Ακουστική Μικροσκοπία Σάρωσης

Scanning Acoustic Microscopy (SAM)

Απεικόνιση Βλάβης σε Αεροπορικά Υλικά

http://mss-nde.uoi.gr/greek/537 - ETE 908/index.html

Εφαρμογή Ακουστική Μικροσκοπίας

Υποβάθμιση της διεπιφάνειας ίνας-μήτρας σε
 μεταλλικά σύνθετα υλικά λόγω θερμοκρασιακής
 και μηχανικής καταπόνησης

Ακουστική Μικροσκοπία

- Για την απεικόνιση της τοπικής ταχύτητας
 Rayleigh στο υλικό
- Πλεονεκτήματα της τεχνικής:
 - Αυτοματοποίηση καθορισμού της ταχύτητας
 Rayleigh
 - Υλικό αναφοράς ίδεν απαιτείται για τον υπολογισμό της ταχύτητας SAW
 - Χρησιμοποιείται τυπικό σύστημα υπερήχων



Συχνότητα και Defocus



Μηχανισμός αντίθεσης εικόνας (contrast) στην Ακουστική Μικροσκοπία: καμπύλη ν(z)



Συλλογή δεδομένων

- Σύστημα υπερήχν παλμού (όχι tone-burst)
- Αισθητήρας 50 Mhz υψηλής εστίασης
- Η κυματομορφή συλλέγεται σε διαφορετικά βάθη απεστίασης,
 αρχίζοντας με τον αισθητήρα εστιασμένο στην επιφάνεια του υλικού



Ακουστική μικροσκοπία βραχέος παλμού



B-scan (z line) που περιέχει 1024 A-scans



Focused on the surface

Υπολογισμός της περιοδικότητας της καμπύλης V(z)



- Η καμπύλη V(z) πάλλεται γύρω από μια εκθετική καμπύλη
- Δύσκολος ο υπολογισμός της περιοδικότητας (Δz) με FFT

Καμπύλη αναφοράς



Αφαιρούμε την επίδραση της specular reflection
 Υπολογίζουμε την περιοδικότητα της καμπύλης V(z)
 χρησιμοποιώντας Fourier

Προσδιορισμός της καμπύλης v(z) χρησιμοποιώντας σήμα Tone-Burst

- Το κύμα Rayleigh και η specular reflection αλληλεπιδρούν
- Το πλάτος του σήματος tone-burst σε διαφορετικά βάθη περέχει απ' ευθείας την καμπύλη v(z)
- Δύσκολη αυτοματοποίηση



Μέθοδος Tone-burst

Καμπύλη V_L(z) : από υλικό αναφοράς (π.χ. μόλυβδο) που δεν εμφανίζει SAWs

ΠΕΡΙΟΡΙΣΜ¨ΟΙ: Απαιτεί τη χρήση του ίδιου αισθητήρα και ίδιες πειραματικές συνθήκες για τα υλικά αναφοράς και δοκιμής, και επίσης βαθμονόμηση των ηλεκτρονικών

Μέθοδος Βραχέος Παλμού

Software gate για την παρακολούθηση της specular reflection (γεωμετρική ανάκλαση) ταυτόχρονα με την πραγματοποίηση του V(z) scan.

Αυτό-βαθμονομούμενη μέθοδος - το V_R(z) φυσικά περιέχει τη specular reflection



Kαμπύλη V(z) ολόκληρου του B-scan (specular + Rayleigh)



Normalized defocus depth (mm)

Kαμπύλη V_R(z) της specular reflection







FFT: Κορυφή στα t 3.785E-3 cycles/μm \rightarrow Περίοδος: $\Delta z = 264.2 \ \mu m \rightarrow C_R = 3440$ m/s





Απεικόνιση με Ακουστική Μικροσκοπία χρησιμοποιώντας διαφορετικά μέσα σύξευξης



Σε Νερό

Σε Μεθανόλη

Ti-24Al-11Nb/SCS-6 Composite

TiMetal21S/SCS-6 Κόπωση σε θερμοκρασία δωματίου



Matrix cracking Bridging fibers Interface debonding

TiMetal21S/SCS-6 Composite A.M. @ 100 MHz



Θραύση ίνας σε TiMetal21S/SCS-6 Composite



Οξείδωση της διεπιφάνειας

TMCs reinforced with carbon coated SiC fibers have carbon rich interphase region, prone to oxidation at elevated temperatures

Need to understand the oxidation behavior leading to eventual failure



Effect of Stress – Temperature – Time R=0.1 (Pmax - 3.3 kN) 150 C-538 C; 36 Days at 0.0056 Hz; TMF Out-of-phase



Ti-24AI-11Nb/SCS-6: Θερμοκρασία δωματίου R = 0.1 (σ_{max} : 580 MPa); 1.01E+05 cycles @ 1 Hz



Ρηγμάτωνση μήτρας Με θραύση της διεπιφάνειας ίνας/μήτρας

Ανάλυση Πεπερασμένων Στοιχείων

- 3-D 20-noded isoparametric elements used
- Sample: 19 mm wide, 0.86 mm thick, with a hole of 3.1 mm diameter



Αποτελέσματα FEM



Ισοθερμική κόπωση 650 °C 1.82 E+05 Cycles; 50 Hours

←→ Fatigue Loading

Point of Accelerated Crack Growth to Failure

Interfacial Degradation due to Compressive Stresses

Interfacial Degradation due to Tensile Stresses

TiMetal / SCS-6 [0]

Αξιολόγηση της διεπιφανειακής οξείδωσης και συσσώρευσης βλάβης σε ΜΜC

1.54E+05 cycles during 43 Hrs @ 650 °C (isothermal)



Crack Initiation

Interfacial Degradation

Different pattern due to [0/90]s configuration

TiMetal / SCS-6 [0/90]s

2.51E+05 Cycles during 70 Hrs @ 650 °C (isothermal)

Fatigue Loading

Μαθηματικό μοντέλο διάχυσης

Classic Diffusion Equation (Modified Fick's Law)

$$\frac{\partial C}{\partial T} = D \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\partial C}{\partial x} - \frac{CF}{kT} \right]$$
$$= D \left[\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \frac{F}{kT} \frac{\partial C}{\partial x} - \frac{C}{kT} \frac{\partial F}{\partial x} \right]$$
$$= D C_{xx} - a C_x - b C$$

- C Oxygen concentration
- F Force
- **D** Diffusion coefficient
- k Boltzmann's constant
- T Temperature in degrees Kelvin

Boundary and initial conditions:

$$\begin{array}{l} x=0 \ , \ C \ = \ C_{0} \\ x \ \rightarrow \infty, \ C \ \rightarrow 0 \\ t \le 0, \ C = 0 \ (\text{for } x > 0) \end{array}$$



Αναλυτικές Λύσεις

$$C = \frac{C_0}{2} \left\{ e^{\frac{x}{2D} \left[a - \sqrt{a^2 + 4Db}\right]} erfd\left(\frac{x - \sqrt{a^2 + 4Dbt}}{2\sqrt{Dt}}\right) + e^{\frac{x}{2D} \left[a + \sqrt{a^2 + 4Db}\right]} erfd\left(\frac{x + \sqrt{a^2 + 4Dbt}}{2\sqrt{Dt}}\right) \right\}$$

For given concentration C* which leads to oxidation

$$C^* = \frac{C_o}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{X - at}{2\sqrt{Dt}}\right)$$

where, the oxidation distance

$$X = 2\sqrt{Dt} f\left(\frac{2C^*}{C_o}\right) + at \qquad f = \text{erfc}^{-1}$$

Μήκος Διεπιφανειακής Οξείδωσης Χ_ο

Η διαδικασία οξείδωσης είναι ένα πρόβλημα κινούμενου ορίου



 t_o : the time when interphase oxidation is first observed

Αποτελέσματα



Experimental		FEA		Calculated using the model and experimental results	
Angle	Oxidation Distance (mm)	Stress (MPa)	Stress Derivative (MPa/mm)	Diffusion rate (cm ² /sec) (x10 ⁻¹²)	
29.0	0.9	12.71	128.5	8.2	
35.9	1.5	38.51	114.1	8.5	
43.9	1.7	95.86	11.33	4.6	
61.0	3.9	332.9	-544.3	3.2	

Αποτελέσματα

Oxidation Distance vs. Stress



- Stress is relieved after oxidation occurs (due to gasification of interphase)
- In FEA no stress relief mechanism
- High angle regions have lower stress concentration than predicted in FEA



Σύγκριση ανάμεσα στη θεωρητική πρόβλεψη και στον πειραματικό προσδιορισμό της οξείδωσης





Θεωρητική πρόβλεψη