

## Използване на метода на електронната Ожè-спектроскопия за анализ на пукнатина в корпусен елемент от авиационен двигател

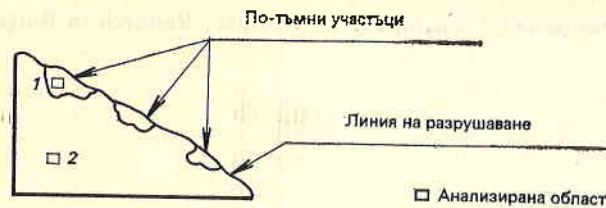
*Димитър Йорданов, Юлика Симеонова,  
Антон Шопов\**

*Институт за космически изследвания, БАН  
\* Институт по микроелектроника*

При контрол на техническото състояние на авиационен двигател по титановия пръстен от корпуса на компресора след лопатъчната решетка, повишаваща неговата устойчивост, са открити нехарактерни малки пукнатини със следи от видимо окисление около ръба на пукнатината (линията на разрушаване). Необичайното при анализа на разрушението е, че пукнатините са разположени в относително по-слабо натоварена област. Вероятно доминирано е било влиянието на локално действащи фактори. Такива могат да бъдат: удари и побитости от друг елемент, попадане на капки разтопен метал при производството, електрически разряд върху повърхността, вътрешни дефекти и нарушения в материала.

Опасността от такъв род пукнатини се състои във възможността под влияние на вибрациите те да се свържат в затворен контур, при което се откъсва част от корпуса и това предизвиква следващо разрушаване на компресора.

При изследването на такъв род разрушения от особена важност е да се получи информация за състоянието на повърхностния слой на материала по линията на разрушаването. Поради малките размери на самата пукнатина и на дебелината на титановия пръстен за анализ на повърхностния слой на материала е използван послойният метод на електронната спектроскопия на Ожè [1, 2], често прилаган в експерименталната физика и все още непопулярен при изследването на подобен род разрушения. Благодарение на високата чувствителност и голямата разделителна способност той позволява да се изследват компонентите на материала в приповърхностния слой, като се следи за структурните нееднородности. Анализът се провежда в свръх-високовакуумна система при работен вакуум  $10^{-8}$  Pa. Чрез бомбардировка с  $Ag^+$  се извършва йонно разпрашване на материала и премахвайки слой

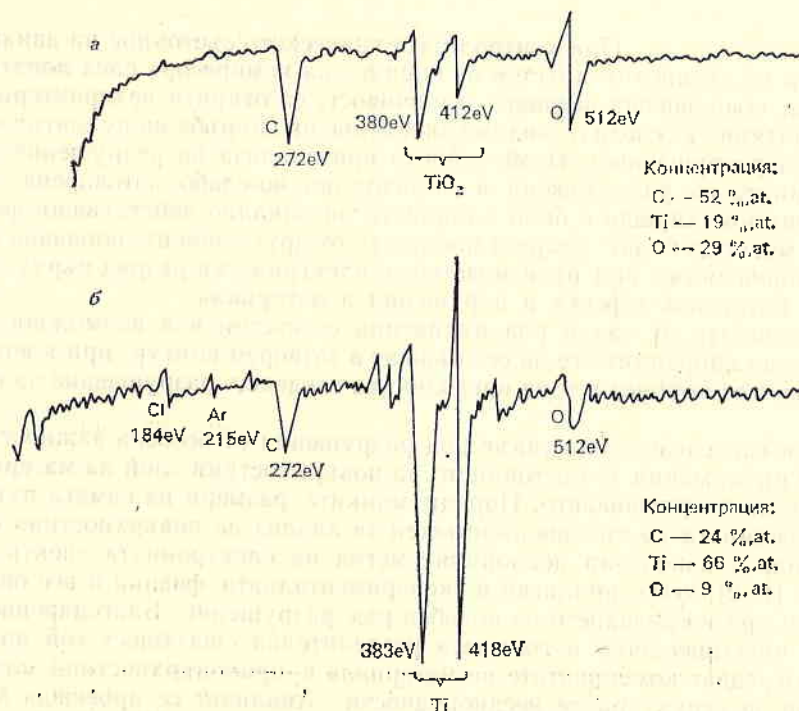


Фиг. 1. Схема на разположение на изследваните участъци от титановия пръстен

след слой, повърхността се облъчва с електронен поток. Записва се и се анализира енергетичният спектър на емитираните вторични електрони, който дава информация за химическия състав и за количеството на компонентите, съдържащи се в материала, в мястото на анализа [2].

В разглеждания случай се изследват две области от материала на пръстена: 1 — разположена непосредствено до линията на разрушаване, където се наблюдават отделни по-тъмни петна, и 2 — разположена в страни от пукнатината на разстояние от нея около  $1 \cdot 10^{-2}$  m, където повърхността няма видими изменения и нееднородности (фиг. 1).

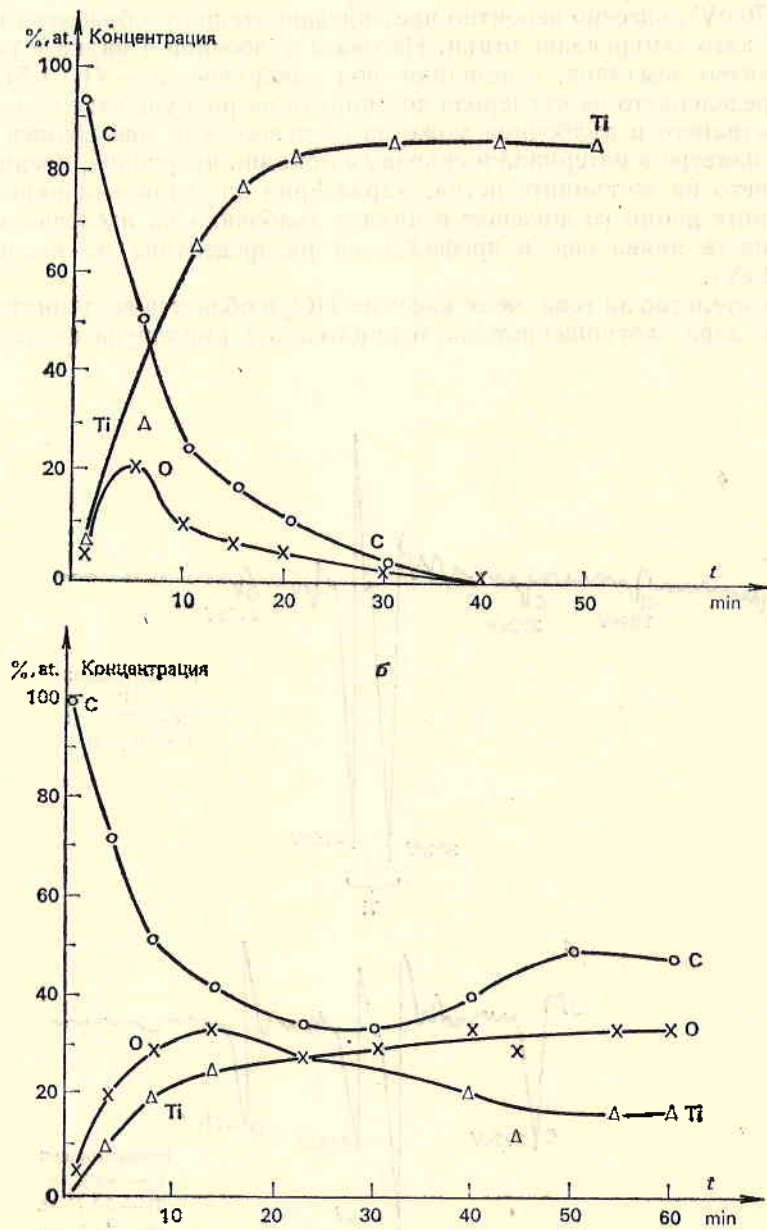
Йонната бомбардировка се осъществява при енергия и плътност на йонния поток съответно 2500 eV и  $10 \cdot 10^{-3}$  A/m<sup>2</sup>, ъгъл на взаимодействие с повърхността 17° и площ  $2 \cdot 10^{-6}$  m<sup>2</sup>. Анализираният участък е значително по-малък — петно с диаметър около  $3 \cdot 10^{-5}$  m, с което се осигурява висока чистота на анализа.



Фиг. 2. Оже-спектри на дълбочина под повърхността на пръстена  $5 \cdot 10^{-6}$  m  
а — до линията на разрушаване, б — в страни от нея

Общият ток на първичните електрони е  $1.10^{-7}$  А.

Регистрираните компоненти на материала на пръстена са: титан (основен градивен елемент), кислород, въглерод, следи от хлор и аргон. Тяхното разпределение на самата повърхност и непосредствено под нея е неравномерно, както се вижда от спектрите на фиг. 2, отнасящи се за двете изследвани области: *a* — до линията на разрушаване, и *b* — встрани от нея (дълбочина под повърхността  $5.10^{-8}$  m).

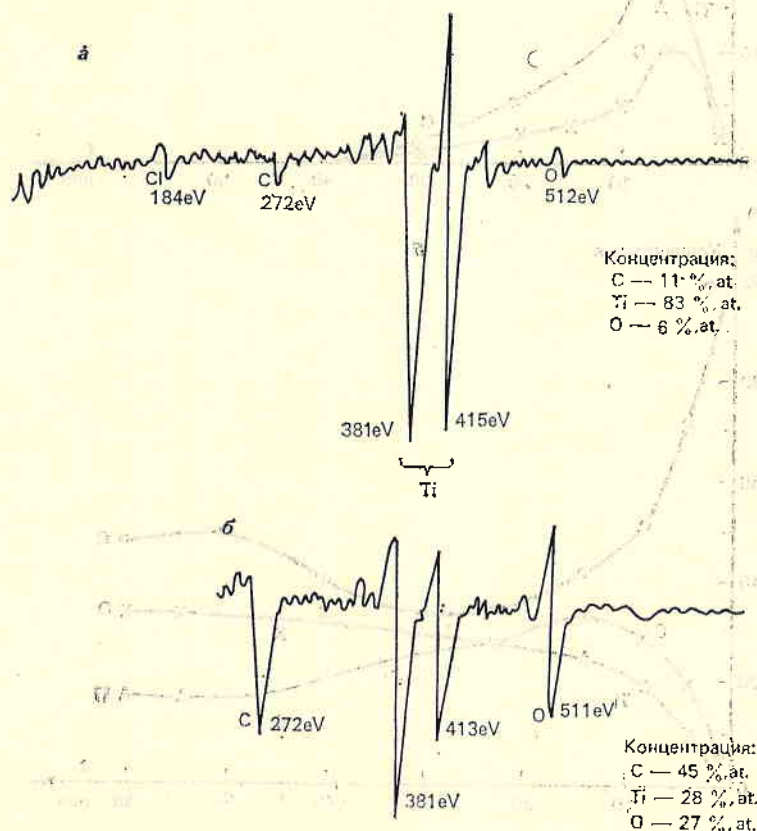


Фиг. 3. Разпределение на C, O и Ti във функция от времето на йонното разпръскване  
*a* — встрани от линията на разрушаване, *b* — до нея

Спектрите на Ожѐ, регистрирани на различна дълбочина, позволяват да се получи профилът на разпределение на компонентите, показан на фиг. 3, като функция от времето на йонно разпрашване. Скоростта на разпрашването при указания режим на йонно третиране при чистия титан е  $5 \cdot 10^{-9}$  m/min. Разпределението на фиг. 3а се отнася за областта встрани от линията на разрушаване, а на фиг. 3б — до нея. Първото е типично за изследвания материал. На повърхността е регистрирано голямо количество въглерод С (272–276 eV), внесено вероятно чрез предварителната обработка или впоследствие като замърсяване отвън. Неговата дълбочина е малка и количеството му рязко намалява, изчезвайки под повърхността —  $(1-1,5) \cdot 10^{-7}$  m.

Разпределението на въглерода до линията на разрушаване е по-сложно. Тук нарастването в дълбочина може да се отнесе към дифузионен процес, протекъл навътре в материала и свързан с локално нагряване, предизвикало възникването на по-тъмните петна, характерни за титановия окис. Експерименталните данни го доказват в цялата дълбочина на изследвания слой. В подкрепа се явява още и профилът на разпределение на кислорода О (511–512 eV).

Доказателство за това, че се касае за  $TiO_2$  в областта до линията на разрушаване, дава съотношението на отрицателната амплитуда на двата тита-



Фиг. 4. Ожѐ-спектри на дълбочина  $1 \cdot 10^{-7}$  m  
а — встрани от линията на разрушаване, б — до нея

нови пика в спектър Ti (383—418 eV). При неокисления титан те са еднакви — фиг. 4а (встрани от липията на разрушаване), и различни при окисленото състояние — фиг. 4б (дълбочина под повърхността  $1 \cdot 10^{-2}$  m) [3].

В заключение от проведеното изследване и от получените резултати могат да се направят следните изводи:

1. От профила на разпределение на компонентите при двата анализирани обекта и от установеното окисление на титана следва, че разрушението е предизвикано от вътрешни напрежения вследствие на локално нагряване до температура, съответстваща на образуването на  $TiO_2$  и достатъчна за активна дифузия на въглерода към вътрешността на материала. Способстващи фактори могат да бъдат и някои структурни неоднородности, започващи от повърхността.

2. Според експерименталните данни такова локално нагряване е възникнало в процеса на производството на пръстена или при случаен електрически разряд върху повърхността. Условията за експлоатация на двигателя практически го изключват, тъй като изследваният елемент е разположен във вътрешността на тялото на самолета и е защитен от случайни въздействия.

3. При анализа не са открити следи от чужд метал, внесени чрез удар или в разтопено състояние във вид на капки.

Проведеното изследване на титановия пръстен от корпуса на компресора по метода на електронната спектроскопия на Оже и получените експериментални резултати дават основание този метод да бъде препоръчан в изследователската практика при изучаване особеностите на материалите и процесите в авиационната техника.

Неговите предимства в сравнение с другите използвани методи за анализ на материалите (химически, спектрален и др.) са високата чувствителност, разделителната способност и възможността за прецизно изследване на повърхността и на тънки покрития, наличието на локални особености и неоднородности.

## Литература

1. Карлсон, Т. Фотоелектронная и Оже-спектроскопия. Л., Машиностр., 1981.
2. Орлинов, В., Г. Младенов. Електронни и йонни методи и устройства за обработка и анализ на веществото. С., Техника, 1982.
3. Виггоу, В. J., А. Е. Морган, Р. С. Елвансг. — J. Vac. Sci. Techn. A4(6), 1986, p. 2463.

Постъпили на 6. III. 1989 г.

Using the method of electronic spectroscopy  
(AES) for the analysis of cracks on the body  
of aircraft engines

*Dimitar Iordanov, Yulika Simeonova, Anton Shopov*

(S u m m a r y)

Titanium alloy within the scope of middle-size cracks (destructions) found out in aircraft engines technical inspection has been considered.

Non-typical increase of carbon within the material surrounding the cracks and local spots resulting from oxidizing the titanium alloy have been observed. A conclusion has been made about the advisability of using the AES method for the analysis of non-typical structural characteristics and non-homogeneities in materials used for aircraft technics.