

СВОЙСТВА И ПРИЛОЖЕНИЯ НА СПЛАВ Ti-6Al-4V

Петя Табакова, Анна Петрова

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mails: tangrascorp@gmail.com; ani@phys.bas.bg*

Ключови думи: Твърдост, модул на еластичност, плътност

Резюме: Сплав Ti-6Al-4V е една от най-често използваните титанови сплави с приложения, изискващи ниска плътност и химична стабилност в космическата и автомобилната индустрии. Използва се за направата на структурни части в двигателите, ракетни дюзи, пневматични части, лагери, катализатори и др. Намира приложения и в медицината за биомеханични изделия (импланти и протези).

Разгледани са физико-химичните свойства на този сплав и метод за подобряване на повърхностните ѝ характеристики.

PROPERTIES AND APPLICATIONS OF Ti-6Al-4V ALLOY

Petya Tabakova, Anna Petrova

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mails: tangrascorp@gmail.com; ani@phys.bas.bg*

Keywords: Hardness, elasticity, density

Abstract: One of the most commonly used titanium alloys with applications requiring low density and chemical stability in the aerospace and automotive industries is Ti-6Al-4V. It is used to make structural parts in engines, rockets nozzles, pneumatic parts, bearings, catalysts, etc. It also finds applications in medicine for biomechanical products (implants and prostheses).

The physico-chemical properties of this alloy are examined and a method for improving its surface characteristics.

Въведение

Сплав Ti-6Al-4V, наричана още TC4, Ti64 или ASTM клас 5, е титанова сплав с висока якост и устойчивост на корозия. Състои се предимно от титан с малки добавки от алуминий и ванадий. Разработена е през 1954 г. като материал за брони във военната промишленост, но за разлика от алуминиева сплав Б95, разработена 1950 г. и която не се използва днес, областите на приложенията на Ti-6Al-4V се разширяват.

Добавянето на алуминий и ванадий спомага допълнително за подобряване на механичните свойства на сплавта.

Тази сплав предлага високо съотношение якост/тегло, корозоустойчивост и добра биосъвместимост. Употребата ѝ при екстремни условия разширява областите на приложения там, където се търсят надеждни материали за машинни детайли и инструменти (Фиг. 1). Има ограничаващи недостатъци като ниски трибологични свойства.

Интерес за учените представлява 3D изработването на материали. В [1] по тази технология, е 3D отпечатана сателитна опорна скоба. Тези опорни скоби са проектирани да носят масата на камера и служат като свързваща стойка към сателитното шаси. Процесът на проектиране включва изследване на решетъчни структури и варианти за оптимизиране на топологията за три опорни крака, изработени от сплав Ti-6Al-4V с тегло 26 g. Постигната е термична изолация на детектора (-35°C) от долната плоча (0°C), устойчивост на динамичните сили и вибрации, изпитвани по време на изстрелването, като гарантира, че компонентите

остават сигурни и функционални и трето - намаляване на теглото с 50% спрямо използваната преди това стомана.

Стандартните спецификации на Ti-6Al-4V са:

- AMS: 4911, 4928, 4965, 4967, 6930, 6931, T-9046, T9047;
- ASTM: B265, B348, F1472;
- MIL: T9046 T9047;
- DMS: 1592, 1570, 1583;
- Boeing: BMS 7-269.

Химични свойства на сплав Ti-6Al-4V

Титанът и сплавите му принадлежат към термодинамично нестабилните метали, които са активни. Образува естествен окисен слой (титанов диоксид) с водните пари от въздуха. Този слой е стабилен и защитава метала.



Фиг. 1. Детайли, изработени от сплав Ti-6Al-4V

Изследват се образци от сплав Ti-6Al-4V с химичен състав: Ti - 88.6 wt.%, Al - 6 wt.%, V - 4 wt.%, Fe - 0.25 wt.%, O - 0.20 wt.%, C - 0.08 wt.%, N - 0.05 wt.%.

В зависимост от приложенията са възможни вариации в тегловните проценти на легиращите елементи. Това е показано в Таблица 1, където са дадени максималните стойности на съставните химични елементи.

Таблица 1. Химичен състав на сплав Ti-6Al-4V в [wt.%]

Al	Fe	O	V	C	N	H	други	Ti
5.6-6	до 0.25	до 0.2	3.6-6.78	0.08	0.05	0.015	до 0.4	до 100%

Сплав Ti-6Al-4V се обработва топлинно, за да се промени фазовият състав и микроструктурата на сплавта. Тези промени варират значително в зависимост от термичната обработка и използвания метод. Поради високата температура на топене, след разтопяване може да се използва като спойка за запълване на празнини в метала.

Разглежданата сплав има стабилна микроструктура и температурна устойчивост до 400°C. Заради образувания окисен слой, тази сплав е устойчива на влиянието на морската (солена) вода.

По химичен метод, титановата сплав не реагира с азотна киселина. Металът е капсулован от окисния слой.

Сплавта Ti-6Al-4V има много предимства, но нейната обработка е трудна.

Физико-механични свойства на сплав Ti-6Al-4V

Стойностите на модула на еластичност варират от 104 до 113 GPa, твърдостта е HRC36 и HV349, а измерената микротвърдост е 375 kg.f/ mm². Плътноста е в интервала (4.429 - 4.512) g/cm³, в зависимост от добавката. Определени са якост на опън 758 MPa, границата на провлачване е 689 MPa, а удължаването е до 10%. Якостта ѝ е с около 35% по-висока от тази на обикновена титанова сплав (500 MPa).

Разглежданата сплав притежава добра пластичност след топлинна обработка.

Сплав Ti-6Al-4V е по-тежка от алуминиевите сплави (с E = 75GPa). Плътноста на титановата сплав е само 4.5 g/cm³, което е по-малко от тази на стоманата, и следователно е наполовина от теглото на стоманата, но стойността на якостта е подобна за двата метала.

Титановите сплави условно могат да се разделят на устойчиви на корозия, структурни, топлоустойчиви и нискотемпературни.

Температурата на топене е 1660°C, по-висока от тази на желязото. Ti-6Al-4V има ниска топлопроводимост от 6.7 - 7.5 W/m.K при стайна температура, което е причина за трудното ѝ обработване.

Процесът на рязане предразполага към износване на инструмента и проблеми с отпадъците и стружките. Следователно, по време на обработка, първо трябва да се направи избор на подходящи материали за инструменти и лубриканти и второ - да се контролира скоростта на рязане.

Подобряване свойствата на сплавта чрез отлагане на покрития

Повишаване стойностите на механичните характеристики на работната повърхност на тази сплав може да се осъществи чрез отлагане на тънки слоеве и покрития.

Химичното (CVD) и физичното (PVD) отлагане са водещи методи, имащи висока скорост на отлагане, хомогенност и добра равномерност на покритието. Използването на FAD, PVD-техниката (Filtered Arc Deposition) позволява отлагането на тънки, твърди филми с дебелина до 3 µm. Отлагането на TiC, TiN и TiCN-покрития увеличава твърдостта на сплавта, като я правят подходяща за употреба при режещи и пробиващи инструменти.

Тънкослойни нитридни покрития се използват при биомеханични изделия като бариери за предотвратяване на дифузия с телесни течности, тъкани и кости.

Приложения на сплав Ti-6Al-4V

Тази сплав се прилага широко за производство на компоненти за дългосрочно обслужване при средни температури.

Титановите тръби се произвеждат в съответствие с различни индустриални стандарти. Тези стандарти определят химичния състав, механичните свойства и изискванията за изпитване на титанови тръби. Тръбите от сплав Ti-6Al-4V са безшевни или заварени. Те са едни от най-широко използваните поради отличната си здравина, издръжливост и устойчивост на корозия.

Съвременните самолети използват крепежни елементи, титанови болтове, интерферентни болтове, фланцови гайки, шайби и болтове от сплав Ti-6Al-4V, както и от Ti-13V-11Cr-3Al, Ti-15V-3Cr-3Sn и Ti-10-V-2Fe-3Al при по-високи работни температури [2]. В развитите страни като Съединените щати и Франция около 95% от крепежните елементи от титанови сплави са направени от сплав Ti-6Al-4V [3].

Въртящите се части на двигателя като вентилатори, компресорни дискове, лопатки, трябва не само да понесат голямо напрежение, но и да имат определена устойчивост на топлина. Такива работни условия са тежки за алуминиевите сплави. Титановите сплави са най-добрият избор при температурен диапазон 300 ~ 650°C.

Области на приложение:

- *Авиационна промишленост и високи технологии:* различни компоненти на самолети (Boeing 787, Airbus A350, Apple iPhone 15 Pro), като колесници, вентилатори на авиационни двигатели (Фиг. 2a), компресорни дискове и перки, фланцови гайки и шайби, титанови болтове, структурни рамки (Фиг. 2b).

- *Моторни спортове и спортни автомобили:* поради сравнително ниското тегло и високи механични показатели, титанови тръби и множество други детайли се използват в състезателните автомобили и мотоциклети (Фиг. 2b).

- *Медицина:* използва се за направата на медицински импланти и протези поради своята биосъвместимост и хипоалергенни свойства (Фиг. 2c).

- В заводите за химична преработка се използват титанови профили и тръби поради високата устойчивост на корозия (Фиг. 2d).

- Морски приложения: Ti-6Al-4V титанови тръби се използват в морска среда поради своята устойчивост на солена вода и други тежки среди (Фиг. 2e).

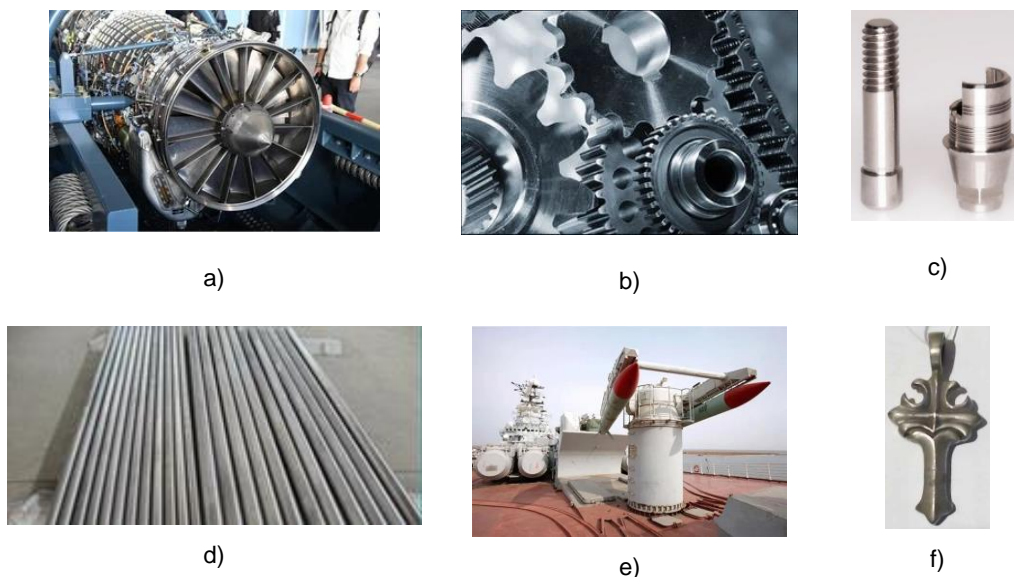
- Космическа индустрия: използват се отразяващи светлината титанови плочи.

- Химическа промишленост: при химични процеси и при производството на компоненти за оборудване в химичните заводи.

Титанова тел се използва при крепежни елементи в *строителството*. Тя има ниска плътност, висока якост и добра устойчивост на корозия. Използва се във военни и медицински изделия, спортни стоки, очила, закачалки, заваръчни проводници и много други. От тънка титанова тел се изработват *бижутата* като пръстени, гривни и синджери (Фиг. 2f).

В *медицината* се използват още титанови клипси.

По отношение на цената, тя варира в зависимост от размера и сложността на Ti-6Al4-V детайл.



Фиг. 2. Приложения на сплав Ti-6Al-4V: а) Самолетен двигател; б) Зъбни колела; в) Импланти; д) Профили; е) Корабни компоненти; ф) Титаново бижу

Въпреки високата ѝ себестойност, Ti-6Al-4V се счита за рентабилен материал в дългосрочен план поради свойствата, които притежава и дългия експлоатационен живот.

Заклучение

Сплав Ti-6Al-4V се използва при работни температури до приблизително 660°F (350°C) и е приложима във всяка област, където се изисква комбинация от висока якост при ниски до умерени температури, леко тегло и отлична устойчивост на корозия.

Литература:

1. Zenith Tecnica announces manufacture of 3D Printed Ti6Al4V hardware with Maxar Space Systems for NASA Psyche Mission. - Zenith Tecnica - zenithtecnica.com. " <https://zenithtecnica.com>.
2. Rawal, S. Brantle J. Karabudak H. Additive manufacturing of Ti-6Al-4V alloy components for spacecraft applications, 6th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST) 1-7 2013 doi: 10.1109/RAST.2013.6581260
3. Inagaki, I., Takechi T., Shirai Y., Ariyasu N. Application and Features of Titanium for the Aerospace Industry, Nippon steel & sumitomo metal technical report №106 22-27 2014 UDC 669.295:629.735.3