

---

# Θέμα: Οι μη καταστροφικοί έλεγχοι στην Πολεμική Αεροπορία.

Εισηγητές: Χρ. Πασιαλάκος, Σγος (ΤΑ), ΔΑΥ, Λ. Κομποτιάτης, ΜΜ, ΚΕΤΑ.

---

## 1. Οι μη καταστροφικοί έλεγχοι στην Πολεμική Αεροπορία

Η ανεξάντλητη ποικιλία των σύγχρονων αεροπορικών κατασκευών με τις εκπληκτικές μορφές και τις τολμηρές διαστάσεις, φέρνει συνεχώς το μηχανικό αντιμέτωπο με ένα πλήθος τεχνικών προβλημάτων που η επίλυσή τους απαιτεί βαθιά γνώση της αεροναυπηγικής όπως αυτή διαμορφώθηκε τα τελευταία χρόνια.

Ένα από αυτά τα προβλήματα είναι οι ρωγμές. Η μηχανική αυτή αστοχία, όταν παρουσιάζεται σε ένα εξάρτημα που αποτελεί τμήμα μιας συγκεκριμένης αεροπορικής κατασκευής προκαλεί μέχρι και ολοκληρωτική καταστροφή της (θραύση).

Για την Πολεμική Αεροπορία η αντιμετώπιση των ρωγμών, με τη γνώση σε όλους - φιλοσοφία/μέθοδο μη καταστροφικού ελέγχου (ΜΚΕ) της δομικής αξιοπιστίας των οπλικών/προωθητικών συστημάτων της, αφ' ενός επέδρασε και συνεχίζει να επιδρά θετικά στην ασφάλεια πτήσεων και αφ' ετέρου χρησιμεύει στο συνεχή προσδιορισμό και επαναπροσδιορισμό της υπολειπόμενης ασφαλούς ζωής των οπλικών συστημάτων της.

Αποτέλεσμα είναι η υψηλή επιχειρησιακή ετοιμότητα, το απαιτητό από την Π.Α. μέγεθος ασφαλείας πτήσεων και ελαχιστοποίηση του λειτουργικού κόστους των συστημάτων της. Οι δε ΜΚΕ αυτοδίκαια χαρακτηρίζονται πλέον σαν «εργαλείο» της δομικής εξασφάλισης για την Π.Α.

### 1.1. Χρησιμοποιούμενοι ΜΚΕ στην Πολεμική Αεροπορία

Η Π.Α. σήμερα χρησιμοποιεί ευρέως και τους ακόλουθους έξι (6), -κλασικούς πια- ΜΚΕ:

- Οπτικό έλεγχο
- Μαγνητικό έλεγχο (MPI)
- Έλεγχο με διεισδυτικά υγρά (FPI)
- Έλεγχο με δινορρεύματα (ECI)
- Ακτινογραφικό έλεγχο (X-RAY) και
- Έλεγχο με υπερήχους (Ultrasonic)

εκτελώντας ετησίως περί τους 35.000 ελέγχους στο σύνολο των επηρεαζομένων - από τους ΜΚΕ - εξαρτημάτων και μηχανισμών των οπλικών και προωθητικών συστημάτων της. Για τους ανωτέρω ελέγχους, χρησιμοποιούνται 192 διαφορετικά είδη εξοπλισμού ΜΚΕ από σύνολο 116 ατόμων εξειδικευμένα στο αντικείμενο.

Οι ανωτέρω έλεγχοι εκτελούνται είτε κατά τη διάρκεια της περιοδικής/προγραμματισμένης συντήρησης των υπόψη συστημάτων, είτε κατά τη διάρκεια «ειδικών επιθεωρήσεων», που εκτελούνται όταν συγκεκριμένες συνθήκες/παράγοντες πτήσης άμεσα συνδεδεμένες με τη δομική καταπόνηση των εξαρτημάτων/μηχανισμών συμβαίνουν.

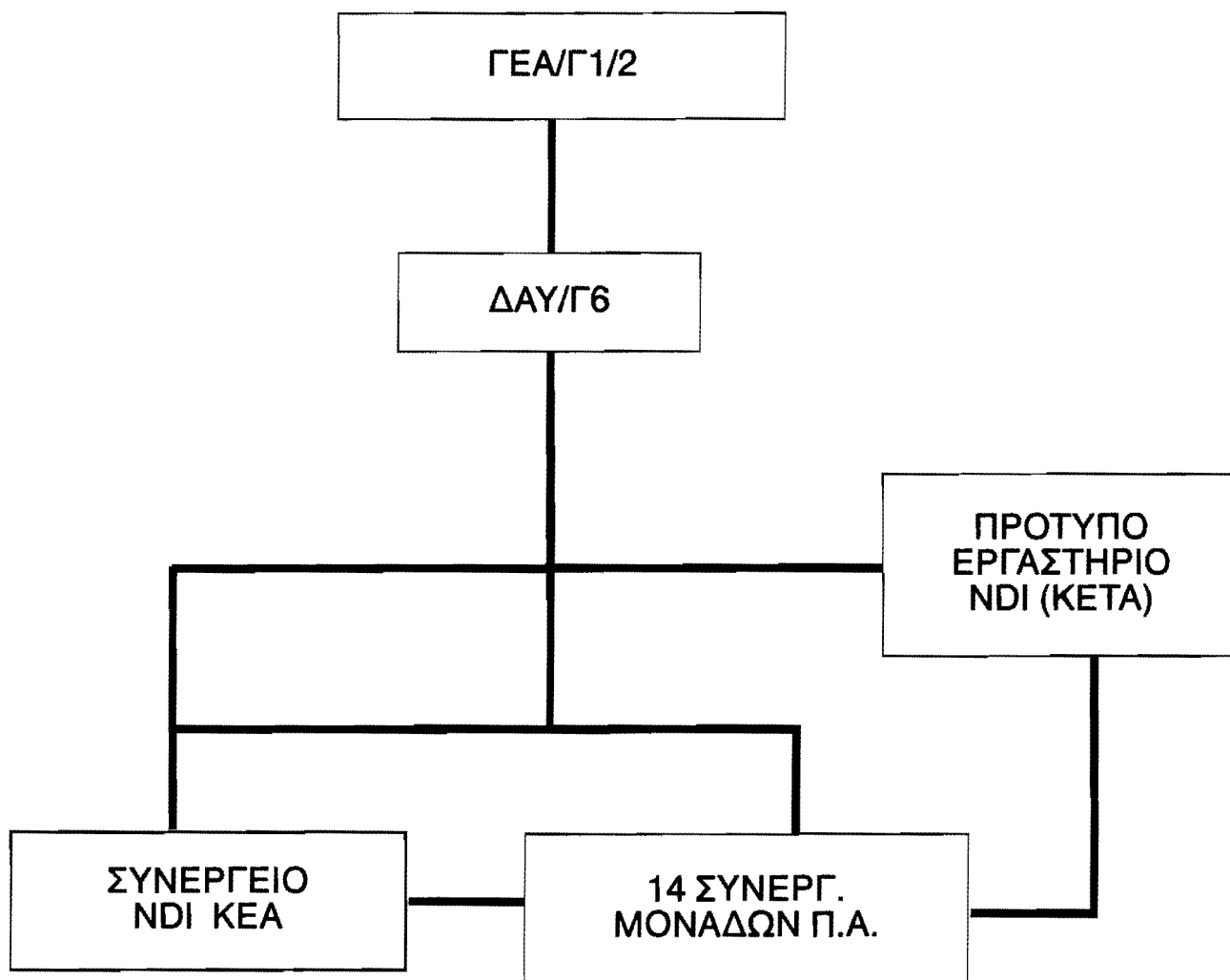
Άλλο ευρύτατο πεδίο εφαρμογής των ΜΚΕ στην Π.Α. είναι επίσης τα Προγράμματα Δομικής/Λειτουργικής Ακεραιότητας Α/Φ και Α/Κ τα λεγόμενα ASIP & ENSIP. Τα υπόψη προγράμματα στηριζόμενα στη φιλοσοφία σχεδίασης «ανοχής ζημιάς» (Damage Tolerance) προσδιορίζουν την ασφαλή ζωή των δομικών στοιχείων των Α/Φ και Α/Κ, ανεξάρτητα με την αρχικά υπολογισθείσα από τον κατασκευαστή, λαμβάνοντας υπόψη το ρεαλιστικό φάσμα καταπόνησης του χρήστη - στην προκειμένη περίπτωση της Π.Α. Στον τομέα αυτό η χρήση των ΜΚΕ ανιχνεύει και καταγράφει τη δομική ποιότητα των κρίσιμων περιοχών του Α/Φ ή και Α/Κ, με βάση δε τα μεγέθη των ρωγμών που ανευρίσκονται, προσδιορίζεται η περιοδικότητα επιθεωρήσεων, η ταχύτητα ανάπτυξης των ρωγμών, το κρίσιμο μέγεθος προ της πρόκλησης καταστροφικής αστοχίας, και συνεπώς η υπολειπόμενη ασφαλής ζωή του εξαρτήματος/μηχανισμού.

### 1.2. Οργάνωση των ΜΚΕ στην Π.Α

Όπως φαίνεται και στο σχετικό διάγραμμα 1 η οργάνωση επί του αντικειμένου στην Π.Α. αποτελείται από:

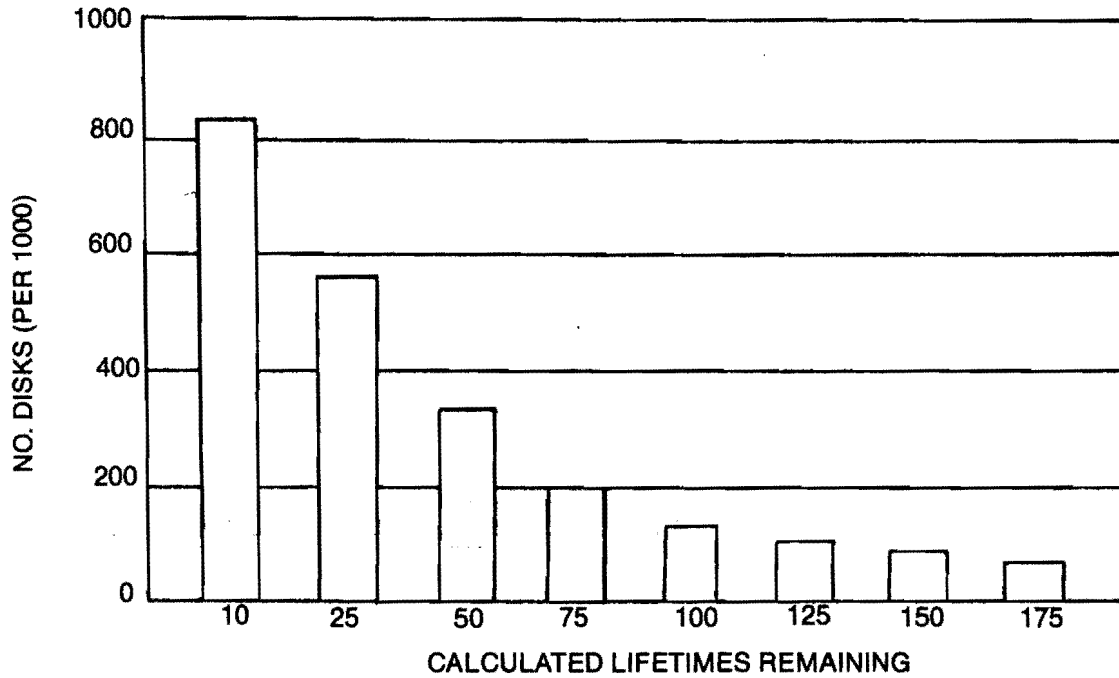
α. Δύο (2) επιτελικούς φορείς (ΓΕΑ & ΔΑΥ) με πολυδιάστατο έργο (σχεδιασμού, υιοθέτησης νέων τεχνο-

ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΝΔΙ ΣΤΗΝ Π.Α.

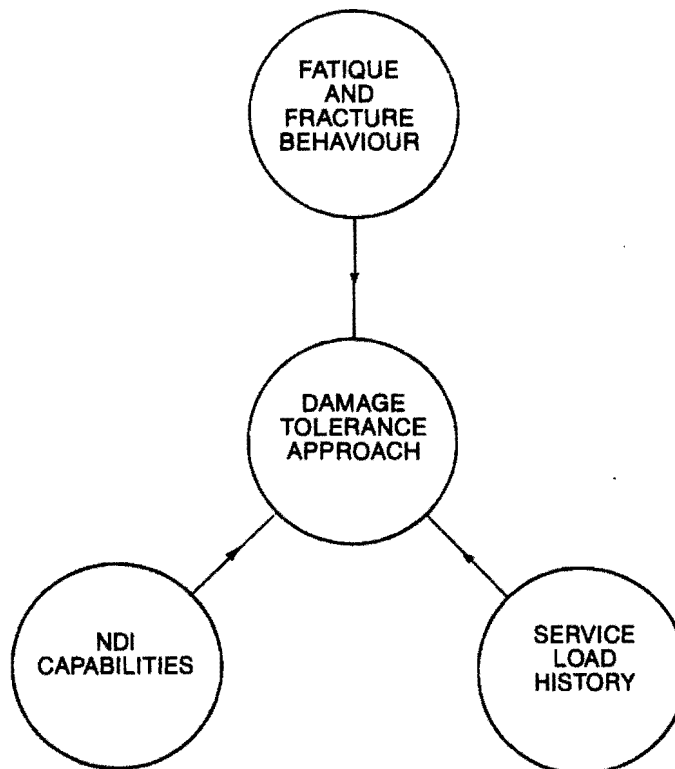


Διάγραμμα 1.

THE MAJORITY OF DISKS HAVE USEFUL LIFE AFTER RETIREMENT.  
THE RETIREMENT CRITERION IS BASED ON SAFE LIFE APPROACH



Σχήμα 1.



Application of damage tolerance approach necessitates knowledge of fatigue and fracture behaviour, service load history and NDI capabilities

Σχήμα 2.

λογιών, εξασφάλιση προσωπικού και εξοπλισμού και βιβλιογραφίας, αξιολόγηση γνώσεων προσωπικού, εκπαίδευση, επίλυση τυχόν προβλημάτων, εισαγωγή και ανάπτυξη νέων μεθόδων NDI) κ.λπ.

β. Ένα (1) πρότυπο εργαστήριο ΜΚΕ (ΚΕΤΑ) με έργο την εξέταση και τη δυνατότητα υιοθέτησης των νέων αναπτυσσόμενων τεχνολογιών NDI από την Π.Α., καθώς και την ανάπτυξη διαδικασιών/μεθόδων ΜΚΕ σε εξαρτήματα Α/Φ και Α/Κ που δεν καλύπτονται από τον κατασκευαστή τους.

γ. Δεκαπέντε (15) παραγωγικά συνεργεία ΜΚΕ (μαζί με αυτό του ΚΕΑ) που εκτελούν το προαναφερθέν έργο. Τα υπόψη συνεργεία για επιβολή του έργου τους χρησιμοποιούν συγκεκριμένα τεχνικά εγχειρίδια (TECH, ORDERS), όπου αναλυτικά αναγράφονται στο υπό έλεγχο εξάρτημα, οι αναμενόμενες περιοχές ανεύρεσης ρωγμών, τα είδη των ρωγμών, η μέθοδος NDI που πρέπει να χρησιμοποιηθεί, η διαδικασία εφαρμογής της και τα όρια ρωγμών για την αποδοχή ή απόρριψή του.

### 1.3. Προσωπικό ΜΚΕ στην Π.Α

Το προσωπικό της Π.Α. που ενασχολείται με το αντικείμενο, αναλόγως δραστηριότητας, είναι τεχνικό προσωπικό αντίστοιχης κατάρτισης, που προηγουμένως εκπαιδεύεται σε αντίστοιχο σχολείο του ΚΕΑ με διδακτέα ύλη όμοια με αυτή του αντίστοιχου σχολείου της USAF.

Επιπρόσθετα εκπαιδεύεται στα αντίστοιχα σχολεία της ΗΠΑ «NDI Technicks και Advanced NDI Technicks» αποκτώντας εξουσιοδότηση επιπέδου I, II και III (Level, I, II, III). Για τη διατήρηση των γνώσεων το προσωπικό ΜΚΕ της Π.Α. παρακολουθεί τακτικά σεμινάρια, ενώ υπόκειται σε ετήσια γραπτή αξιολόγηση των γνώσεών του.

Όταν δε εισάγεται στην Π.Α. νέα μέθοδος/τεχνολογία ΜΚΕ, τότε καλούνται ειδικοί (specialists) από τους κατασκευαστικούς οίκους που εκπαιδεύουν έναν πυρήνα προσωπικού ΜΚΕ της Π.Α., ώστε στη συνέχεια ο υπόψη πυρήνας να εκπαιδεύσει το σύνολο του ανωτέρω προσωπικού.

Η εξουσιοδότηση του ανωτέρω προσωπικού παρέχεται με βάση την ισχύουσα νομοθεσία μέσω διαδικασιών/οδηγιών που μνημονεύεται σε πάγιες διαταγές της Π.Α. από τους προαναφερθέντες επιτελικούς φορείς.

## 2. Εξελίξεις και προοπτικές του τεχνολογικού τομέα των Μ.Κ.Ε.

Σημαντικές εξελίξεις στον τεχνολογικό τομέα των Μ.Κ.Ε. έχουν επέλθει αφ' ότου εφαρμόστηκαν ουσιαστικές αλλαγές στη φιλοσοφία σχεδίασης και συντήρησης αεροπορικών εξαρτημάτων. Οι αλλαγές αυτές προσδιόρισαν ένα ρόλο για τους Μ.Κ.Ε. με βαρύνουσα σημασία, όπως θα φανεί στη συνέχεια με την ιδιαίτερη αναφορά που γίνεται στον τομέα των κινητήρων.

### 2.1. Κινητήρες

Οι κινητήρες αποτελούν ιδιαίτερα εξελιγμένα τεχνολογικά και πολύπλοκα από πλευράς σχεδίασης τμήματα των αεροσκαφών. Περιλαμβάνουν εξαρτήματα πολλά εκ των οποίων είναι κρίσιμα από την άποψη ότι αστοχία τους έχει καταστροφικές συνέπειες για το σύνολο του αεροσκάφους.

Ηδη από το 1970 υπάρχει συνεχώς αυξανόμενη απαίτηση για απόδοση μεγαλύτερης προωθητικής ισχύος. Αυτό οδήγησε σε εξαρτήματα με πολύπλοκη σχεδίαση που κατασκευάζονται από ακριβή πρώτη ύλη. Αποτέλεσμα ήταν η σημαντική αύξηση κόστους κατασκευής και συντήρησης.

Βασική παράμετρος για τον καθορισμό του κόστους ήταν η χρονική διάρκεια της ασφαλούς χρησιμοποίησης των εξαρτημάτων ήτοι της «ζωής» τους. Αρχικά ο προσδιορισμός της ζωής γίνονταν με βάση τη σχεδιαστική φιλοσοφία «safe life». Σύμφωνα με τη φιλοσοφία αυτή, το συγκεκριμένο εξάρτημα του κινητήρα, π.χ. δίσκος, χρησιμοποιείτο για χρόνο ίσο με εκείνο που προσδιορίζονταν ότι ένα στα χίλια ομοειδή εξαρτήματα (δίσκοι) ανέπτυσε ρωγμή ολιγοκυκλικής κόπωσης (LCF) ορισμένου μήκους. Αυτό σήμαινε ότι 999 δίσκοι (99.9 %) χωρίς άλλη εξέταση και οι οποίοι πιθανόν να είχαν σημαντική υπολειπόμενη ζωή για περαιτέρω αξιοποίηση όπως φαίνεται στο σχήμα 1.

Το εξαιρετικά υψηλό κόστος που συνδέεται με τη διαδικασία αυτή (απόρριψη εξαρτημάτων που κατασκευάζονται κατά κύριο λόγο από κράματα νικελίου και κοβαλτίου, δηλαδή υλικών που σπανίζουν) επέβαλε την ανάπτυξη νέων ασφαλών μεθόδων για τον προσδιορισμό της χρήσιμης ζωής των εξαρτημάτων με σαφώς καλύτερα οικονομικά αποτελέσματα.

Πράγματι, αναπτύχθηκε η σχεδιαστική φιλοσοφία ανοχής βλάβης (damage tolerance) που βασικό της στοιχείο είναι η παραδοχή ύπαρξης ατελειών-ασυνεχειών (π.χ. ρωγμών) στα εξαρτήματα, καινούργια ή μη, και οι οποίες ασυνέχειες εξελίσσονται και επεκτείνονται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας. Στην περίπτωση αυτή, το κάθε εξάρτημα απορρίπτεται επί ατομικής βάσης και εφόσον έχει αναπτύξει ρωγμή ορισμένου μήκους. Έτσι επιτυγχάνεται η πλήρης εκμετάλλευση του εξαρτήματος για όσο χρονικό διάστημα μπορεί αποδεδειγμένα να χρησιμοποιηθεί με ασφάλεια. Η εφαρμογή της σχεδιαστικής αυτής φιλοσοφίας βασίζεται, μεταξύ άλλων σε δύο ουσιώδεις τεχνολογικούς τομείς (σχήμα 2) ήτοι:

- την εφαρμοσμένη θραυστομηχανική
- τους μη καταστροφικούς ελέγχους (Μ.Κ.Ε.)

### 2.2. Εφαρμοσμένη θραυστομηχανική

Για την εφαρμογή της θραυστομηχανικής απαιτούνται ποσοτικές πληροφορίες για τις ακόλουθες παραμέτρους:

- λειτουργικά φορτία
- χαρακτηριστικά του υλικού
- ευαισθησία και αξιοπιστία των Μ.Κ.Ε.
- πειραματικά στοιχεία επέκτασης ρωγμής

- τυπικό φάκελο αποστολής κινητήρα (Mission Profile).

Οι τιμές μερικών από τις παραμέτρους αυτές δεν μπορούν να ορισθούν μονοσήμαντα, αλλά περιγράφονται καλύτερα με μια στατιστική κατανομή.

Σύμφωνα με την πρακτική της θραυστομηχανικής, εντοπίζονται κατ' αρχήν τα κρίσιμα σημεία του εξαρτήματος (δίσκου), τα οποία υποτίθεται ότι περιέχουν ρωγμή με μήκος κάτω από το όριο ανίχνευσης της μεθόδου M.K.E. που χρησιμοποιείται. Η ρωγμή αυτή κατά τη λειτουργία επεκτείνεται μέχρις ότου αποκτήσει κρίσιμο μήκος  $a_c$ . Η ταχύτητα επέκτασης της ρωγμής και το κρίσιμο μήκος υπολογίζονται αναλυτικά με βάση τα φορτία λειτουργίας και τις ιδιότητες του υλικού κατασκευής. Ο χρόνος ή οι κύκλοι φόρτισης που απαιτούνται για την επέκταση της υποτιθέμενης ρωγμής από ένα αρχικό μήκος  $a_1$  μέχρι το κρίσιμο μήκος  $a_c$  χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό του ασφαλούς διαστήματος επιθεώρησης (SII) διαιρώντας τη συνολική ζωή με ένα συντελεστή ασφάλειας που συνήθως είναι 2 (με τεχνικοοικονομική ανάλυση είναι δυνατόν να προσδιορισθεί ο πλέον κατάλληλος συντελεστής).

Κανονικά η πρώτη επιθεώρηση συμπίπτει με το τέλος της αρχικής ζωής που έχει προσδιορισθεί με βάση τη διαδικασία safe life. Μόνον ένας στους 1000 δίσκους που ελέγχονται πρέπει να έχει ρωγμή και να απορρίπτεται. Οι υπόλοιποι πρέπει να επαναχρησιμοποιηθούν για το ασφαλές διάστημα (SII) που έχει υπολογισθεί. Η συνολική διαδικασία φαίνεται στο σχήμα 3.

Οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό του ασφαλούς διαστήματος SII είναι οι ακόλουθες:

$$\Delta K = \Delta \sigma \cdot \sqrt{\lambda \pi a} \quad (1)$$

$$\frac{da}{dN} = C^* (\Delta K)^n \quad (2)$$

$$N_c = \frac{1}{C^* (\Delta \sigma \sqrt{\lambda \pi})^n} \int_{a_1}^{a_c} (\lambda^* C)^{n/2} da \quad (3)$$

$$SII = \frac{N_c}{2} \quad (4)$$

όπου K: Stress Intensity Factor

$\sigma$ : φορτίο

a: μήκος ρωγμής

$\lambda, C, n$ : σταθερές

$\frac{da}{dN}$ : επέκτασης ρωγμής ανά κύκλο φόρτισης

$N_c$ : κύκλοι φόρτισης

Η εξίσωση (1) καθορίζεται από τη μορφολογία της κρίσιμης περιοχής ενώ η (2) προσδιορίζεται πειραματικά με τη βοήθεια δοκιμών που φαίνονται στα σχήματα (δοκιμία CT).  $N_c$  είναι ο αριθμός κύκλων φόρτισης που απαιτούνται για επέκταση της ρωγμής από το αρχικό μήκος  $a_1$  στο κρίσιμο μήκος  $a_c$  και προκύπτουν αφού γίνει αντικατάσταση του  $\Delta K$  που δίνεται από την εξίσωση (1) στην εξίσωση (2) και στη συνέχεια ολοκλη-

ρωση.

Ο προσδιορισμός της ασφαλούς ζωής με τη θραυστομηχανική μπορεί να γίνει είτε με την καθοριστική διαδικασία (deterministic) είτε με την πιθανολογιστική (probabilistic). Στην πρώτη σαν τιμές των διαφόρων παραμέτρων χρησιμοποιούνται συγκεκριμένες τιμές που είναι οι χειρότερες δυνατές. Επειδή στην πράξη τέτοιες τιμές είναι πολύ πιθανόν να μην παρατηρηθούν, τα αποτελέσματα είναι συντηρητικά. Στην πιθανολογιστική διαδικασία χρησιμοποιούνται και πάλι οι ίδιες εξισώσεις (1-4) με τη διαφορά ότι παράμετροι  $a_1, a_c, C$  και  $n$  χρησιμοποιούνται σαν τυχαίες μεταβλητές με γνωστή ή υποτιθέμενη κατανομή οπότε και προσδιορίζεται μια κατανομή τιμών για το  $N_c$  και ένα εύρος τιμών για το SII.

Από την εξίσωση (3) φαίνεται σαφώς και η επίδραση που έχει η τιμή του  $a_1$  στο συνολικό αριθμό κύκλων  $N_c$ . Όσο μικρότερο είναι το  $a_1$  τόσο περισσότεροι είναι οι κύκλοι και συνεπώς μεγαλύτερο το διάστημα επιθεώρησης. Η τιμή του  $a_1$  εξαρτάται από τη διαδικασία μη καταστροφικού ελέγχου που εφαρμόζεται.

### 2.3. Μη καταστροφικοί έλεγχοι

Με δεδομένη την επίδραση που ασκεί η τιμή του  $a_1$  στην τεχνικοοικονομική εφαρμογή του damage tolerance, προκύπτει και ο ρόλος των ΜΚΕ στη διαδικασία αυτή. Καθοριστική παράμετρος είναι πλέον όχι το ελάχιστο ανιχνεύσιμο μήκος ρωγμής, αλλά το μέγιστο που τυχόν δεν ανιχνεύτηκε, γεγονός που εξαρτάται από την αξιοπιστία της μεθόδου που εφαρμόζεται.

Συνεπώς, εφαρμογή του D.T. απαιτεί χρησιμοποίηση μη καταστροφικών μεθόδων υψηλής αξιοπιστίας. Η απαίτηση αυτή ώθησε την ανάπτυξη των ΜΚΕ προς ορισμένες κατευθύνσεις ήτοι:

- ανάπτυξη πλήρως αυτοματοποιημένων συστημάτων ελέγχου

- ανάπτυξη του θεωρητικού και πρακτικού υποβάθρου με βάση τη θεωρία των πιθανοτήτων για την ποσοτική έκφραση των αποτελεσμάτων των ΜΚΕ.

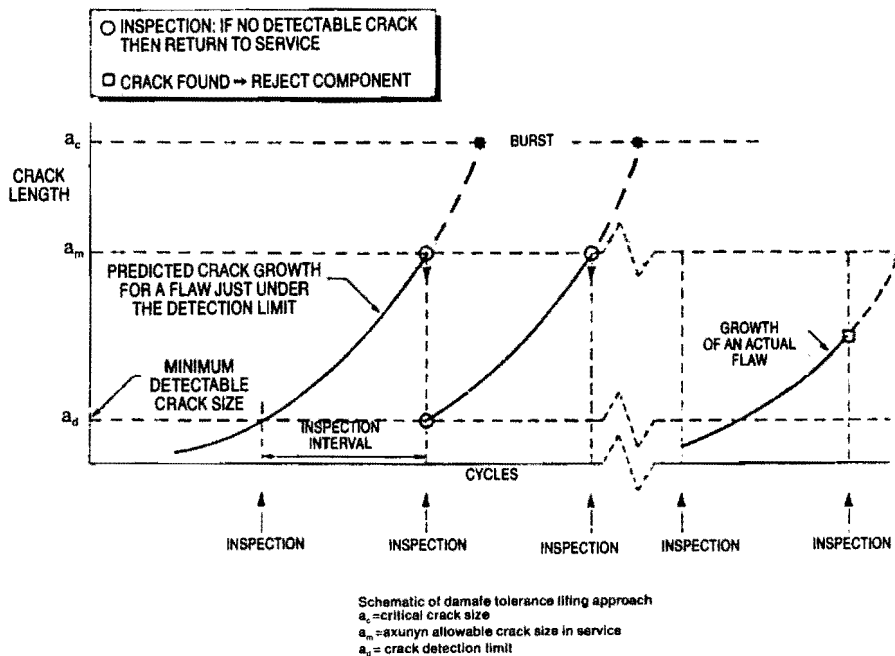
### 2.4. Αυτόματα συστήματα

Είναι γνωστό ότι ο ανθρώπινος παράγων εισάγει σφάλματα στους ΜΚΕ. Συνεπώς, ο αποκλεισμός του αυξάνει την αξιοπιστία των ελέγχων.

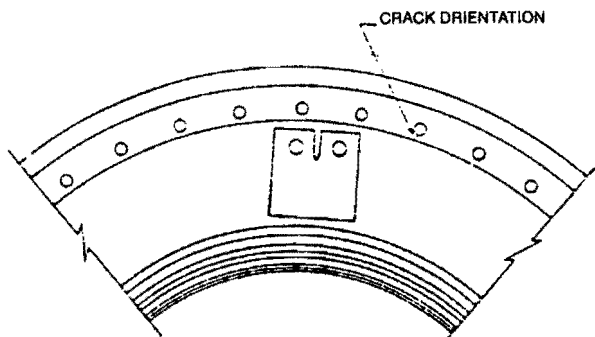
Ήδη από το 1981 ξεκίνησε μια δραστηριότητα στις ΗΠΑ για την ανάπτυξη ενός πλήρως αυτοματοποιημένου συστήματος ελέγχου που θα είχε την ικανότητα να ανιχνεύει αξιόπιστα (90/95%) ρωγμές μεγέθους  $0.005 \times 0.010''$  σε εξαρτήματα του κινητήρα F100 Pratt & Whitney. Το σύστημα (σχ. 6,7) τέθηκε σε λειτουργία το 1985 αφού πιστοποιήθηκε με βάση διαδικασίες που προκαθορίστηκαν. Μέσα σε ένα έτος είχε αποσβεσθεί.

### 2.5. Ποσοτική έκφραση της αξιοπιστίας των ΜΚΕ

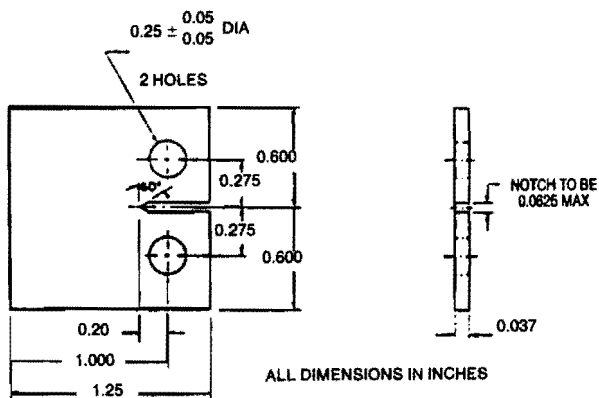
Βασικό στοιχείο μιας διαδικασίας ελέγχου είναι η ικανότητα να διακρίνει ατέλειες που είναι μικρότερες ή μεγαλύτερες από ένα συγκεκριμένο μέγεθος. Ένας



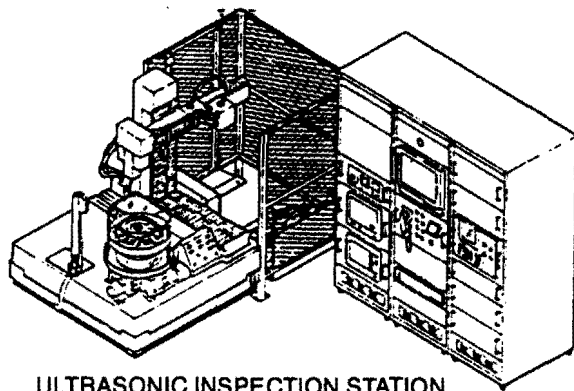
Σχήμα 3.



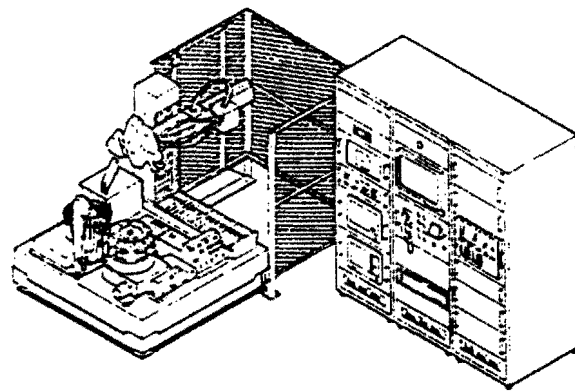
Σχήμα 4.



Σχήμα 5.



ULTRASONIC INSPECTION STATION



EDDY CURRENT INSPECTION STATION

Σχήμα 6.

ιδεώδης έλεγχος θα απορρίπτει όλα τα εξαρτήματα που έχουν ατέλειες μεγαλύτερες μιας συγκεκριμένης τιμής, ενώ θα περνά όσα έχουν μικρότερες. Βέβαια στην πράξη αυτό δεν ισχύει, δεδομένου ότι υπάρχει μια πεπερασμένη μεταβατική περιοχή μεταξύ ατελειών με υψηλή πιθανότητα απόρριψης και ατελειών με υψηλή πιθανότητα αποδοχής. Όσο περισσότερο περιορισμένη είναι η περιοχή, τόσο πιο αποτελεσματική είναι η συγκεκριμένη μέθοδος ελέγχου και μικρότερη η αβεβαιότητα ή μεγαλύτερη η αξιοπιστία της.

Η εφαρμογή του damage tolerance επιβάλλει την πλήρη ποσοτική περιγραφή της αξιοπιστίας των εφαρμόζομενων ΜΚΕ τόσο για λόγους πιστοποίησης, όσο και για τη χρησιμοποίησή της για τη λήψη αποφάσεων. Για το σκοπό αυτό αναπτύχθηκαν ειδικά αναλυτικά εργαλεία με βάση τη θεωρία των πιθανοτήτων.

Η πλέον συνήθης διαδικασία είναι ο προσδιορισμός της καμπύλης POD (Probability of Detection = Πιθανότητα Ανίχνευσης) συναρτήσεως του μήκους ρωγμής  $a$  (σχ. 8, 9, 10). Η POD ορίζεται ως ο λόγος του αριθμού των ρωγμών ορισμένου μήκους που ανιχνεύτηκαν προς το συνολικό αριθμό των ρωγμών του ίδιου μήκους. Διάφορα μαθηματικά μοντέλα έχουν χρησιμοποιηθεί για την περιγραφή της σχέσης αυτής ενώ σχετικές στατιστικές κατανομές έχουν χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του ορίου εμπιστοσύνης.

Οι καμπύλες POD -  $a$  χρησιμοποιούνται κατ' αρχήν για τον προσδιορισμό της αξιοπιστίας των ελέγχων τόσο με αυτόματα συστήματα, όσο και μη. Επίσης χρησιμοποιούνται και για τον προσδιορισμό της επίδρασης μεμονωμένα ή και σε συνδυασμό διαφόρων παραμέτρων που επηρεάζουν τα αποτελέσματα των διαφόρων μεθόδων ΜΚΕ (πίνακες 1, 2, 3, 4). Μεταβολή κάποιων παραμέτρων έχει άμεση επίπτωση στη μορφή της καμπύλης POD όπως φαίνεται στο σχ. 11. Προφανές είναι ότι για τον προσδιορισμό των καμπυλών POD -  $a$  απαιτείται μεγάλος αριθμός κατάλληλα σχε-

διασμένων δοκιμών.

## 2.6. Σχετικές δραστηριότητες στην Πολεμική Αεροπορία

Ήδη έχουν παραδοθεί στην Ελλάδα δύο αυτόματα συστήματα για τον έλεγχο εξαρτημάτων συγκεκριμένων κινητήρων. Παράλληλα, έχει αναπτυχθεί σχετική δραστηριότητα ώστε να δημιουργηθεί η κατάλληλη υποδομή για τη μελέτη της αξιοπιστίας διαφόρων ΜΚΕ, όπως αυτοί εφαρμόζονται σήμερα. Προς την κατεύθυνση αυτή υπάρχει σε εξέλιξη πρόγραμμα συνεργασίας με το National Aeronautical Establishment του Καναδά που περιλαμβάνει τις ακόλουθες εργασίες:

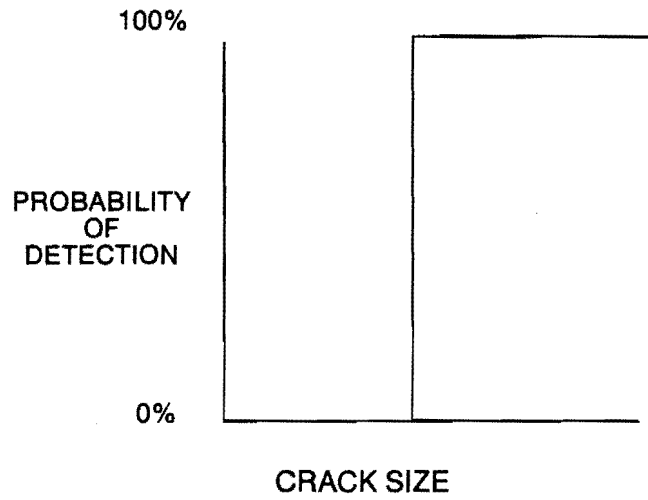
- έλεγχο σημαντικού αριθμού δίσκων (συγκεκριμένα των ωπών που φαίνονται στο σχ. 12) που έχουν απορριφθεί λόγω ύπαρξης ρωγμών πέρα από τα προβλεπόμενα όρια,
- διάνοιξη των ρωγμών με καταστροφική διαδικασία που φαίνεται στο σχ. 13 και προσδιορισμό του πραγματικού μήκους μετά από μελέτη της επιφάνειας θραύσης,
- χάραξη των καμπυλών POD -  $a$ .

Στα σχήματα 14-19 εμφανίζονται τα αποτελέσματα αντιστοίχων μελετών που ήδη έχουν πραγματοποιηθεί στο NAE-Καναδά. Στον πίνακα 5 φαίνεται η επίδραση που έχει στην τιμή του  $a_c$  το κριτήριο επιλογής του, ενώ στο πίνακα 6 η επίδραση της τιμής αυτής στο διάστημα επιθεώρησης SII.

## 2.7. Συμπεράσματα

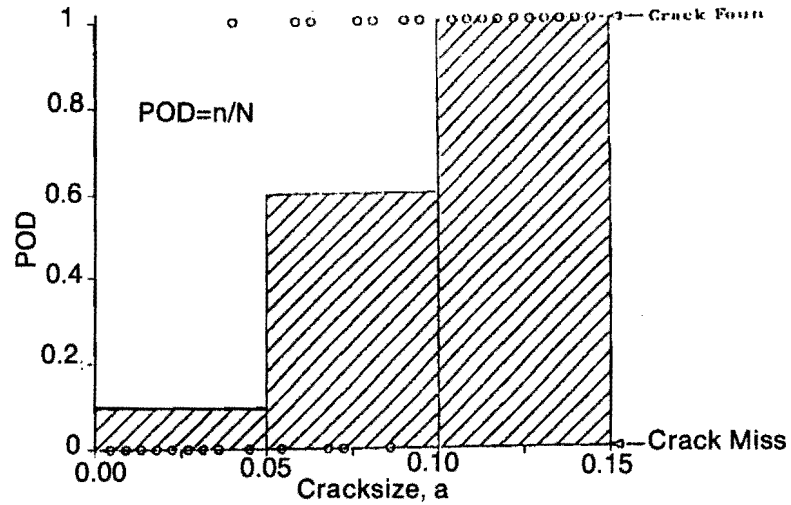
Η εφαρμογή της φιλοσοφίας σχεδίασης και συντήρησης damage tolerance έχει ήδη οδηγήσει στην κατασκευή πλήρως αυτοματοποιημένων συστημάτων ώστε να αποκλεισθεί ο ανθρώπινος παράγοντας σφάλματος και να βελτιστοποιηθεί η αξιοπιστία και η ευαισθησία των ελέγχων. Παράλληλα, έχουν αναπτυχθεί όλα εκείνα τα αναλυτικά εργαλεία που απαιτούνται για την ποσοτική περιγραφή των αποτελεσμάτων των ΜΚΕ. Η Π.Α προβαίνει σε όλες τις ενέργειες που α-

NON DESTRUCTIVE EVALUATION

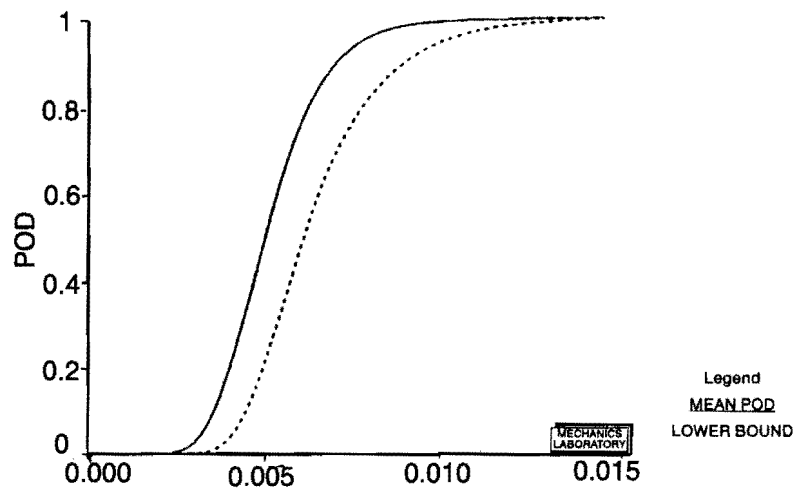


Σχήμα 8.

Resolution in OD vs. Resolution in Cracksize



Σχήμα 9.



Σχήμα 10.



---

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1. SPECIFIC TYPES OF VARIABLES EDDY CURRENT**

---

- LOADING AND UNLOADING OF THE SPECIMENS
  - SPECIMEN POSITION
  - TEST REPETITION
  - DRIVE FREQUENCY
  - COIL FREQUENCY AND DESIGN
  - PROBE BODY AND/OR HOLDER DESIGN
  - DIGITIZATION RATE
  - DIGITIZATION RESOLUTION
  - THRESHOLD LEVELS
  - FILTER VALUES: LOW-PASS AND HIGH-PASS
  - HARDWARE AND SOFTWARE CONFIGURATION CONTROL
- 

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2. SPECIFIC TYPES OF VARIABLES ULTRASONIC**

---

- LOADING AND UNLOADING OF THE SPECIMENS
  - INSPECTION REPETITION
  - TEST FREQUENCY (INSTRUMENT AND TRANSDUCER)
  - PULSER SETTINGS, DAMPING, GAIN, FREQUENCY
  - RECEIVER SETTINGS, GAIN FREQUENCY
  - TRANSDUCER SIZE AND TYPE
  - WATER PATH
  - DIGITIZATION RATE AND RESOLUTION
  - TCG SETUP
  - GATE PARAMETERS
  - INCIDENT ANGLE OF ULTRASOUND
  - THRESHOLD SETTING
  - WAVE MODE (SHEAR, LONGITUDINAL, SURFACE, LAMB, ETC)
- 

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3. SPECIFIC TYPES OF VARIABLES FLUORESCENT PENETRANT**

---

- LOADING AND UNLOADING OF THE SPECIMENS
  - SPECIMEN POSITION
  - TEST REPETITION
  - PENETRATING FLUID FORMULATION
  - PENETRANT APPLICATION METHOD
  - EMULSIFIER FORMULATION
  - EMULSIFIER/REMOVER APPLICATION METHOD  
CONCENTRATION AND CONTACT TIME
  - DEVELOPER FORMULATION
  - DEVELOPER APPLICATION METHOD
  - DRYING TIME AND TEMPERATURE
  - PRE-AND POST-RINSE TEMPERATURE AND TIME
  - HARDWARE AND SOFTWARE CONFIGURATION CONTROL
-

#### ΠΙΝΑΚΑΣ 4. SPECIFIC TYPES OF VARIABLES MAGNETIC TARTICLE

- LOADING AND UNLOADING OF THE SPECIMENS
- INSPECTION REPETITION
- MAGNETIC SUSPENSION FORMULATION AND CONCENTRATION
- MAGNETIC CURRENT FOR A PARTICULAR PART NUMBER
- DEMAGNETIZATION PROCEDURE
- METHOD OF MAGNETIZATION (CIRCULAR OR LONGITUDINAL)
- METHOD (FLUORESCENT OR VISIBLE)

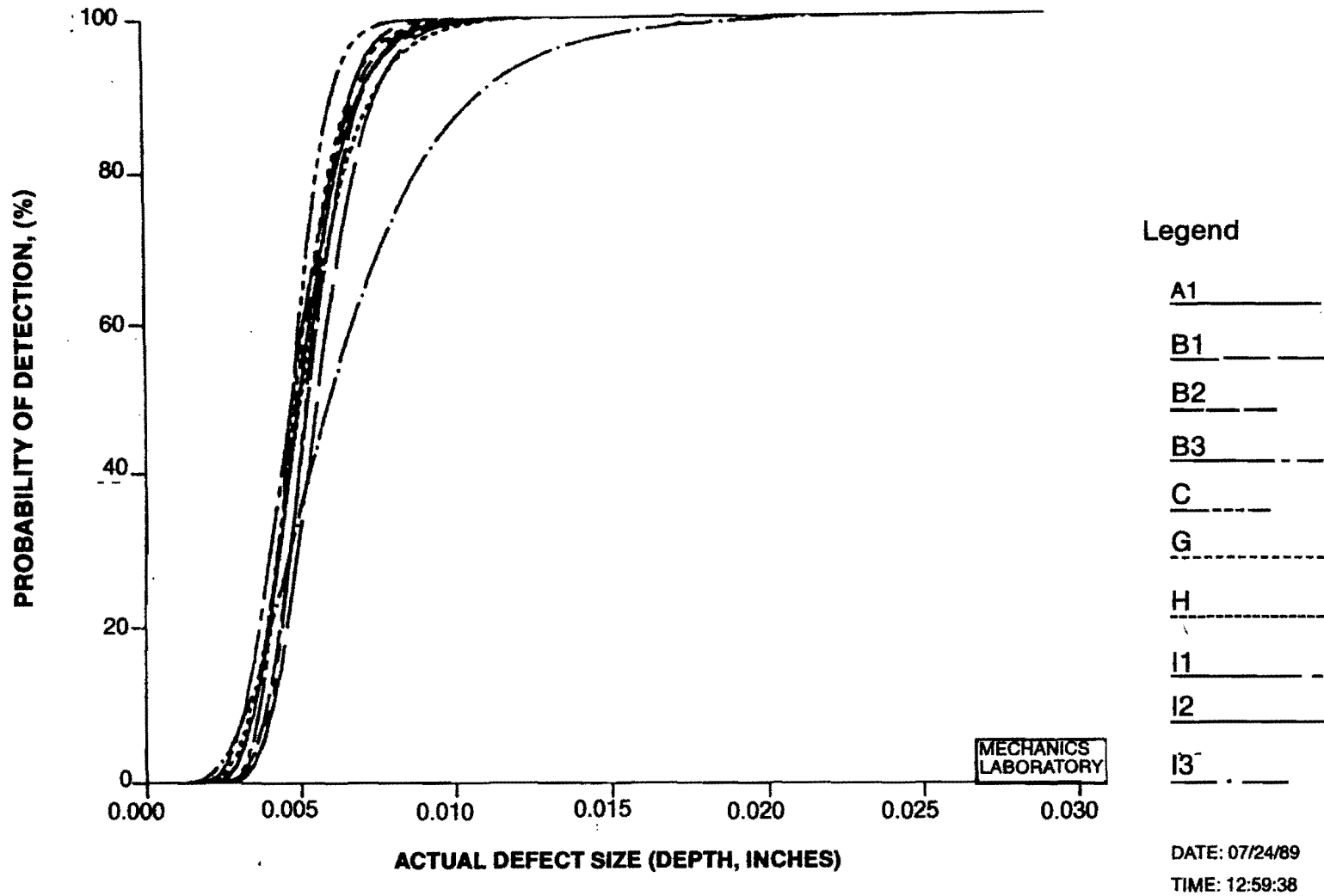
#### ΠΙΝΑΚΑΣ 5. Comparison of $a_i$ values selected for use in DFM calculating using different selection criteria

NDI Technique	$a_i$ values in mm		
	longest crack missed	at 90% POD from mean log- log-logistic curve	at 90% POD from logistic curve with 95% confidence
LP130	3.98	3.75	6.40
LP145	4.33	4.25	8.35
LP160	3.70 (0.8)	3.45	6.20
EC12	4.43	5.60	>10.00
EC15	2.70	1.65	4.10
EC15*	1.27 (0.4)	1.25	1.75
ULW	1.48 (0.4)	1.85	2.90

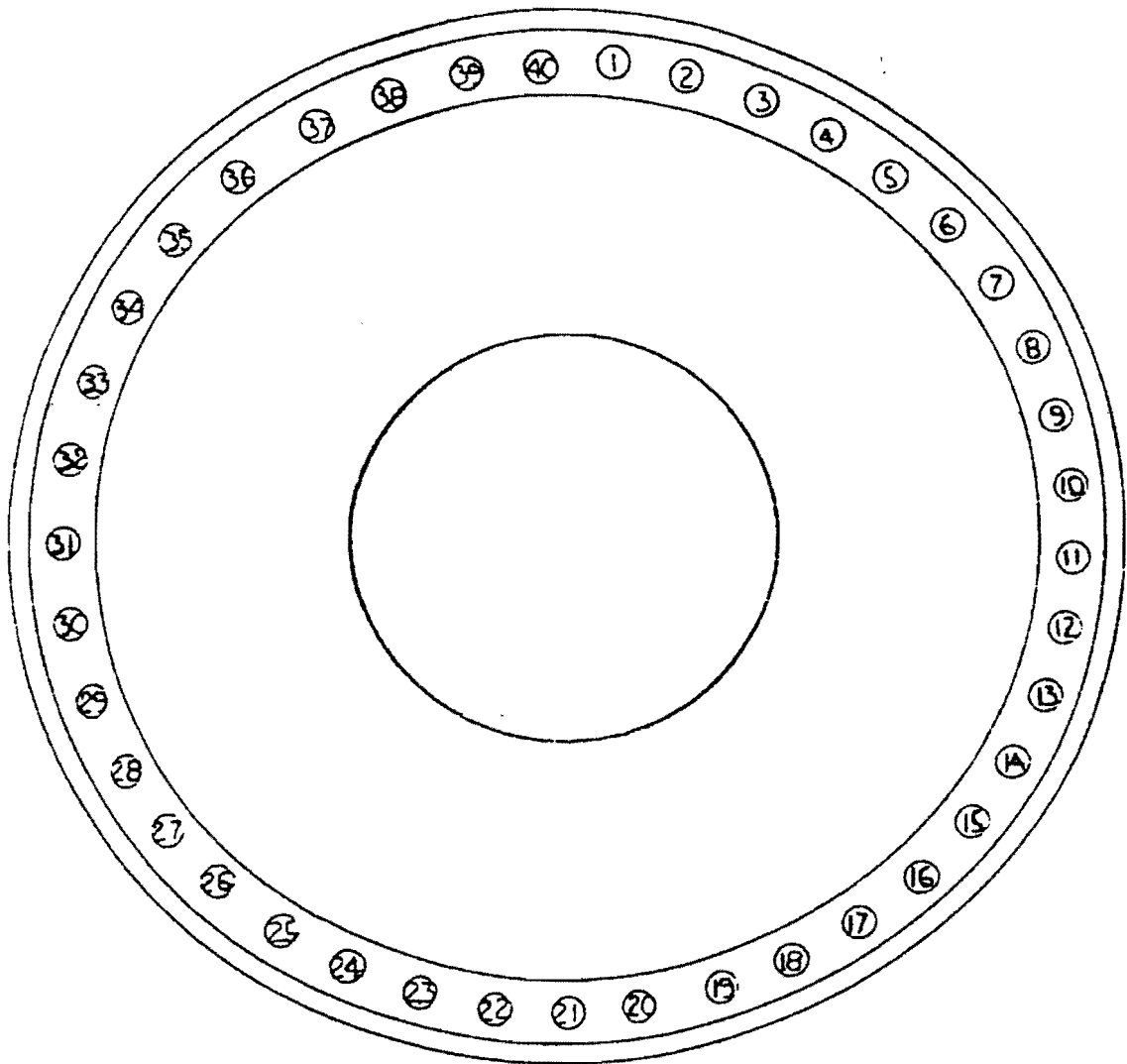
#### ΠΙΝΑΚΑΣ 6. Influence of the sensitivity and combined sensitivity plus reliability of NDI techniques on DFM based SII calculations

NDI Technique	$a_i$ longest	SII in cycles using different $a_i$ selection	
		90 / mean $a_i$	90/95 $a_i$
LP130	183	278	0
LP145	53	80	0
LP160	295	405	0
EC12	20	0	0
EC15	815	1773	135
EC15*	2293	2285	1623
ULW	1973	1989	695

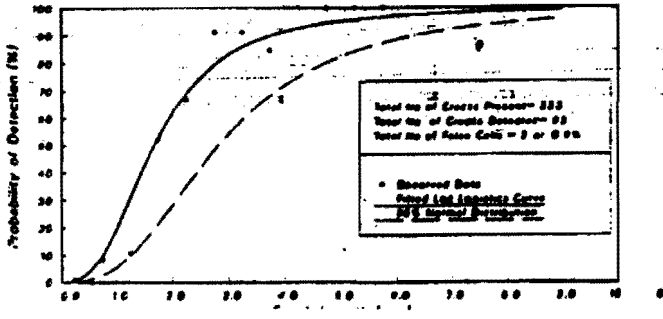
**Composite Plot for Semi-Automated Inspections  
Showing Inspection I3 To Be Different**



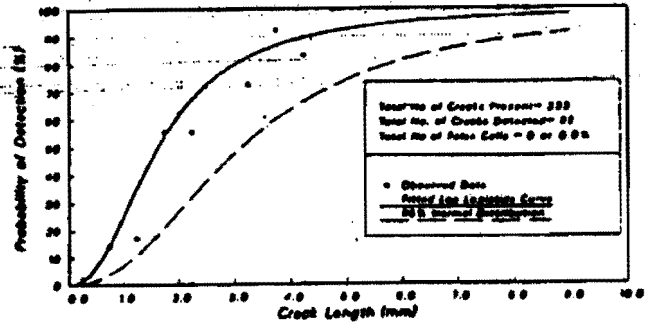
Σχήμα 11.



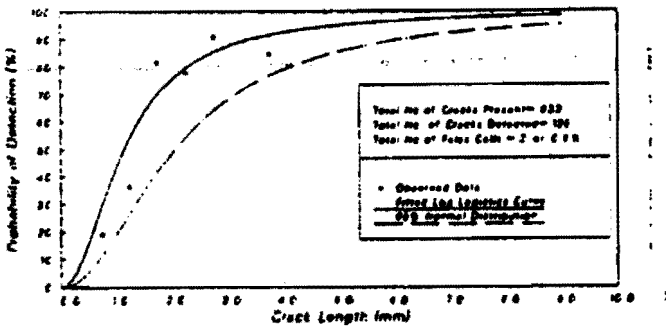
Bolt Hole Numbering Scheme



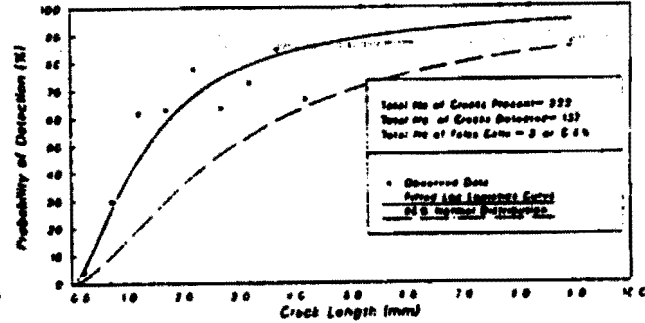
Σχ. 14. Probability of detection data for the liquid penetrant inspection technique using a 30 minute dye penetrant soaking period (LPI30).



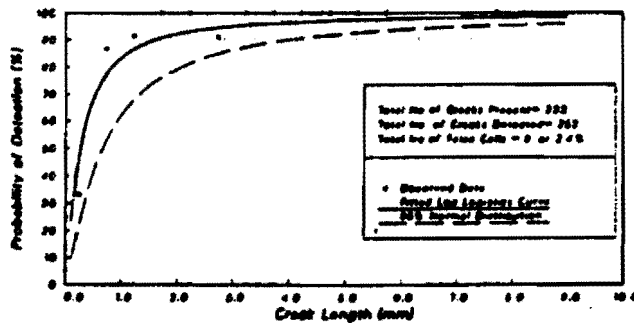
Σχ. 15. Probability of detection data for the liquid penetrant inspection technique using a 45 minute dye penetrant soaking period (LPI45).



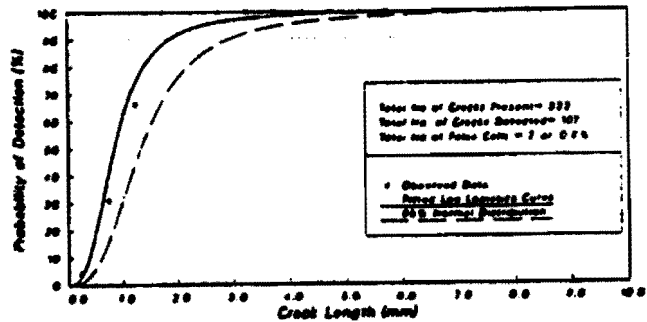
Σχ. 16. Probability of detection data for the liquid penetrant inspection technique using a 60 minute dye penetrant soaking period (LPI60).



Σχ. 17. Probability of detection data for the liquid penetrant inspection technique using a low gain setting (EC12).



Σχ. 18. Probability of detection data for the manual eddy current inspection technique using a high gain setting (EC15).



Σχ. 19. Probability of detection data for the ultrasonic leaky wave (ULW) inspection technique using a C-scan system.

παιτούνται ώστε να παρακολουθεί τις εξελίξεις στον τομέα.

### Βιβλιογραφία

1. DAMAGE TOLERANCE CONCEPTS FOR CRITICAL ENGINE COMPONENTS, AGARD Conference Proceedings No 393, 1985.
2. IMPACT OF EMERGING NDE-NDI METHODS ON AIRCRAFT DESIGN, MANUFACTURE AND MAINTENANCE, AGARD Conference Proceedings No 462, 1989.
3. AGARD/SMP REVIEW DAMAGE TOLERANCE FOR ENGINE STRUCTURES, Workshop I, II, III, IV, 1988-1989.
4. LIFE EXTENSION CONCEPTS FOR CANADIAN FORCES AIRCRAFT ENGINE COMPONENTS: J85-CAN 40 COMPRESSOR AND TURBINE MATERIALS, LTR-ST-1585, National Research Council Canada.
5. INFLUENCE OF SENSITIVITY AND RELIABILITY OF NDI TECHNIQUES ON DAMAGE TOLERANCE BASED LIFE PREDICTION OF TURBINE DISCS, LTR-ST-1665, National Research Council Canada.
6. THE RELIABILITY AND SENSITIVITY OF NDI TECHNIQUES IN DETECTING LCF CRACKS IN FASTENERS BOLT HOLES OF COMPRESSORS DISCS, LTR-ST-1651, National Research Council Canada.
7. INSPECTION OF AIRCRAFT ENGINE COMPONENTS USING AUTOMATED EDDY CURRENT AND PATTERN RECOGNITION TECHNIQUES, LTR-ST-1834, National Research Council Canada.
8. A RECOMMENDED METHODOLOGY FOR QUANTIFYING NDE/NDI BASED ON AIRCRAFT ENGINE EXPERIENCE, AGARD LECTURE SERIES 190.

**Πρόεδρος:** Ευχαριστούμε πολύ τους εκπροσώπους της Πολεμικής Αεροπορίας, για την άψογη εμφάνισή τους.

Και, τώρα καλούμε στο βήμα τους επόμενους ομιλητές οι οποίοι είναι από το Κ.Δ.Ε.Π.

Θα μιλήσουν με θέμα: «Μη καταστρεπτικοί έλεγχοι: Παρουσίαση των εφαρμοζόμενων μεθόδων στα μηχανικά στοιχεία των ενεργειακών μονάδων της ΔΕΗ».