного комплексу в більшому ступені залежить від здатності магніту голівки наведення відбивати без викривлення тепловий промінь об'єкту, що вражається. Вказано, що цим умовам в більшому ступені відповідає вакуумно-плазмові покриття на основі нітриду цирконію, що наноситься на робочі поверхні деталей, приведена технічна характеристика складу покриття та технологія його нанесення.

Ключові слова: зенітний комплекс, надійність, вакуумно-плазмові покриття, іонне бомбардування.

Movshovich A.Y., Etingant A.A., Etingant A.I., “Magnet of the guidance head of PAAS”.

In the article that the reliable performance of portable anti-aircraft system in a large measure turns from ability of magnet of the guidance head to reflect without deformation the heat ray of strike object is ascertained. It is showed that vacuum-plasma coverage on basis of nitride zirconium that is coated on the detail working

surfaces in a large measure is correspond to this conditions; the technical feature of coverage composition and it coverage technique are given.

Key words: anti-aircraft system, reliable, vacuum-plasma coverage, ion bombardment.

Стаття надійшла до редакції 12 грудня 2012 р.