

РАЗРАБОТВАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЯ ЗА ПЛАЗМЕННО ГАЗОВО ПОВЪРХНОСТНО АЗОТИРАНЕ НА СОНОТРОД ОТ ТИТАНОВА СПЛАВ TI-6AL-4V С ИНДИРЕКТЕН ПЛАЗМОТРОН

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES FOR SURFACE PLASMA GAS NITRIDING OF TITANIUM ALLOY TI-6AL-4V SONOTRODE USING INDIRECT PLASMA TORCH

Христо К. Скулев

Abstract: This report presents a study related to surface gas nitriding of titanium alloy Ti - 6Al - 4V sonotrode, using indirect plasma torch. The roughness and microhardness important factors for the quality and efficiency of sonotrode are investigate.

Keywords: plasma gas nitriding titanium, sonotrode, titanium alloys

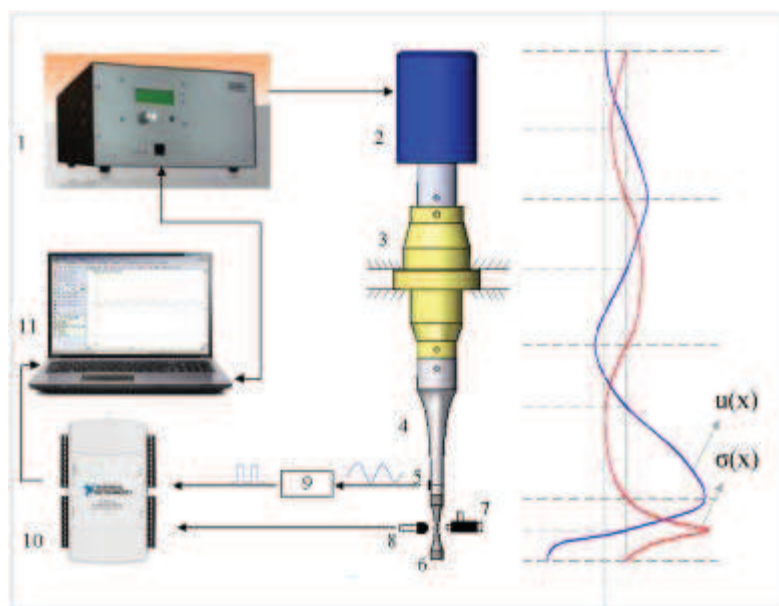
I. ВЪВЕДЕНИЕ

В настоящото изследване са представени принципа на работа, устройството и технологията на изработка на сонотрод към стенд за ултразвуково резонансно изпитване на умора при честота 20kHz.

Изработването на сонотрода е в резултат от реализирането на проект ДМУ03/98 от 2011г. на тема: „Изследване якостта на нови синтеровани материали с приложение в автомобилната промишленост при циклично натоварване“ финансиран от Фонд “Научни изследвания” по програмата “Млади учени”.

II. ИЗЛОЖЕНИЕ

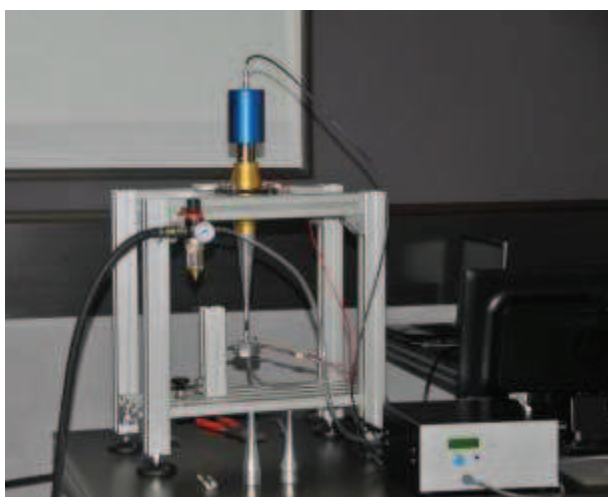
Схема на разработеният стенд е показана на фиг.1. Принципът на действие е следният: Генераторът (1) подава синусоиден ел. сигнал (max 1000V RMS) с необходимата честота на пиезокерамичният преобразувател (трансдюсер) (2), който превръща сигнала в механични вибрации (max 20μm p-p). Бустерът (3) е опционален елемент. Неговата функция е да осигурява здраво закрепване на системата за фундамента и поради това се проектира с фланец във възела така че закрепването да не



Фиг.1. Схема на стенд за изпитване на умора разработен в ТУ-Варна

1.Генератор 1kW (MPIinterconsulting-Switzerland); 2.Пиезокерамичен конвертор (MPIinterconsulting-Switzerland); 3.Бустер 1:1.5(MPIinterconsulting-Switzerland); 4.Сонотрод; 5.PVDF сензор; 6.Тестов образец; 7.Вихрова тръба; 8.IR термометър; 9.Компаратор; 10 АЦП; 11.Компютър.

натоварва ултразвуковата система. При разлика във входящия и изходящия диаметър бустерът може да усилва/намаля амплитудата на вибрациите. Сонотродът (4), наричан още вълновод или концентратор, е задължителен елемент. Изработва се с променливо напречно сечение, за да концентрира ултразвуковата енергия и усилва амплитудата на механичните вибрации. Образецът (5) се проектира симетричен, така че средното му сечение да е възел на преместване, съответно в него да възниква максимално напрежение. Всички елементи са проектирани, така че да работят в еластичната област т.е. връзката между амплитудата на вибрациите и напреженията в отделните елементи е линейна.

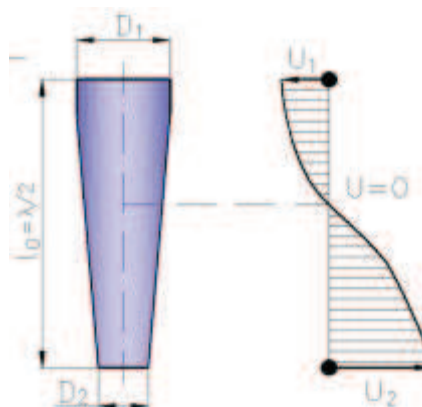


Фиг.2. Стенд за ултразвуково резонансно изпитване на умора при честота 20kHz

Сонотродът е уникален за всяко приложение елемент. За осигуряване на възможности за изпитване на голям набор от материали с различна якост за стенда са необходими няколко сонотрода. Проектирането и изработката на сонотроди и беше задача решавана от колектива на ТУ-

Варна работещ по проекта.

Дължината на сонотрода най-често е равна на половината от дължината на звуковата вълна ($L_0 = \lambda/2$). Ако е изпълнено условието $D \leq L_0/4$ сонотрода може да се приеме за строен елемент и пресмятанията може да се опростят до 1D задача, като се пренебрегне влиянието на напречните вълни т.е. напречните сечения остават равнинни и се преместват само в надлъжно направление (коэффициента на Поасон на материала е равен на нула) [4].



Фиг.3. Амплитуда на надлъжните вибрации в сонотрод с дължина $l_0 = \lambda/2$ при резонансна честота

Разпределението на амплитудата на надлъжните вибрации в отделните сечения на $\lambda/2$ сонотрод работещ в резонансен режим е показано на фиг.3.

Проектирането на сонотрода се извършва в следната последователност:

- избор на работна честота;
- премятане на необходим коефициент на усилване;
- избор на материал и технология за изработване;
- определяне на еластичните и физични константи на материала;
- избор на форма;

Табл.1. Свойства на сплави подходящи за изработка на сонотроди

Материал	Плътност	Модул на Юнг	Коеф. на Поасон	Скорост на надлъжна вълна (1D)	Акустично съпротивление	Якост на умора*	Твърдост
	ρ [kg/m ³]	E , [GPa]	ν	$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$, $\frac{m}{s}$	$Z = \sqrt{\rho \cdot c}$	σ -1, [MPa]	HV
Ti-6Al-4V	4430	113.8	0.341	5068	4738	300-510	340-360

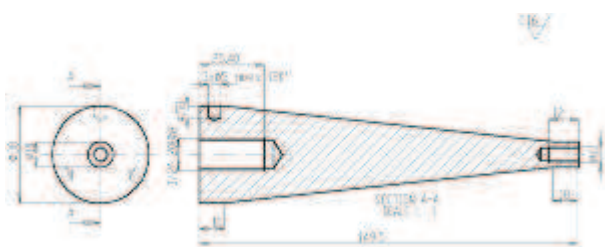
Табл.3. Резултати от измерването на твърдост на сонотрод

Място на измерване, °	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
Твърдост, HV0,2/10												
След шлифване	423	419	417	442	444	439	431	425	427	435	431	427
След азотиране и полиране	685	689	686	688	682	685	681	679	675	683	677	684

-пресмятане на дължината на сонотрода;
-уточняване на окончателни размери чрез изследване на собствените честоти по МКЕ.

В практиката най-разпространени са сонотроди с конусен профил. Материалите от които се изработват ултразвуковите елементи трябва да имат ниско акустично съпротивление и достатъчна якост на умора. Подходящи материали са титанови сплави, табл.1. Препоръчително е да се определят модула на Юнг и плътността директно на заготовката за изработка на сонотрода. Опитът показва, че в повечето случаи измерената плътност е близка до табличната, но модула на Юнг може да варира с около $\pm 5\%$ от табличните стойности.

Работен чертеж на изработен от Ti-6Al-4V сплав конусен сонотрод е показан на фиг. 4.



Фиг.4. Работен чертеж на конусен сонотрод Ti-6Al-4V (20136Hz)

Създаване и изследване на повърхностно азотирани слоеве върху сонотрод от титанова сплав Ti-6Al-4V чрез прилагане на индиректен плазмотрон.

За подобряване на акустичните свойства на сонотрода изработен от титанова сплав Ti-6Al-4V е разработена технология за повърхностно плазмено газово модифициране (азотиране) с използване на индиректен

плазмотрон[1-10]. За експериментите бе използвана апаратура АПН 50, комплектувана с индиректен плазмотрон PTN 50 в камера с азот (N₂) с чистота 99.998% и постоянен разход от 220 ml/min.

Проведените наши изследванията показваха, че повърхностното азотиране на сонотрода чрез ниско температурна плазма е с важно значение за ултразвуковото резонансно изпитване на образци на умора при честота 20kHz.

С цел създаване на технология за повърхностно азотиране с индиректен плазмотрон на сонотрод, бе разработен технологичен режим – таблица 2.

Табл.2. Технологичен режим за повърхностно азотиране с индиректен плазмотрон на сонотрод

Параметър	Стойност
Сила на тока	500A
Напрежение	70V
Разход плазмообразуващ газ	
Аргон (Ar)	30l/min
Азот (N ₂)	6l/min
Разстояние от края на дюзата до образца	120mm

При азотирането бяха използвани получените резултати за същата титанова сплав описани и изследвани в глава 5 от настоящата дисертационна работа.

С цел оптимално обхождане на външната повърхност от плазмотрона, сонотрода е закрепен в приспособление (оптична делителна глава) междуцентри.

-Обороти на въртене на детайла 320 min⁻¹

- Движение на плазмотрона- възвратно постъпателно 1,44 mm/min;

- Време за азотиране на прехода 2 min

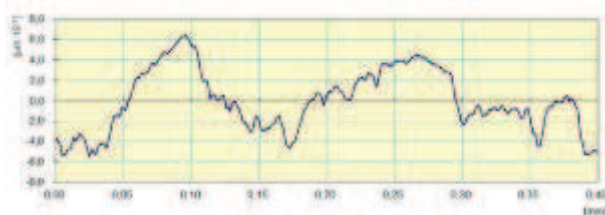
Азотирането на повърхностния слой на сонотрода се извършва с използване на локално плазмено газово азотиране с индиректен плазмотрон без претапяне на повърхността.

Измерванията на микротвърдост се осъществяват с използване на методиката от глава 2, точка 2.8 от дисертацията. Измерената след шлифване микротвърдост на сонотрода е 430HV_{0,2/10}, при изискване 670HV_{0,2/10} /табл. 3/.

Табл.4. Свойства на сплави подходящи за изработка на сонотроди

Операция	Ra, μm
Шлифване	0,61
Азотиране	0,98

Грапавостта след шлифване се измерва с използване на методиката от точка 2.9, глава 2 от дисертацията. Тя има стойности Ra=0,61μm. Данните от изходната грапавост, както и тези след повърхностно азотиране и последваща механична обработка са представени в табл.4. Графично резултата от измерването е представен на фигура 5.



Фиг. 5. Графични резултати от измерване на грапавост на сонотрода след шлифване

Плазменото газово азотиране на сонотрода стартира от 10 до 15mm извън двата му края. Процесът се изпълнява в следната последователност:

1. Пускане на охлаждащата вода;
2. Проверка на високочестотния импулс;
3. Пускане на плазмообразуващия газ Ar/N₂;

Ar/N₂;

4. Стартиране на източника плазмотрона 600A/180V;

5. Включване на блока за управление;

6. Подаване на високочестотен импулс;

7. Стартиране на приспособлението за движение;

8. Стартиране на работната дъга;

9. Пускане на плазмотрона в движение по предварително зададена траектория.

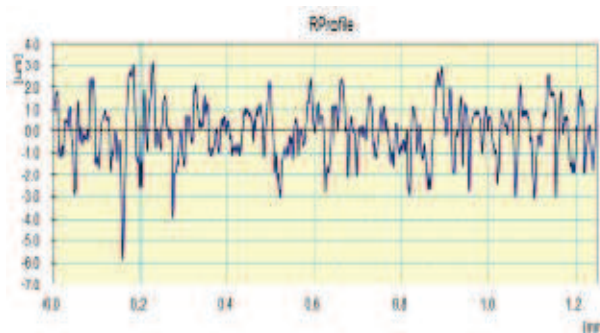
След приключването на работния цикъл, операциите се изпълняват в обратен ред. Азотирането на сонотрода се извършва в 8 прехода. Получената азотирана повърхност на сонотрода е показана на фиг.6.

Грапавостта след провеждане на плазмено газово азотиране при повърхностното обработване на сонотрода има стойност Ra=0,98μm (фиг.7).



Фиг. 6. Сонотрод след повърхностно плазмено азотиране

След извършване на повърхностното азотиране на сонотрода, същия е монтиран към стенд за ултразвуково резонансно изпитване на умора при честота 20kHz, фиг.1. поз.4 и е въведен в експлоатация. Към 01.10.2014г. няма данни за възникнали неизправности по лабораторния стенд.



Фиг. 7. Графични резултати от измерване на грапавост на сонотрод

Табл.3. Резултати от измерването на твърдост на сонотрод

III. ИЗВОДИ

Извършено е азотиране на сонотрод от стенд за ултразвуково резонансно изпитване на умора при честота 20kHz с използване на плазмено газово азотиране с индиректен плазмотрон без претапяне на повърхността. Грапавостта след провеждане на плазмено газово азотиране при повърхностното обработване на сонотрода има стойност $Ra=0,98\mu m$, а измерената микротвърдост е от 675 до 689HV_{0,2/10}.

литература:

- [1] H.Y. Wang, R. F. Zhu, Y. P. Lu, G.Y. Xiao, X.C. Zhao, K. He, Y.F. Yuan, Y. Li, X. NiMa, Mater. Sci. Eng. C, Available online 19 June 2014.
- [2] Y. Yan, Q. Ding, Y. Huang, S. Han, X. Pang, App. Surf. Sci. 305 (2014) 77–85.
- [3] X. Liu, P. K. Chu, C. Ding, Mater. Sci. Eng. R 47 (2004) 49–121.
- [4] M. Goudarzi, F. Batmanghelich, A. Afshar, A. Dolati, G. Mortazavi, App. Surf. Sci. 301 (2014) 250–257.
- [5] J.W. Park, K. B. Park, J.Y. Suh, Biomater. 28 (2007) 3306–3313.
- [6] L.T. Duarte, C. Bolfarini, S. R. Biaggio, R. C. Rocha-Filho, P.A.P. Nascente, Mater. Sci. Eng. C 41 (2014) 343–348.
- [7] H. Skulev, S. Malinov, P.A.M. Basheer, W. Sha, Surf. Coat. Tech. 185 (2004) 18 – 29.
- [8] B. Gueorguiev, I. Iordanova, C.M. Sprecher, H. Skulev, D. Wahl, A. Hristov, J. optoelectr. Adva.mater. 11 (2009), 1331-1334.
- [9] A.P. Rubshtein, I.Sh. Trakhtenberg, E.B. Makarova, E.B. Triphonova, D.G. Bliznets, L.I. Yakovenkova, A.B. Vladimirov, Mater. Sci. Eng. C 35 (2014) 363–369.
- [10] D.Y. Kim, M. Kim, H. E. Kim, Y. H. Koh, H. W. Kim, J.H. Jang, Act. Biomater. 5 (2009) 2196–2205.

За контакти:

доц. д-р инж. Христо Скулев
катедра "МТМ"
Технически Университет - Варна
ул. Студентска, №1
e-mail: skulev@tu-varna.bg