

УДК 621.31

Г.И. Костюк, В.Н. Павленко, М.Э. Суккариех

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

ПРИМЕНЕНИЕ ПОКРЫТИЙ И УПРОЧНЕННЫХ СЛОЕВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ДЕТАЛЕЙ АВИАДВИГАТЕЛЕЙ

Исходя из условий работы деталей авиадвигателей предлагаются: покрытия из карбидов, нитридов, оксидов, боридов, диборидов, и силицидов; ионная имплантация, легирование, комбинирование, упрочнение, а также применение наноструктур и нанопокрывтий.

Ключевые слова: наноструктуры, нанопокрывтия, упрочненные слои, конструкции авиадвигателей.

Введение

Перспективы развития авиадвигателестроения органично связаны с решением двух проблем: повышение ресурса и увеличение КПД его за счет повышения температур в камере сгорания. Ведущие фирмы мира начинают решать эти проблемы за счет износостойких покрытий, нанопокрывтий и различных видов упрочнений, включая комбинированное упрочнение, повышая износостойкость, эрозионную и коррозионную стойкость, позволяющие продлить ресурс, а применяя жаропрочные, теплостойкие покрытия и материалы, позволяющие повысить температуру газов в камере сгорания, а, следовательно, КПД двигателя.

Применению покрытий и различных видов упрочнений посвящены работы [1 – 4].

Использование нанопокрывтий и поверхностей с наноструктурами рассматривались в работах [3 – 4].

Анализ этих источников показал, что различные покрытия и наноструктуры могут быть использованы в деталях авиадвигателестроения для повышения их ресурса и общего КПД двигателя за счет повышения рабочей температуры.

Результаты исследований

На рис. 1 представлены возможные покрытия наноструктур или виды упрочнений, которые можно применять для повышения ресурса и КПД авиадвигателей за счет повышения температуры в камере сгорания и на турбине. Проведем анализ представленных данных на рис. 1:

1. Опора и подшипник (роликовый), необходимо повышение износостойкости, снижение коэффициента трения: покрытия – $0,2\text{HfN}+0,8\text{ZrN}$ (повышение ресурса роликов в 5 раз, $H_m=35$ ГПа) алмазоподобное нанопокрывтие nc-WC/DLC/nc-WS_2 , $f=0,03-0,07$, $H_m=30$ ГПа.

2. Входной направляющий аппарат компрессора: повышение эрозионной стойкости – покрытия (многослойные $\text{TiN}+\text{Ti}+\text{AlN}+\text{Al}$, $H_m=27$ ГПа, наноструктурные $\text{Co}+6\%\text{WC}$ с высокими КСИ = $4,2$ Дж/см², $\mu=0,77$ $H_m=24$ ГПа и TiN/Cu , $\mu=0,63$, $H_m=40$ ГПа).

3. Лопатки компрессора и статоров: повышение эрозионной и кавитационной стойкости – покрытия (многослойное $\text{BN}+\text{Ti}+\text{TiN}+\text{Ti}$, ($H_m=29$ ГПа) или $0,2\text{HfN}+0,8\text{ZrN}$ ($H_m=35$) ГПа или комбинированное упрочнение: $\text{ZrN}+\text{Zr}+\text{ЛМод.}$), наноструктурные Ti-Si-B-N с прослойкой Ti , $H_m=50$ ГПа.



Рис. 1. Покрытия, наноструктуры или виды упрочнений, которые можно эффективно использовать для повышения ресурса и увеличения КПД авиадвигателя

4. Диски компрессора, корпус, распорные детали, валы: защитные покрытия TiO_2 с низким коэффициентом трения, для рабочих частей валов - покрытия Mo_2N+MoS или наноструктурное алмазоподобное nc-WC/DLC/nc-WS₂, $f=0,07$;

5. Опора и подшипники: снижение коэффициента трения и повышение износостойкости – покрытия $0,2HfN+0,8ZrN$, комбинированное упрочнение $ZrO+MoS+Zr+LMод.$ или наноструктурное nc-WC(DLC/nc-WS₂ $f=0,03-0,07$, $H_m=30ГПа$);

6. Корпус диффузора: коррозионностойки – покрытия ZrO_2 или Al_2O_3 ;

7. Топливный коллектор: коррозионная стойкость – покрытия ZrO_2 или Al_2O_3 ;

8. Камера сгорания: температуростойкость, критерии выбора максимальная температура плавления и максимальная энергия сублимации по этим критериям – наилучшие покрытия HfC покрытия Al_2O_3 ($T_{пл}=2473$ К, $\Delta H=1642$ КДж/моль) TaC ($T_{пл}=4258$ К, $\Delta H=144,48$ КДж/моль), WC ($T_{пл}=3058$ К, $\Delta H=3511$ КДж/моль), ZrO ($T_{пл}=3171$ К, $\Delta H=550$ КДж/моль), HfB ($T_{пл}=3527$ К), HfSi ($T_{пл}=2870$ К), Hf₅Si₃ ($T_{пл}=2750$), TaSi ($T_{пл}=2770$ К), HfC ($T_{пл}=4163$, $\Delta H=226,56$ КДж/моль);

Наноструктуры – TiN/AlN (пл), $H_m=32,85$ и Траб >1006; $0,25 TiB+0,75 TiN$ (пл) (Траб >1000К, $H_m=52-58$ ГПа);

9. Корпус камеры сгорания: температуростойкость покрытия Al_2O_3 и Ta₅Si₃;

Наноструктуры -nsTiN/ α -Si₃N₄ (пл) (Траб>1141 К, $H_m=52$ ГПа);

10. Форсунки: коррозионная стойкость, теплоустойчивость и износостойкость – покрытия ZrO ($T_{пл}=2248$ К, $\Delta H=550$ КДж/моль) и Al_2O_3 ($T_{пл}=2474$ К, $\Delta H=1642$ КДж/моль);

Наноструктуры: ncTiN/ α -Si₃N₄ (пл) ($H_m=34,94$ ГПа);

11. Корпус турбины: теплоустойчивость – покрытия W+V+It (Траб =2000 К), TaC ($T_{пл}=4258$ С), HfB ($T_{пл}=3527$ К), Al_2O_3 ($T_{пл}=2423$ К);

12. Лопатки турбины: жаростойкость, термостойкость, обеспечение за счет покрытий сжимающих напряжений на поверхности за счет компенсации изгибных растягивающих на рабочей поверхности лопатки – трехслойное покрытие $Al_2O_3+Ta_2C+HfB_2$ снижает динамические растягивающие напряжения на поверхности более чем в 5 раз, $T_{пл}=3527$ К или $ZrO_2+Cr_{23}C_6$; и $0,40ZrN+0,1HfN+0,5TiN$ снижают динамические напряжения около 6 раз ($T_{пл}=3171$ К), W+V+It

(Тр=2000К); наноструктуры:TiN/AlN (пл.); $H_m = 32$ ГПа, $T_{раб}=2000$ К;

13. Опора и подшипники: в зоне турбины необходима высокая износостойкость при высокой температуре, низкий коэффициент трения – покрытие $0,8ZrN+0,2HfN$ многослойное покрытие $W_2C+(0,5Ti_2B+0,6ZrB+WN)$, W+V+It;

Наноструктуры: ncTiN/ α -5TiN (пл) (Тр>1200К, $H_m=42,3$ ГПа);

14. Сопло: покрытия Al_2O_3 ($T_{пл}=2471$ К, $H_m=27$ ГПа), многослойное покрытие $Al_2O_3+Ta_2C+HfB$ снижает температурные растягивающие напряжения;

Наноструктуры: Ti-Al-Si-N ($H_m=48$ ГПа, Тр=2000К).

Выводы

Традиционные покрытия однослойные и многослойные проверены на сочетаемость в динамическом, или стационарном температурных режимах, на сочетаемость с основным материалом детали по методике [1], тогда как для наноструктур такие расчеты не проведены из-за отсутствия надежных данных по их теплофизическим и физико-механическим характеристикам, и поэтому применение наноструктур в конструкциях авиадвигателей еще остается проблематичным.

Список литературы

1. Костюк Г.И. Физические процессы плазменно-ионных, ионно-лучевых, плазменных, светолучевых и комбинированных технологий: моногр. / Г.И. Костюк. – К.: Изд-во АИИУ, 2002. – Кн. 1. – 587 с.
2. Костюк Г.И. Физические процессы плазменно-ионных, ионно-лучевых, плазменных, светолучевых и комбинированных технологий: моногр. / Г.И. Костюк. – К.: Изд-во АИИУ, 2002. – Кн. 2. – 442 с.
3. Костюк Г.И. Эффективный режущий инструмент: моногр. / Г.И. Костюк. – Х.: АИИУ, 2003. – 412 с.
4. Kostyuk G.I. The effective cutting tools having the coating and hardened layers: monograph-reference book / G.I. Kostyuk. – Kharkov: "KHAI", 2007. – 633 p.
5. Костюк Г.И. Наноструктуры и нанопокрительства: перспективы и реальность: учеб. пособие / Г.И. Костюк. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 2009, 403 с.

Поступила в редколлегию 18.11.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Х.В. Раковский, Харьковский университет Воздушных Сил им. М. Кожедуба, Харьков.

ЗАСТОСУВАННЯ ПОКРИТТІВ І ЗМІЦНЕНИХ ШАРІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ДЕТАЛЕЙ АВАДВИГУНІВ

Г.И. Костюк, В.Н. Павленко, М.Е. Суккарієх

Виходячи з умов роботи деталей авіадвигунів, пропонуються покриття з карбідів, нитридов, оксидів, бориду, диборидов, і силіцидів; іонна імплантація, легування, комбінування, зміцнення, а також застосування наноструктур і нанопокриттів.

Ключові слова: наноструктури, нанопокриття, зміцнені шари, конструкції авіадвигунів.

APPLICATION OF COVERAGES AND CONSOLIDATED LAYERS FOR INCREASE OF CAPACITY OF DETAILS OF AVIADVIGATELEY

G.I. Kostyuk, V.N. Pavlenko, M.E. Sukkariekh

Coming from the terms of work of details of aviadvigatelay offered: coverage from carbides, nitrides, oxides, and silicides; ionic implantation, alloying, combining, consolidating, and also application of nano-structures and nano-covering.

Keywords: nano-structures, nano-covering, consolidated layers, constructions of aero-engine.