



ИЗПОЛЗВАНЕ НА ТИТАНОВИ СПЛАВИ КАТО КОНСТРУКЦИОНЕН МАТЕРИАЛ В КОРАБОСТРОЕНЕТО

М. Г. Манов, Х. В. Христов
m.manov@nvna.eu, h.hristov@nvna.eu

*Висше военноморско училище "Никола Йонков Вапцаров"
гр. Варна, ул. „Васил Друмев” 73
БЪЛГАРИЯ*

Ключови думи: титан, титанови сплави, методи за повърхностно уякчаване

Резюме: Високата якост, ниската плътност и отлична корозионна устойчивост, които притежава титана са качествата, които го правят атрактивен материал, намиращ приложение в различни сфери на промишлеността и медицината. Сравнително високата цена на титана обаче, ограничава приложението му. За да се оправдае високата цена на титана в сравнение с другите материали, е необходимо да се познават много добре неговите специфични свойства и характеристики, които го правят уникален като материал. В настоящата статия е направен анализ на характерните особености на титана и неговите сплави методите за повърхностно обработване както и приложението титан и титанови сплави в различни сфери на промишлеността, корабостроенето и кораборемонта

1. Въведение

1.1 История и приложение на титана и неговите сплави.

Титановите сплави притежават уникална комбинация от добри механични свойства, ниска плътност, добра корозиоустойчивост и биосъвместимост. Високите им конструктивни свойства ги правят предпочитани материали в самолетостроенето и изработката на различни отговорни детайли и конструкции [5]. В традиционните сфери като химическата и силовата индустрия, използването на титановите сплави като корозиоустойчив материал става все по – широко.

1.2 Методи за повърхностно уякчаване.

Ниската плътност, високата якост и корозиоустойчивост са съществени предимства на титановите сплави. В същото време титанът има свойството да реагира при плъзгащ контакт с други материали, което говори за лоша абразивна и адхезионна износоустойчивост. Това е една от основните причини, които ограничават използването на титан и неговите сплави в инженерната сфера. Полагат се значителни усилия за развитие на технологиите за обработка на титановите сплави с цел получаване на дълготраен защитен повърхностен слой и разширяване сферите на приложение. За да се постигнат желаните свойства на материала се използват различни видове повърхностна обработка. Използват се основно две характерни направления техники - техники на отлагане и дифузионни техники [2, 3, 6, 7].

2. Методи за повърхностно обработване на титан и титанови сплави

2.1 Повърхностни методи за уякчаване.

Основни недостатъци на титановите сплави са висока им цена и лошата обработваемост. Те се характеризират с лоши трибологични свойства при плъзгащ контакт, висок и нестабилен коефициент на триене, тежко адхезионно износване и силна склонност към задиране. Титановите сплави реагират /задират/ при продължителен плъзгащ контакт с други материали под товар, което води до лошо абразивно и адхезионно износно съпротивление. Това строго ограничава трибологичното използване на сплавите на основа на титан.

В последните години се развиват много методи за подобряване повърхностната износоустойчивост и твърдост на титановите сплави. Някои от тези методи са: повърхностно азотиране /PVD процес/, азотно или кислородно термодифузионно третиране, повърхностно модифициране посредством йонно имплантиране, плазмено азотиране, лазерно или електродъгово азотиране.

Промените в повърхностния слой на материала са от порядъка на микрометри /<10 μm /. Това поражда необходимост да се положат усилия в развитието на методите за качествена оценка на нанесения тънък слой.

2.1.1 PVD и CVD процеси.

Тези процеси представляват техники за нанасяне на покрития, които съвършено се различават по химичен състав, структура и свойства в сравнение с образеца. PVD процеса включва изпарение на метала /материала/ за покритие и отлагането /нанасяне на защитен слой/ върху основния /образеца.

Тези покрития се нанасят при високи температури /от порядъка на няколко хиляди градуса по Целзий/ и се извършват във високовакуумни камери [1, 2, 4,]. Покриваният метал се изпарява посредством нагриване от индукционни намотки. Електрическото съпротивление или възникналите електронни лъчи нагриват източника и създават условия за изпарение на метала в присъствието на реактивна газова среда /в повечето случаи азот/, след което се формират и отлагат азотните съставки по повърхността на образеца.

CVD процеса протича в присъствието на източник на реактивни газове и представлява отлагането на продуктите от химичната реакция върху образеца. Материалите, които образуват покритието в газова фаза достигат повърхността на нагретия образец, където протича термична реакция /отлагане/. Реакциите, които протичат на повърхността на гоещия образец формират твърдо покритие. По - детайлна интерпретация на този механизъм би включила химичните реакции, които протичат в изпареният метал преди абсорбцията, както и повърхностната дифузия на реактивните абсорбенти. Усъвършенстването на механизма на протичане на CVD процеса позволява управление по време, с което се осъществява контрол на морфологията на нанесения слой [2, 3, 5].

В сравнение с PVD процесите, CVD процесите показват по – добра отлагача способност, което позволява дори сложно оформени части да бъдат покрити с равномерен слой. Основен недостатък на класическият CVD процес е високата работна температура, необходима за формиране на покритието /от 800 до 1400 $^{\circ}\text{C}$ / [3]. По – ниски работни температури са възможни при PACVD процесите /Plasma Assisted CVD/. При тях газът и образецът са изложени на нискотемпературна плазма, която осигурява необходимата енергия за активиране на реакциите. Температурата на процеса PACVD е в границите от 450 до 650 $^{\circ}\text{C}$ [3].

2.1.2. Йонно имплантиране.

Повърхностното модифициране на титана и неговите сплави чрез йонно имплантиране с азот или вълерод се прави с цел да се подобрят износоустойчивостта и противозадирните му качества. По време на йонната имплантация ускорените йони достигат повърхността на образеца, като източника на йони се бомбардира с електрони за да се йонизират молекулите, чрез запалване на разядна дъга между анода и катода. Ако се създадат условия за поддържане на имплантационната доза на определено ниво, може да се въздейства положително в насока образуване на стехиометричен баланс между имплантираните елементи /N, C/ и първичната клетка /TiN или TiC/ близо до повърхността. Това води до преобразуване механизма на износване от адхезионно в абразивно със съответно подобряване на износоустойчивите свойства на основния материал.

2.1.3. Лазерно азотиране.

Лазерното азотиране е процес, който използва силния афинитет на титана към азота, който взаимодейства с разтопената от лазерен лъч повърхина на образеца. Високата мощност на процеса се постига, чрез използване на CO₂ или YAG /Y₃Al₅O₁₂/ лазери.

2.1.4. Плазмено азотиране.

Плазменото азотиране е една от най - широко използваните техники за повишаване повърхностната твърдост на материала. Процесът се характеризира с дифузия на азотни атоми в металната повърхност в присъствието на плазмена среда.

Плазменото азотиране се осъществява в среда от аномален тлеещ разряд, където образеца е изцяло покрит с дъга, като едновременно с това се повишават тока и напрежението. Образецът може да бъде нагрят посредством пренасяне на енергия чрез йонно бомбардиране. По този начин на повърхността му достига азот, който дифузионно прониква във вътрешността [2, 3, 6].

2.1.5 Газово азотиране.

Традиционното газово азотиране познато от много години на металурзите и инженерите среща предизвикателството на по - нови технологии, като управляемо азотиране, йонно азотиране, RF азотиране и интензивно йонно азотиране. Управляемото азотиране и йонното азотиране се ползват с широка популярност и са се наложили като традиционни техники. Управляемото азотиране е усъвършенстван процес на традиционното газово азотиране, при което всички параметри се управляват от компютър.

Недостатък при газовото азотиране е, че трудно се контролира съдържанието на кислород. Титановите сплави с високо съдържание на кислород имат склонност да формират крехка α фаза на повърхността, което влияе негативно върху механичните им свойства.

3. Приложение на титана и неговите сплави в корабостроенето и кораборемонта

Конструкционните материали, които се използват в корабостроенето и кораборемонта трябва да притежават оптимална комбинация от корозиоустойчивост, механична надеждност, отлични якостно – тегловни характеристики, добра обработваемост и ниска цена. При изборът на конструкционен метал е необходимо той да изисква минимална степен на поддръжка. Титанът и неговите сплави осигуряват добра комбинация от всички изисквания. Негови основни предимства като конструкционен материал на съвременните кораби са: отлична корозиоустойчивост в среда от морска вода; нетоксичен към човека и околната среда; отлични якостно – тегловни характеристики в сравнение с останалите метали, използвани в

корабостроенето; конструкционна здравина, идентична с тази на стоманите; не магнитен във всички състояния и сплави; добро формообразуване и заваряване; добри леярски свойства и обработка чрез пластична деформация; предлага се в различни профили /листи, плочи, тръби, пръти и други/;

Едно от основните препятствия за повишаване използването на титана и неговите сплави в корабостроенето и кораборемонта е наложилата се остаряла концепция, че титана е скъп материал със сложни и скъпи технологии за обработка. Титанът безспорно е по – скъп от повечето стомани и алуминиеви сплави, като е сравним по цена с много медни и по – евтин от никеловите сплави. Ключът към ефективното приложение на титана е използването на уникалните му свойства и характеристики, обратно на тенденциите да се търсят заместители от друг метал.

Различните сплави са дадени с номера от международния стандарт ASTM, спецификация B265. Като структурни материали в корабостроенето се предпочитат сплавите с висока якост /Grade2, 3/. За изработване на уплътнителни елементи се използват сплавите с паладий, а за високоякостни приложения сплавите Grade 9 или 12.

4. Предимства в използването на титановите сплави като конструктивен материал

4.1 Корозионна устойчивост.

Титанът е изключително устойчив на корозионното въздействие на морската вода. Уморните и якостните му свойства се запазват в условията на динамичните и въздействия. Измерени са стойности на корозия 0.01mpy. Това се дължи на тънкият предпазен окисен слой, който при нараняване се самовъстановява в среда от въздух или морска вода. Това елиминира нуждата от използване на корозиоустойчиви покрития на детайлите, подложени на негативното въздействие на морската вода и спестява и значителни разходи по поддръжката им.

4.2 Ерозионна устойчивост.

В среда от морска вода титановите сплави демонстрират отлична ерозионна, кавитационна и абразивна устойчивост. Това позволява успешното им използване като изходен материал за изработка на тръби и елементи от корабна арматура.

4.3 Теплопроводимост.

В работни условия теплопроводимостта на титана се доближава до тази на месинга и медно – никеловите сплави. Въпреки че, той има нисък коефициент на теплопроводимост, причините за успешното му използване като теплопроводящ метал са: високата якост на титана позволява да се изработват детайли с по – малки размери и дебелина; отсъствието на корозия в морска вода оставя повърхността на метала чиста и гладка, с което се подобряват топлоотвеждащите му свойства; отличните корозионна и ерозионна устойчивост позволяват детайлите от титан да се експлоатират при значително по – високи работни натоварвания;

4.4 Отлични якостно – тегловни характеристики.

Плътността на титана и повечето му сплави, използвани в корабостроенето и кораборемонта е около 0,163 lb/cu-in а границата на провлачане 40000 psi. Якостта е идентична с тази, характерна за повечето корабостроителни стомани, но теглото на титановите сплави е с около 43% по – ниско. Последното е от особено значение и дава съществено преимущество на титановите сплави пред стоманите, използвани в корабостроенето.

5. Приложение на титановите сплави в корабостроенето и кораборемонта.

5.1. Тръбопроводи и арматура.

Титанът е широко използван материал за изработка на тръбопроводи, фланци и корабна арматура на военните кораби. Качествата на тръбопроводите от титан

осигуряват висока ефективност и надеждност. Основни предимства са: високата корозионна и ерозионна устойчивост на титановите тръби позволява те да се изработват с по – тънки стени; високата ерозионна устойчивост осигурява по – високи скорости на преминаване на флуида. С това се постига намаляване сечението на използваните тръби за предаване на еденица количество флуид; тегловните характеристики значително се подобряват, тъй като се използват тръбопроводи с по – малък диаметър, по –тънки стени с по – ниска плътност /собствено тегло/. Обема и теглото на флуида в тръбопроводите значително намалява; понижените масо – габаритни характеристики на тръбопроводите позволяват осигуряване на повече пространство и свобода на разположението им, което повишава ефективността на използване на помещенията и улеснява конструкторите;

5.2 Топлообмени системи.

Топлообменни системи изработени от титан и титанови сплави се използват широко на военните, товарните и риболовните кораби. На таблица 2 са показани основните направления на приложение на топлообменните системи от титан.

5.3 Електрически компоненти и хардуер.

Корозионните процеси, протичащи в електрическите компоненти и хардуера в резултат на вредното влияние на влагата и морската вода е сериозен проблем на съвременните кораби. Компонентите изработени от титан успешно се използват за работа в тези условия без необходимост от допълнително обслужване и разходи по поддръжката им. Изработват се различни елементи, като електрически кутии, арматури към осветителни уредби, пилерси, люкове, антени и други. Тези относително малки но важни компоненти изискват много по – големи разходи за поддръжка ако се изработят от по – неподходящи метали.

5.4 Външни структури.

Корозията при външните структури на кораба е важен момент, чието предотвратяване изисква значителна поддръжка. При използване на титан и титанови сплави за изработване на откритите структури на кораба се спестяват значителни средства за поддръжка. Титанът се използва при изграждане на водонепроницаеми прегради и други елементи от надстройката и корпуса на кораба, като има случаи, когато се комбинира с тънки стоманени листи.

6. Изводи.

- Титанът и неговите сплави са перспективен материал, който намира приложение в различни инженерни области и медицината. Той притежава най – високо отношение якост към плътност, което го прави идеален материал за изграждане на различни инженерни конструкции

- Високата му реактивност към кислорода обаче се отразява не само на сравнително високата му цена, но и на максималната му работна температура /около 600 °C/.

- В сравнение с алуминия, титана и неговите сплави имат по - добра уморна якост, висока устойчивост на образуване и нарастване на пукнатини, отлична якост при по - високи работни температури и не корозират в различните условия на експлоатация. В сравнение с други широко използвани материали като стоманите, титановите сплави имат по - висока корозиоустойчивост.

- Основни недостатъци на титановите сплави, са абразивната и адхезионна износоустойчивост. В отговор на това възникват различни методи за уякчаване на повърхностния слой на титановите сплави.

- Въпреки посочените недостатъци, разгледаните методи в значителна степен разширяват приложението на сплавите на основа на титан, чрез подобряване свойствата на повърхностния слой.
- Особен интерес от разгледаните техники за модифициране на повърхностния слой на титана и неговите сплави представлява плазменото азотиране. Методът позволява регулиране на голям брой параметри на протичане на процеса $/I, U, Q_{Ar}, Q_{N_2}, L, t$ и други/, който може да се осъществи в различна среда и условия. Това създава условия за развитие на разнообразни фактори, които оказват влияние върху свойствата на получения повърхностен слой, с което се влияе непосредствено върху структурата и свойствата на азотирания образец.

Използвана литература:

- [1] C. Leyens, M. Peters, Titanium and titanium alloys, (2003)
 [2] H. Skulev, S. Malinov, Phase Composition and Microstructure of Titanium Alloys after Surface Plasma Gas Nitriding, Second International Scientific Congress on Mechanical and Electrical Engineering and Marine Industry, Varna, Bulgaria, 2005
 [3] J. Jacob, T. Kildoff, Engineering materials technology, 5th ed., (2004)
 [4] M. Katto, M. Nakamura, T. Tanaka, T. Nakayama, Appl. Surf. Sci. (2002)
 [5] S. Malinov, Z. Guo, W. Sha, A. Wilson, Metall. Mater. Trans. (2001)
 [6] Titanium Alloys – Materials Properties Handbook, (2002)
 [7] V. Moiseyev, Titanium alloys: Russian aircraft and aerospace application, (2006)

APPLICATION OF TITANIUM ALLOYS AS CONSTRUCTIONAL MATERIAL IN SHIP BUILDING PROCESS

M. Manov, H. Hristov

m.manov@nvna.eu, h.hristov@nvna.eu

*Nikola Vaptsarov Naval Academy
 Varna 9026, 73 Vasil Drumev str.
 BULGARIA*

Key words: *titanium, titanium alloys, methods for surface treatment*

Abstract: *High strength, low density and excellent corrosion resistance, which has titanium are the qualities that make it an attractive material finds application in various fields of industry and medicine. Relatively high cost of titanium, however, restricts its use. To justify the high cost of titanium compared to other materials is necessary to know very well its specific properties and characteristics that make it unique as a material. Therefore, titanium and titanium alloys are the subject of much discussion. This article gives an overview and analysis of the characteristics of titanium and its alloys methods of surface treatment and application of titanium alloys in various fields of industry and ship building.*